

# TÓPICOS EM RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Volume II

Organizador: Maurício Novaes Souza



# Tópicos em recuperação de áreas degradadas

---

Volume II

## **AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: CONCEITOS E METODOLOGIAS**

Estudos de caso:

Práticas de conservação de solo e água com ênfase nas “barraginhas”

Microrganismos simbiotes e a fixação biológica de nitrogênio

Uso de macroinvertebrados bentônicos como indicador de qualidade ambiental

Plano de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD

Reuso da água na agricultura irrigada: efluentes da piscicultura e fertirrigação  
Desigualdade social: agroecologia, “Agenda 2030” e sustentabilidade.

Maurício Novaes Souza (Org.)

Canoas

2021



## **Tópicos em recuperação de áreas degradadas Volume II**

© 2021 Mérida Publishers

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9>

### **Organizador**

Maurício Novaes Souza

### **Revisão ortográfica**

Jéssica Delesposte Destefani

Maurício Novaes Souza

Priscilla Moreira Curtis Peixoto

### **Adaptação da capa e desenho gráfico**

Reynaldo Miquel

### **Foto da capa**

freepik.com

pinterest.com



Canoas - RS - Brasil

[contact@meridapublishers.com](mailto:contact@meridapublishers.com)

[www.meridapublishers.com](http://www.meridapublishers.com)

Todos os direitos autorais pertencem a Mérida Publishers. A reprodução total ou parcial dos trabalhos publicados, é permitida desde que sejam atribuídos créditos aos autores.



#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

T673 Tópicos em recuperação de áreas degradadas [livro eletrônico]:  
volume 2 / Organizador Maurício Novaes Souza. – Canoas, RS:  
Mérida Publishers, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-994457-2-9

1. Agroecologia. 2. Sustentabilidade. 3. Meio ambiente –  
Conservação. I. Souza, Maurício Novaes.

CDD 630

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

## Prefácio

Corria o ano de 2004 quando iniciei a lecionar no Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET, campus Rio Pomba, MG. Em decorrência do pouco material disponível sobre o assunto em discussão, houve provocações e solicitações dos meus alunos, Cursos Técnicos em Meio Ambiente e Segurança do Trabalho, para que eu preparasse uma apostila acessível para auxiliar no melhor entendimento do conteúdo da disciplina. Os três primeiros capítulos do presente trabalho fazem parte do livro Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) que está em fase de elaboração e deverá ser publicado futuramente. A sua primeira versão é a extensão daquela apostila elaborada em decorrência da parca literatura existente à época.

Além dessas demandas, outro aspecto que contribuiu para a elaboração desse texto foi a necessidade de aprofundar os meus conhecimentos na área de AIA - apesar de ter cursado tal disciplina no meu Mestrado no Departamento de Engenharia Florestal da UFV (DEF/UFV). Visava, portanto, estudar os métodos e técnicas disponíveis na literatura sobre o referido tema: nos dias atuais, quase 20 anos depois, não há como se trabalhar em projetos de Recuperação de Áreas Degradadas antes de se realizar os Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e seu relativo Relatório de Impactos Ambientais (RIMA).

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) é um dos principais instrumentos utilizados para a avaliação de impactos, o planejamento e a gestão ambiental, a partir da delimitação da área de influência. Define também os mecanismos de compensação e mitigação dos danos previstos em decorrência da implantação de atividades/empreendimentos de grande potencial poluidor e degradação do meio ambiente, conforme recomenda a legislação vigente. Trata-se da exigência dos órgãos competentes em atendimento às normas estabelecidas, conforme o Art. 2º, da Resolução Conama nº 01/ 86.

As principais informações contidas no EIA, bem como sua conclusão, devem ser apresentadas no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) - em linguagem simples, clara e objetiva. Devem ser ilustrados por mapas, cartas, quadros, gráficos e demais técnicas de comunicação visual, de modo que se possam entender as

vantagens e desvantagens do projeto, bem como todas as consequências ambientais de sua efetivação: existe a opção de sua não execução.

Importante ressaltar que o EIA/Rima deve, a partir de um diagnóstico socioeconômico e ambiental (meios físico, biótico e antrópico) de toda a área que será afetada, realizar um prognóstico das consequências do empreendimento e sugerir medidas, na forma de pré-projetos, com o objetivo de mitigar os impactos considerados negativos e maximizar aqueles considerados positivos. Embora tenham finalidades diversas, EIA e RIMA são instrumentos complementares: por isto são sempre citados em conjunto.

Historicamente, cabe considerar que o *Homo sapiens* sempre foi dependente dos recursos naturais: a testemunha incontestável desse fato é o processo de urbanização. O desenvolvimento das cidades está relacionado principalmente aos corpos hídricos, que podem ser reproduzidos por suas diversas especificidades – era usado desde a sua dessedentação até para o despejo de seus dejetos. Nessa perspectiva, muitos mananciais<sup>1</sup> foram incorporados ao cenário urbano, passando a fazer parte da estrutura paisagística das cidades.

Nos anos recentes, com o crescimento populacional descontrolado e a forma como a sociedade se apropriou desses espaços, acarretou uma série de impactos ambientais e externalidades negativos, configurando o que se chama de “insustentabilidade ecológica”, proveniente dos conflitos inerentes à relação sociedade/natureza na atualidade. Dentre esses impactos, a degradação dos recursos naturais com ênfase sobre os recursos hídricos. Por essas questões, considerando como agravante que no Brasil cerca de 87% da população vivem nas cidades, tais impactos ao meio ambiente são diretamente refletidos na população e precisam ser avaliados, valorados, recuperados e, ou mitigados.

Assim, o estudo, a identificação, a avaliação e a valoração econômica dos impactos ambientais são atividades que fazem parte, ou deveriam fazer, em qualquer procedimento de planejamento, perícia, recuperação, gestão e educação ambiental, mesmo naquelas práticas iniciais de implantação de uma atividade agropecuária, que devem considerar os aspectos referentes à predição, aos custos e aos impactos decorrentes: da mesma forma em que

---

<sup>1</sup> São todas as fontes de água, superficiais ou subterrâneas, que podem ser usadas para o abastecimento público. Isso inclui, por exemplo, rios, lagos, represas e lençóis freáticos.

outros estudos dessa natureza, tais como, auditorias compulsórias ou de verificação de conformidades, estudos de análise de riscos ambientais e programas de recuperação de áreas degradadas.

Os acidentes ambientais, majoritariamente, afetam os diversos componentes do ecossistema de modo direto e indireto: os efeitos dos impactos e de suas externalidades variam no espaço e no tempo. Além disso, a diversidade e a complexidade dos componentes ambientais que geralmente são afetados nos acidentes dificultam a análise dos impactos originados, que deve ser obrigatoriamente realizada pelo profissional que realiza os procedimentos de recuperação ou as demais atividades citadas, visando o levantamento de incorrências e valoração monetária dos danos ambientais.

Os impactos e seus efeitos podem acontecer em diferentes ambientes - por exemplo, quando se considera a área rural, que é nosso foco: em uma atividade de aquicultura, suinocultura, avicultura, bovinocultura; em uma pequena indústria de laticínios situada em uma propriedade rural; em uma pastagem com nascente e, ou, corpo hídrico sem proteção; ou no preparo de uma área para a implantação de uma lavoura de café. Isso significa que dependendo do lugar onde acontece o evento indesejável, os impactos e seus efeitos apresentam diferenças significativas, devendo ser analisados de maneira sistemática para que os resultados a serem obtidos possam se revelar de modo consistente a verdade dos fatos.

As técnicas empregadas para avaliar os impactos ambientais, em geral, são aquelas adotadas nos Estudos de Impactos Ambientais e nos Relatórios de Avaliação de Impactos Ambientais (EIA-RIMA), nos processos de licenciamento de empreendimentos e nas auditorias. Entretanto, no caso do EIA, faz-se a estimativa dos potenciais impactos que poderão decorrer do empreendimento, obra ou das atividades a serem licenciados, enquanto que na perícia ambiental, analisam-se os impactos negativos que efetivamente ocorreram e afetaram os componentes do sistema ambiental.

Essa mesma observação pode ser praticada quando se realiza o Cadastro Ambiental Rural (CAR) – intrinsicamente tem a mesma finalidade: ou seja, trata-se de propor, posteriormente ao levantamento e estudo, o planejamento e a execução de procedimentos de adequação ambiental em um documento denominado Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) –

envolverá planejamento, definição das técnicas de recuperação de áreas degradadas a serem utilizadas, educação e gestão ambiental.

Contudo, infelizmente, não existe ainda um modelo generalizado que seja capaz de analisar os diferentes tipos de danos que acontecem nos inúmeros e complexos componentes presentes nos ecossistemas. A recomendação é começar sempre pelo mais óbvio e simples: ou seja, identificando e avaliando os impactos ambientais de maior importância e magnitude que são facilmente identificáveis, para então analisá-los visando a sua valoração e compensação monetária.

No atual momento, observa-se que o crescimento populacional sem precedentes e os modelos de desenvolvimento agropecuário e urbano-industrial praticados nas últimas décadas produziram uma série de aspectos, impactos e externalidades ambientais negativos, com a geração de inúmeras áreas degradadas. A provável origem desses problemas se deve ao modelo desenvolvimentista que estimula o imediatismo nas fases de elaboração e implantação dos diversos empreendimentos em suas múltiplas atividades, com displicência, ou mesmo ausência de planejamento ambiental, não considerando, por exemplo, as questões relativas à predição e às relações sistêmicas que os envolvem.

Em todo o Brasil, tem ocorrido a intensificação das atividades agropecuárias extensivas e em larga escala, que substituem a vegetação nativa e promovem a mudança de uso do solo, causando alterações severas nos ecossistemas afetando toda a bacia hidrográfica. Os ecossistemas aquáticos estão sobrecarregados dados os usos múltiplos que foram estabelecidos nas décadas recentes.

O presente trabalho se propõe a sugerir modelos alternativos de produção e manejo. Por intermédio de análises sistêmicas dos recursos naturais poderão ser determinadas as principais variáveis e suas inter-relações, que poderá ser empregado para identificar as soluções mais adequadas aos requerimentos de conservação do solo e da água. Deverão ser adequadas às propostas do Desenvolvimento Sustentável, aos aspectos ambientais e as necessidades ecológicas, socioeconômicas, culturais e políticas de uma dada região.

As ferramentas atuais, como as novas técnicas de “Estudo de Impactos

Ambientais” e os avanços tecnológicos nos materiais e nos procedimentos de “Recuperação de Áreas Degradadas”, são ferramentas de auxílio à definição de políticas públicas de planejamento e previsão para estimar futuras demandas para a abertura de novas áreas de produção, ou a opção de não implantá-las, sugerindo opções alternativas e, ou, locais. Dessa forma, os produtores, urbanos e rurais, poderão entender como que os diversos cenários, atuais e futuros, afetarão o desempenho de suas atividades, evitando novos impactos e degradação dos ecossistemas aquáticos e terrestres.

Desejo imensamente que esse segundo volume da série de livros “Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas”, trabalhado em parceria com meus alunos e orientados do Programa de Pós-graduação em Agroecologia do Ifes campus de Alegre (PPGA), fortaleça o caminho trilhado a partir do Volume I e que contribua efetivamente para que se atinja o tão sonhado desenvolvimento sustentável.

Professor Maurício Novaes Souza

Guarapari, julho de 2021.

## Apresentação

O presente documento dá continuidade aos livros e cadernos de aulas que venho produzindo há anos. Tenho preparadas aproximadamente cem (100) apostilas das disciplinas que instruí ao longo da minha carreira. Atualmente, lecionando para os Cursos de Pós-graduação em Agroecologia e Sustentabilidade (Mestrado *Lato Sensu* e *Stricto Sensu*) do Ifes campus de Alegre, tornou possível a realização de um antigo desejo de publicar livros em parceria com meus alunos e orientados.

O Volume I dos “Tópicos de Recuperação de Áreas Degradadas” foi muito bem aceito e atendeu às nossas propostas e expectativas. Os trabalhos produzidos nas disciplinas enfim ganharam visibilidade, estabelecendo-se essa parceria com os acadêmicos e aumentando a publicação de trabalhos para o nosso programa: exigência básica dos órgãos de fomento e financiamento de pesquisas.

Pois bem: está pronto o segundo trabalho nesse formato – “Tópicos de Recuperação em Áreas Degradadas – Volume II”. Mantém o mesmo objetivo do Volume I: reunir informações necessárias ao desenvolvimento de conceitos de planejamento visando à “Recuperação de Áreas Degradadas” – RAD, e a condução das atividades produtivas de forma sustentável com o uso de práticas agroecológicas conservacionistas.

O presente texto é composto por dez (10) capítulos! Seguirá a seguinte descrição e sequência:

O **Capítulo I** analisa a complexidade dos meios de produção convencionais e a quebra de paradigmas que se faz necessária para que se atinja o desenvolvimento rural sustentável. O fato é que a exploração intensiva dos recursos naturais e a perspectiva concreta de sua extinção não mais nos permitem aparentar que se vive em um ecossistema com recursos ilimitados. Desenvolver uma economia sustentável em uma biosfera finita exige novas maneiras de pensar e agir. A proposta desse capítulo é mostrar que a avaliação de impacto ambiental (AIA) pode ser entendida como o exercício de prever as alterações que ocorrerão no meio ambiente a partir de um dado projeto proposto no período presente. Estava tudo caminhando bem até o ano de 2018: no entanto, surgem reveses! No segundo ano da administração de

Jair Bolsonaro, 2020, resume o seu modo de operação: nem a ética ou a sua falta, que o pauta, demonstrada na célebre intervenção do ministro Ricardo Salles na reunião ministerial de 22 de abril, quando Salles afirmou na ocasião: “NESSE MOMENTO DE TRANQUILIDADE NO ASPECTO DE COBERTURA DE IMPRENSA, PORQUE SÓ SE FALA DE COVID, E IR PASSANDO A BOIADA”. Neste exato ponto, vislumbra-se a importância do EIA/RIMA como condição obrigatória em projetos que podem causar impactos ambientais: significam predição e planejamento.

O **Capítulo II** apresenta os métodos para a identificação e avaliação de efeitos e impactos ambientais. Para se realizar a AIA é importante mencionar que se deve seguir uma dada metodologia: além de serem métodos flexíveis e que se faz necessário que sejam revisados frequentemente, deve consistir-se em um conjunto de normas que variem de acordo com o fator ambiental considerado, aplicáveis em qualquer fase do processo. Nos dias presentes, são vários os métodos de AIA existentes - todos apresentam potencialidades e limitações. A escolha de um determinado método dependerá, fundamentalmente, da disponibilidade de dados, do tipo de empreendimento e dos recursos disponíveis. Na maioria dos casos, a utilização conjunta de mais de um método permitirá obter um melhor resultado.

O **Capítulo III** apresentará um Estudo de Caso de uma das metodologias de AIA mais promissoras nos dias atuais: Projeção de cenários ou modelos de simulação. Esse capítulo foi extraído da minha tese de doutoramento. Esse método se baseia na análise de situações ambientais prováveis em termos da evolução de um ambiente (cada situação corresponde a um cenário) e, ou, de situações hipotéticas, referentes a situações diferenciadas geradas por proposição de alternativas de projetos e programas. Tem por objetivo orientar as autoridades governamentais no cumprimento de suas metas de longo prazo, por meio de indicadores de tendências prováveis. A simulação apontou resultados alarmantes para a bacia hidrográfica do rio São Francisco. Por exemplo, há uma tendência de redução da variável “Precipitação Direta” nas áreas de drenagens das estações fluviométricas avaliadas, Fazenda Barra da Égua e Porto dos Poções, respectivamente, referentes às bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto,

afluentes do rio Paracatu, por sua vez, o principal afluente do rio São Francisco, em todos os oito cenários avaliados!

O **Capítulo IV** faz uma breve análise da agropecuária, seus impactos ao meio ambiente e formas de mitigação. O objetivo deste estudo foi abordar os impactos resultantes da agropecuária e as possíveis formas de manejo adequado em consonância com a abordagem ecológica e sustentável no setor. A agropecuária apresenta relevância para a humanidade e para a economia local e global. Contudo, sérios aspectos e impactos ambientais estão sendo promovidos devido à sua expansão e utilização de métodos inapropriados para o cultivo agrícola e criação de animais. A produção agropecuária vem causando impactos ambientais e sociais, que acabam se refletindo no próprio setor: posto serem interconectados e interdependentes. Para conservar e, ou, preservar o meio ambiente, é necessário que sejam utilizados métodos sustentáveis de produção, por meio de práticas agroecológicas e conservacionistas.

O **Capítulo V** apresenta práticas de conservação de solo e água. A utilização do solo deve ser feita a partir de prévio planejamento para que seja possível obter a desejada conservação e o aproveitamento das águas da chuva, visando a redução das perdas por escoamento superficial e do solo por erosão. Para isso, utilizam-se práticas edáficas, vegetativas e mecânicas. O presente capítulo tem por objetivo descrever de forma simplificada tais técnicas, com ênfase nas “barraginhas” – trabalha a rugosidade e a permeabilidade do terreno buscando reduzir o volume e a velocidade das águas de enxurradas, reduzindo o transporte das partículas do solo, aumentando o tempo de concentração e favorecendo a infiltração de água no perfil do solo.

O **Capítulo VI** discorre sobre um tema bastante importante e reconhecido: microrganismos simbiotes e a fixação biológica de nitrogênio. As bactérias fixadoras, rizóbios ou diazotróficas, em associação com as plantas leguminosas, favorecem a conversão do N atmosférico em amônia (NH<sub>3</sub>), permitindo, assim, a assimilação do N pelas plantas. As leguminosas também agem como fitorremediadoras, absorvendo, imobilizando ou removendo metais pesados, a fim de que atuem de forma menos agressiva ao meio ambiente. Essas bactérias são promotoras do crescimento vegetal, pois estimulam o

crescimento da planta por meio de efeitos biofertilizantes e bioestimulantes, que aumentam a resistência às doenças e ao estresse. Esse capítulo aborda técnicas de utilização de bactérias diazotróficas simbióticas e como estas podem ser consideradas componentes fundamentais à disponibilização de nutrientes e à recuperação de áreas degradadas, com destaque às pastagens.

O **Capítulo VII** apresenta o uso de macroinvertebrados bentônicos em diferentes gradientes de cobertura vegetal como indicador de qualidade ambiental. A ciência vem utilizando indicadores ambientais capazes de traduzir os efeitos das ações antrópicas no meio ambiente. Esses indicadores podem ser de várias naturezas: físicos, químicos e biológicos - este último, o mais sensível às variações ambientais. Os macroinvertebrados bentônicos são utilizados como bioindicadores de qualidade da água por conta de várias características populacionais e comportamentais favoráveis ao estudo contínuo, por um longo intervalo de tempo, além da facilidade e simplicidade de coleta. Métodos de conservação de água e solo, principalmente em ambientes de produção agropecuária, são capazes de minimizar os efeitos químicos e físicos nas águas que, por consequência, afetam a população de organismos aquáticos, como os bentos. Estratégias como terraceamento, barraginhas, plantio direto e a conservação da mata ripária, quando trabalhadas em conjunto, podem mitigar os efeitos dos impactos ambientais causados pelo uso antrópico do solo e proporcionar quantidade e qualidade de águas suficientemente adequadas aos seus principais usos.

O **Capítulo VIII** apresenta o PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas, com um Estudo de Caso sobre o manejo agroecológico da irrigação e o uso de águas residuárias. São crescentes as pesquisas que envolvem a recuperação de ambientes degradados com foco no restabelecimento da sua funcionalidade produtiva e ambiental. Nesse sentido, a elaboração de um PRAD, além de fornecer dados técnicos elaborados por profissionais devidamente habilitados, orienta como promover a recuperação daquele ambiente ou agroecossistema para que ele volte a ter suas funções produtivas e ambientais restabelecidas. O déficit hídrico durante a execução dos procedimentos de revegetação, além de retardar os procedimentos de recuperação, eleva os custos da sua implantação em decorrência da necessidade de replantio. Dessa forma, a fertirrigação com a utilização de

águas residuárias surge como uma alternativa capaz de acelerar o processo de recuperação do ambiente: além da disponibilização de água, serão ofertados nutrientes que auxiliarão o desenvolvimento da planta e a recuperação do solo. Este capítulo destaca a importância da elaboração do PRAD, contemplando a utilização de técnicas ligadas à agroecologia, com a irrigação para promover a recuperação do ambiente e reestabelecer suas funções: contribuiu para o desenvolvimento sustentável local.

O **Capítulo IX** discute o uso de efluentes da piscicultura via fertirrigação - sistema de irrigação utilizado como meio de transporte para fertilizantes, potencializando a fertilização do solo e tornando o cultivo mais eficiente. Uma alternativa para a mitigação e melhoria do uso da água é o seu reuso - os efluentes da aquicultura são uma excelente alternativa para uso na agricultura, posto que utilizada na fertirrigação, traz grandes benefícios para o solo: fornece nutrientes para as plantas, aumenta a biodiversidade de microrganismos, evita o despejo desta água no ambiente, evitando impactos ambientais, como a eutrofização dos rios e a introdução de espécies exóticas de peixes na fauna vizinha, além da redução do custo de produção.

O **Capítulo X** finaliza o presente livro discutindo uma questão que aflige imensamente o ambiente rural mundial e brasileiro: desigualdade social, saneamento básico, impactos e externalidades ambientais; e sugere a agroecologia e a adoção da “Agenda 2030” como formas de promoverem a sustentabilidade nos sistemas produtivos. Infelizmente, apesar de todos os avanços ocorridos no meio rural brasileiro, as desigualdades sociais crescem, fazendo com que grande parte da população viva sem as condições necessárias para se sustentarem e viverem dignamente. O desenvolvimento sustentável se torna crucial para sanar essas desigualdades sociais, tema este abordado pela Agenda 2030, um plano de ação da OMS que visa a erradicação da pobreza em todas as suas dimensões. Um dos tópicos fundamentais deste plano é proporcionar saneamento básico, inclusive nas áreas rurais, que praticamente inexitem no Brasil. A “Agroecologia” é o fundamento teórico-prático para os sistemas agrícolas ecológicos: suas práticas conservacionistas melhoram a renda da população, contribuindo para superar e resolver os impactos ambientais e transformar as áreas produtivas em um ambiente sustentável.

Nas **Considerações finais**, poder-se-á observar críticas e sugestões, porém no sentido de converter essas novas ideias e conceitos em ação. Sugere-se mudança do atual modelo de produção agropecuário e urbano-industrial, dada a visível insustentabilidade verificada até o presente momento.

Anseia-se que sejam satisfeitos os diversos questionamentos e espera-se que surjam críticas e sugestões que contribuam para o bom desenvolvimento e aplicabilidade do presente e dos próximos trabalhos.

Prof. Dr. Maurício Novaes Souza  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Campus de Alegre, Alegre, ES, Brasil.

## **Autores**

### **Adriana Silva Florindo**

Pós-graduanda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

### **Alex Justino Zacarias**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

### **Aline Marchiori Crespo**

Extensionista da INCAPER Cachoeiro do Itapemirim e Mestra pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47. CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

### **Augusto Melo Moulin Breda**

Pós-graduando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

### **Bruno Fazolo Repposi**

Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

### **Camila Barbiero Siqueira**

Pós-graduanda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

### **César Santos Carvalho**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

### **Credigar Gonçalves Moreira**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Cristiano de Oliveira**

Pós-graduando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Danillo Sartório Rangel**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47. CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Dayvson Dansi Rodrigues**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Eloisio de Oliveira Martins**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Euliene Pereira Henrique**

Pós-graduanda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Fábio Gomes Zampieri**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Fernanda Pereira Soares Carias**

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Francielle Santana de Oliveira**

Pós-graduanda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Gabriel Permanhe**

Pós-graduanda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Geisa Corrêa Louback**

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Gislane Souza Santos**

Pós-graduanda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Hilton Moura Neto**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Jéssica Delesposte Destefani**

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Jéssica Martins dos Reis**

Pós-graduanda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**João Otávio da Silva Malaquias**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**João Paulo Andrade Gomes**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**João Sávio Monção Figueiredo**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**José Carlos Venâncio da Paschoa**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Josemar Braga Senna**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Ifes - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Leticia Bremide Leal**

Pós-graduanda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Leticia Rigo Tavares**

Pós-graduanda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Lucas Henrique Cortat**

Pós-graduando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Marcus Vinicius Dutra de Magalhães**

Pós-graduando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Maria Amélia Bonfante da Silva**

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Marina Pereira Ribeiro Sardinha**

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Maurício Novaes Souza**

Professor do Instituto Federal do Espírito Santo e do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Campus de Alegre - Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Otávio Pereira Araujo**

Mestrando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

**Pedro Pierro Mendonça**

Dr. Professor do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500-000. Alegre - ES.

**Priscila da Silva Lacchine**

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Priscilla Moreira Curtis Peixoto**

Pós-graduanda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Ricardo Garcia Lima**

Pós-graduando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Rodolpho Torezani**

Pós-graduando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Silvia Aline Bérghamo Xavier**

Pós-graduando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Simone Wellita Simão de Carvalho**

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Stephan Lopes Carvalho**

Mestranda em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Tamyres Sanglard da Fonseca**

Pós-graduando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Vinícius de Freitas Mateus**

Pós-graduando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Vinicius Sabadim Saraiva**

Pós-graduando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500-000, Alegre-ES.

**Willian Moreira da Costa**

Pós-graduando em Agroecologia pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29.500- 000, Alegre-ES.

## Índice

### **CAPÍTULO 1 ..... 23**

#### **A complexidade dos meios de produção tradicionais e a quebra de paradigmas**

Maurício Novaes Souza

### **CAPÍTULO 2 ..... 37**

#### **Ferramentas e, ou, métodos para a identificação e avaliação de efeitos e impactos**

Maurício Novaes Souza

### **CAPÍTULO 3 ..... 116**

#### **Projeção de cenários ou modelos de simulação: uma metodologia de AIA**

Maurício Novaes Souza

### **CAPÍTULO 4 ..... 167**

#### **Degradação ambiental pelo fator antrópico: uma breve análise da agropecuária, seus impactos ao meio ambiente e formas de mitigação**

João Otávio da Silva Malaquias, Silvia Aline Bérghamo Xavier, Maria Amélia Bonfante da Silva, Priscilla Moreira Curtis Peixoto, Maurício Novaes Souza, Credigar Gonçalves Moreira, Hilton Moura Neto, Alex Justino Zacarias, César Santos Carvalho, Rodolpho Torezani

### **CAPÍTULO 5 ..... 206**

#### **Práticas de conservação de solo e água com ênfase nas “barraginhas”**

Vinícius de Freitas Mateus, Adriana Silva Florindo, Bruno Fazolo Repossi, César Santos Carvalho, Cristiano de Oliveira, João Otávio da Silva Malaquias, Leticia Bremide Leal, Jéssica Martins dos Reis, Ricardo Garcia Lima, Maurício Novaes Souza

### **CAPÍTULO 6 ..... 243**

#### **Microrganismos simbiotes: fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas**

Francielle Santana de Oliveira, Jéssica Delesposte Destefani, Letícia Rigo Tavares, José Carlos Venâncio da Páschoa, Aline Marchiori Crespo, Otávio Pereira Araujo,

Priscilla Moreira Curtis Peixoto, Camila Barbiero Siqueira, Lucas Henrique Cortat,  
Maurício Novaes Souza

**CAPÍTULO 7 ..... 276**

**Práticas agroecológicas na preservação dos recursos hídricos: como os macroinvertebrados bentônicos respondem às alterações de qualidade da água?**

Letícia Rigo Tavares, João Paulo Andrade Gomes, Gabriel Permanhe, Francielle Santana de Oliveira, Eloisio de Oliveira Martins, Danillo Sartório Rangel, Willian Moreira da Costa, Maurício Novaes Souza

**CAPÍTULO 8 ..... 303**

**Plano de Recuperação de Áreas Degradadas: manejo agroecológico da irrigação e uso de águas residuárias**

Augusto Melo Moulin Breda, Priscila da Silva Lacchine, Maurício Novaes Souza, Hilton Moura Neto, Credigar Gonçalves Moreira, Dayvson Dandi Rodrigues, Fábio Gomes Zampieri, Cristiano de Oliveira, Gislane Souza Santos, Vinicius Sabadim Saraiva

**CAPÍTULO 9 ..... 324**

**Reuso da água na agricultura irrigada: efluentes da piscicultura e fertirrigação**

Vinicius Sabadim Saraiva, Maurício Novaes Souza, José Carlos Venâncio da Páschoa, Josemar Braga Senna, Pedro Pierro Mendonça, Simone Wellita Simão de Carvalho, Maria Amélia Bonfante da Silva, Vinícius de Freitas Mateus, Geisa Corrêa Louback, Fernanda Pereira Soares Carias

**CAPÍTULO 10 ..... 349**

**Desigualdade social, saneamento básico, impactos e externalidades ambientais: agroecologia, “Agenda 2030” e sustentabilidade nos sistemas produtivos**

Simone Wellita Simão de Carvalho, Euliene Pereira Henrique, João Sávio Monção Figueiredo, Maurício Novaes Souza, Marina Pereira Ribeiro Sardinha, Priscilla Moreira Curtis Peixoto, Tamyres Sanglard da Fonseca, Geisa Corrêa Louback, Marcus Vinicius Dutra de Magalhães, Stephan Lopes Carvalho

**CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 378**

---

## A complexidade dos meios de produção tradicionais e a quebra de paradigmas

Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c1>

### 1. Notas introdutórias

A exploração intensiva dos recursos naturais e a perspectiva concreta de sua extinção não mais nos permitem aparentar que se vive em um ecossistema com recursos ilimitados. Desenvolver uma economia sustentável em uma biosfera finita exige novas maneiras de pensar e agir. O antigo pensamento de que o crescimento econômico poderia não trazer problemas e, ou, gerar impactos e externalidades negativas, como se a economia mundial existisse em um vácuo, não pode mais assim ser visualizada.

A economia é um subsistema da biosfera finita que lhe dá suporte. Quando a expansão da economia afetar excessivamente o ecossistema circundante, começa-se a sacrificar o capital natural que sustenta e gera o capital criado pelo homem. Ter-se-ia, então, o aumento das externalidades negativas ou o crescimento “deseconômico”<sup>2</sup>, produzindo impactos e degradação de forma acelerada. Compromete a sustentabilidade ambiental e socioeconômica, reduz a produção de bens e torna as sociedades decadentes, como já aconteceram centenas de vezes em todo o mundo, nos mais variados períodos: antes de Cristo (a. C) até aos dias correntes.

Nos dias atuais é sabido que ultrapassada a escala ótima de produção e não respeitada a capacidade de suporte dos ecossistemas, o crescimento torna-se desconexo no curto prazo, posto impossível sê-lo mantido no longo prazo. Qualquer subsistema, como a economia, em algum momento deve necessariamente parar de crescer e adaptar-se a um equilíbrio dinâmico,

---

<sup>2</sup> Ocorre quando surgem externalidades negativas, produzindo danos e prejuízos socioeconômicos.

assemelhando-se a um estado estacionário. As taxas de nascimentos devem ser iguais às de mortalidade, e as de produção de “commodities” devem se igualar às de depreciação. É fundamental considerar que a sustentabilidade social da humanidade se dará quando houver equilíbrio entre os aspectos ambientais e os econômicos, posto serem interdependentes e interconectados.

Na microeconomia, as pessoas e as empresas percebem nitidamente quando devem parar de expandir uma determinada atividade. Quando se expande, chega o momento em que se abstrai o lugar de algum outro empreendimento: essa substituição é contabilizada como custo. As pessoas ou as empresas param no ponto em que o custo marginal se iguala ao benefício marginal. Ou seja, não vale a pena gastar R\$1,00 adicional em um produto quando esse dá menos satisfação do que o equivalente ao mesmo valor de outro bem. A macroeconomia, porém, não dispõe de uma regra análoga que avise "o momento de parar" - manter uma economia sustentável depende de enorme mudança racional e emocional por parte de técnicos, políticos e sociedade civil: poderiam ser tentados a declarar que tal projeto é impossível.

O fato é que a alternativa a uma economia sustentável, que mantenha permanente crescimento, é biofísicamente impossível. Dessa forma, ao escolher entre enfrentar uma impossibilidade política e uma impossibilidade biofísica, deve-se escolher a primeira opção. De acordo com Daly (1993); Daly; Farley (2004), a "economia sustentável", em termos gerais, é aquela capaz de ser mantida indefinidamente, em face de limites biofísicos. Para programar esse tipo de economia, precisa-se especificar exatamente o que deve ser sustentado de um ano para o outro. Segundo esses mesmos autores, os economistas têm discutido cinco grandezas candidatas: PIB, "utilidade", rendimento, capital natural e capital total (a soma de capital natural e capital produzido pelo homem).

Com relação ao meio ambiente, base de todos os recursos utilizados pelo setor produtivo, as primeiras leis de proteção ambiental no Brasil foram trazidas de Portugal por intermédio das Ordenações Afonsinas, com data registrada de 1326, que protegiam as aves: igualavam criminalmente o seu furto ou ações de maus tratos aos crimes comuns; ou seja, não ambientais. A preocupação com a proteção das riquezas florestais brasileiras era motivada pela necessidade do emprego das madeiras para o impulso da expansão

ultramarina portuguesa - o corte resolutivo das árvores frutíferas era também considerado ato criminoso, não evitando, contudo, a intensa e duradoura exploração do “Pau Brasil”, chegando aos limites da extinção (WAINER, 1991; MAGALHÃES, 2002).

Hoje, de forma clara, é sabido que durante séculos o Brasil foi e é espoliado - em todos os processos produtivos não têm o devido cuidado para com os ecossistemas. Recentemente, no início dos anos da década de 1970, surgem e crescem os princípios propostos pela filosofia do “Desenvolvimento Sustentável”. Entre eles, estão os conceitos de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) - aparece como ferramenta de auxílio à solução dessas questões tão polêmicas e alarmantes, na tentativa de conciliar os interesses econômicos aos socioambientais.

## **2. Observações iniciais sobre AIA**

A AIA pode ser entendida como o exercício de prever as alterações que ocorrerão no meio ambiente a partir de um dado projeto proposto no período presente. Para a Associação Internacional para Avaliação de Impactos (IAIA, 2015), “avaliação de impacto, simplesmente definido, é o processo de identificação das consequências futuras de uma ação atual ou proposta”. Assim, a AIA é uma ferramenta de planejamento e visa evitar ou minimizar os problemas ambientais decorrentes das atividades antrópicas (SÁ, 2004; SOUZA, 2018). Consequentemente, é útil na conservação dos recursos naturais, na proteção da biodiversidade e na manutenção da qualidade de vida da população humana.

Para Tauk *et al.* (1995), a AIA objetiva, essencialmente, fundamentar e aperfeiçoar processos decisórios envolvendo atividades transformadoras, antrópicas ou não. Quando se fala em avaliação, automaticamente se pensa em um direcionamento para que se atribua um valor numérico tendo como referência um modelo padrão. No entanto, a avaliação relacionada a fatores ambientais está fundamentada no que certas atividades econômicas podem promover, como alterações positivas ou negativas ao meio ambiente. Neste sentido é fundamental que saiba avaliar se é mais importante implantar esta atividade que promoverá alteração ambiental, ou não realizá-la e optar pela

permanência do ambiente saudável, evitando soluções onerosas para esses problemas que surgiriam.

Segundo Moreira (1985), a AIA:

“é um instrumento de política ambiental formado por um conjunto de procedimentos capaz de assegurar, desde o início do processo, que se faça um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação proposta (projeto, programa, plano ou política) e de suas alternativas, e que os resultados sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão, e por eles devidamente considerados”.

Isto significa conhecer os componentes ambientais e suas interações, caracterizando assim, a situação ambiental dessas áreas antes da implantação do projeto. O mais importante, é que estes resultados servirão de base à execução das demais atividades (CUNHA; GUERRA, 2007; SOUZA, 2021). Cabe ressaltar que nas definições de AIA algumas dão ênfase aos componentes políticos e de gestão ambiental.

Para Biswas; Gepeng (1987); e Souza (2021), dentre os objetivos da AIA, destacam-se:

- ✓ Identificar os problemas ambientais adversos que podem ser esperados;
- ✓ Incorporar nas ações de desenvolvimento medidas mitigadoras apropriadas;
- ✓ Identificar os benefícios e prejuízos do projeto bem como sua aceitabilidade pela comunidade;
- ✓ Identificar problemas críticos que requerem estudos ou monitoramento posteriores (auxiliando, dessa forma, nos procedimentos de monitoramento da recuperação ambiental);
- ✓ Examinar e selecionar alternativas ótimas para opções viáveis (evita o surgimento de novas áreas degradadas);
- ✓ Envolver o público no processo de tomada de decisões relativas às questões ambientais para entender seu papel, suas responsabilidades e as relações existentes entre estas.

A execução de uma AIA segue, de acordo com Cunha; Guerra (2007); e Souza (2018; 2021), como regras gerais, as seguintes etapas:

- ✓ Desenvolvimento de um completo entendimento da ação proposta;
- ✓ Aquisição do conhecimento técnico do ambiente a ser afetado;
- ✓ Determinação dos possíveis impactos sobre as características ambientais, quantificando, quando possível, as mudanças;
- ✓ Planejamento detalhado das ações preventivas e, ou, corretivas que serão adotadas; e
- ✓ Apresentação dos resultados da análise de maneira tal que a ação proposta possa ser utilizada em um processo de decisão.

### **3. Conciliar crescimento com desenvolvimento sustentável**

Conciliar as causas ambientais às econômicas não é tarefa fácil. Segundo Daly; Farley (2004), pessoas e, ou, grupos, até mesmo toda uma comunidade, julgam que uma economia sustentável deveria manter a taxa de crescimento do PIB. Nessa visão, a economia sustentável seria equivalente ao crescimento - isso nos coloca a questão sobre se o crescimento sustentado é biofisicamente possível.

Para esses mesmos autores, até mesmo tentar definir sustentabilidade em termos de PIB constante é arriscado, porque o PIB confunde melhoria qualitativa (desenvolvimento) com incremento quantitativo (crescimento). A economia sustentável deve, em algum ponto, parar de crescer, embora isso não signifique, necessariamente, parar de se desenvolver. Não há razão para limitar a melhoria qualitativa no projeto de produtos, o que pode fazer crescer o PIB sem incrementar a quantidade de recursos usados. De acordo com Souza (2004; 2008; 2015; 2018; 2021), a principal ideia por trás da sustentabilidade é mudar a trajetória de progresso: de crescimento não sustentável para desenvolvimento, presumivelmente, sustentável.

Nos dias atuais, a proposta de desenvolvimento a ser sustentada é a "utilidade" - refere-se ao nível de "satisfação de necessidades", ou nível de bem-estar da população. Teóricos neoclássicos defendem a definição de sustentabilidade como a manutenção (ou incremento) de utilidade no percurso de gerações. Na prática, porém, essa definição é inútil. Utilidade é uma experiência, não um produto. Não há unidade de medida para utilidade e ela não pode ser legada de uma geração a outra (DALY; FARLEY, 2004).

Ainda, segundo esses mesmos autores, Recursos Naturais, em contraste, são produtos primários: podem ser medidos e transferidos. Em especial, pode-se medir seu rendimento: ou seja, a taxa na qual a economia os usa, levando-os de fontes de baixa entropia no ecossistema, transformando-os em produtos úteis e, por fim, descartando-as de volta ao ambiente como rejeitos de elevada entropia. Sustentabilidade pode ser definida em termos de rendimento pela capacidade do meio ambiente de suprir cada recurso natural e absorver os produtos finais descartados.

Para os economistas, recursos são uma forma de capital ou riqueza, abrangendo desde estoques de matérias-primas aos produtos acabados e as fábricas. Existem dois grandes tipos de capital: natural e artificial. A maioria dos economistas neoclássicos acredita que o capital criado pelo homem é um bom substituto do natural e, portanto, defendem a manutenção da soma dos dois: abordagem denominada sustentabilidade fraca (DALY; FARLEY, 2004).

A maioria dos economistas ecológicos acredita que capital natural e artificial são, frequentemente, mais complementares do que substitutos, e que o natural deveria ser mantido separado por ter se tornado fator limitante. Essa abordagem é denominada sustentabilidade forte: por exemplo, a quantidade anual de peixe capturado é atualmente limitada pelo capital natural das populações do mar, e não mais pelo capital artificial representado pelos barcos pesqueiros.

A sustentabilidade fraca sugeriria que a escassez de peixes poderia ser enfrentada com a construção de um maior número de barcos. A sustentabilidade forte conclui pela inutilidade de mais pesqueiros, se há escassez de peixes, e insiste que a pesca deve ser limitada para garantir a manutenção de populações adequadas para as gerações futuras. Um bom exemplo é o Estudo de Caso de Tarituba, distrito de Parati-RJ, onde os biólogos trabalharam com a conscientização dos pescadores e criaram o Projeto BEMAR - Berçário Marinho: a pesca foi controlada e há fartura de peixes e outros frutos do mar nos dias atuais! Na região Norte do Brasil também há casos de sucesso com esse mesmo contorno.

#### 4. Reveses

No entanto, há reveses! Neste segundo ano da administração de Jair Bolsonaro, 2020, nada resume melhor esse modo de operação: nem a ética ou a sua falta, que o pauta, do que a célebre intervenção do ministro Ricardo Salles na reunião ministerial de 22 de abril, cuja gravação foi tornada pública em maio por ordem do Supremo Tribunal Federal (STF). Salles afirmou na ocasião (WERNECK *et al.*, 2021):

“A oportunidade que nós temos, que a imprensa tá nos dando um pouco de alívio nos outros temas, é passar as reformas infra legais de desregulamentação, simplificação, todas as reformas, que o mundo inteiro... nessas viagens [a] que se referiu o Onyx [Lorenzoni] certamente cobrou dele, cobrou do Paulo [Guedes], cobrou da Teresa [Cristina], do Tarcísio [de Freitas], cobrou de todo mundo... da segurança jurídica, da previsibilidade, da simplificação, GRANDE PARTE DESSA MATÉRIA SE DÁ EM PORTARIAS E NORMAS DOS MINISTÉRIOS QUE AQUI ESTÃO, INCLUSIVE O DE MEIO AMBIENTE. E que são muito difíceis, e nesse aspecto eu acho que o Meio Ambiente é o mais difícil de passar qualquer mudança infra legal em termos de instrução normativa ou portaria, porque TUDO QUE A GENTE FAZ É PAU NO JUDICIÁRIO NO DIA SEGUINTE. Então PRA ISSO PRECISA TER UM ESFORÇO NOSSO AQUI, ENQUANTO ESTAMOS NESSE MOMENTO DE TRANQUILIDADE NO ASPECTO DE COBERTURA DE IMPRENSA, PORQUE SÓ SE FALA DE COVID, E IR PASSANDO A BOIADA. E ir mudando todo o regramento. E simplificando normas, de lphan, de Ministério da Agricultura, de Ministério do Meio Ambiente, de ministério disso, de ministério daquilo. AGORA É HORA DE UNIR ESFORÇOS PRA DAR DE BACIADA A SIMPLIFICAÇÃO REGULATÓRIA QUE NÓS PRECISAMOS EM TODOS OS ASPECTOS. E deixar a AGU... o André (Mendonça) não tá aí, né? E DEIXAR A AGU DE STAND-BY PRA CADA PAU QUE TIVER, PORQUE VAI TER, essa semana mesmo nós assinamos uma medida a pedido do Ministério da Agricultura, que foi a simplificação da Lei da Mata Atlântica para usar o Código Florestal, hoje já tá nos jornais 4 dizendo que vão entrar com ações judiciais e Ação Civil Pública no Brasil inteiro contra a medida. Então pra isso nós temos de estar com a artilharia da AGU preparada para cada linha que a gente avança ter uma coisa. Mas tem uma lista enorme em todos os ministérios que têm papel regulatório pra

simplificar. NÃO PRECISAMOS DE CONGRESSO. Porque coisa que precisa de Congresso também, nesse fuzuê que tá aí, nós não vamos conseguir aprovar. AGORA, TEM UM MONTE DE COISA QUE É SÓ PARECER, CANETA, PARECER, CANETA. Sem parecer também não tem caneta, porque dar canetada sem parecer é cana. Isso aí vale muito a pena”.

Como se observa no texto em destaque, de acordo com esses mesmos autores, a receita para o desmonte ambiental neste primeiro momento, consiste em fazer todas as mudanças possíveis de forma infralegal, sem precisar passar pelo Congresso onde de fato o governo sofreu derrotas em 2020. Segundo dados do projeto “Política por Inteiro”, de janeiro a dezembro de 2020, houve 593 “canetadas” do governo federal relacionadas ao meio ambiente. Na classificação por impacto das normas, 57 determinavam reformas institucionais, 32 eram “revisões” de regulamentos, 32 promoviam flexibilização, 19 desregulação e 10 eram “revogações”.

No Ministério do Meio Ambiente, segundo esses mesmo autores, servindo-se do poder da caneta para fazer nomeações, perseguir funcionários e mudar normas – e de colegiados previamente modificados para lhe dar maioria –, o ministro Ricardo Salles atuou para fragilizar ainda mais as salvaguardas ambientais no país. A “boiada” passou em temas que vão desde a flexibilização do controle da exportação de madeira até a tentativa de liberação de petróleo em áreas sensíveis, passando pelo garrote orçamentário, pelo loteamento de órgãos ambientais com policiais militares sem conhecimento técnico e pela proposta de extinção do Instituto Chico Mendes, entre vários outros. Na Agricultura, a falha em aprovar o chamado “PL da Grilagem” (2.633) levou o ministério à criação, por portaria, do programa “Titula Brasil”, que delega aos municípios a titulação de terras públicas ocupadas de forma irregular. Para 2021, considerando os últimos 20 anos, está previsto o menor orçamento para essa pasta!

Para agravar a situação, a Câmara dos Deputados aprovou no dia 13 de março (2021) o Projeto de Lei (PL) 3.729, que altera diversas regras do licenciamento ambiental. A proposta foi aprovada sem os devidos procedimentos e consultas, atendendo aos interesses da bancada ruralista. Os destaques com alterações ao texto do deputado Neri Gueller (PP-MT) foram

rejeitados, sob protestos da oposição e das entidades de defesa do meio ambiente: alegam que não foram sequer consultadas, resultando em uma proposta sem embasamento técnico-científico (JORNAL BRASIL ATUAL, 2021).

De acordo com essa mesma fonte, o projeto dispensa o licenciamento ambiental para uma série de atividades econômicas, tais como os empreendimentos do agronegócio e a ampliação em obras de infraestrutura. Também cria a figura da “licença por adesão e compromisso” - na prática, institui o “licenciamento por autodeclaração”. Além disso, acaba com consultas às comunidades tradicionais sobre obras que passem por seu território.

De acordo Carlos Bocuhy, presidente do Instituto Brasileiro de Proteção Ambiental (Proam), caso a proposta seja aprovada no Senado, o projeto praticamente inviabiliza a aplicação dos critérios de avaliação de impactos ambientais. Segundo Bocuhy, na medida em que se eliminam tais critérios, fica abolida a finalidade do próprio licenciamento: ou seja, o projeto é tão maligno que anula, em essência, o licenciamento ambiental no Brasil (JORNAL BRASIL ATUAL, 2021).

Nesse mesmo artigo, Bocuhy chama a atenção para o fato de o projeto liberar o licenciamento, por exemplo, para a construção de estações de tratamento de esgoto que lançam efluentes sem tratamento diretamente nos corpos hídricos. Além disso, a dispensa de avaliação de impactos para pequenas propriedades agrícolas também seria um ponto crítico, pois os efeitos acumulativos de diversos projetos, em uma mesma região, são ainda mais graves do que aqueles causados por um grande empreendimento.

## **5. Novos caminhos**

Nada obstante, sabe-se que a política mais adequada à manutenção do capital natural é o sistema “cap-and-trade” (limitar-e-negociar): define-se um limite para o total de rendimento permitido, conforme a capacidade do meio ambiente de regenerar recursos ou absorver poluição. O direito de esgotar fontes como os oceanos ou de poluir “dissipadores”, como a atmosfera, deixa de ser um bem gratuito, passando a ser um ativo escasso que pode ser negociado - comprado e vendido em um mercado livre -, após decidir a quem pertencem inicialmente. Entre os sistemas “cap-and-trade” já executados, está

o criado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), que institui o comércio do direito de poluir com dióxido de enxofre (um dos principais responsáveis pela chuva ácida). Outro, na Nova Zelândia, estabelece a redução da pesca excessiva mediante a definição de cotas transferíveis (DALY; FARLEY, 2004).

No Brasil, desde 2012, a precificação de carbono no Brasil, trouxe perspectivas e aprendizados a partir de uma simulação de mercado “cap-and-trade”. A mudança do clima (MC) traz uma série de implicações para diversos setores da sociedade. Desse modo, demanda medidas de mitigação e adaptação capazes de impulsionar o conjunto de ações necessárias para lidar com a pluralidade de atores e riscos envolvidos. Para tanto, políticas públicas sobre MC tendem a fazer uso de um conjunto de instrumentos abrangentes, incluindo arranjos institucionais, medidas restritivas/punitivas (tipo “comando e controle”) e instrumentos econômicos. A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), por exemplo, menciona ao todo 23 instrumentos a serem empregados para os fins previstos nesta Lei.

De acordo com Godoy; Saes (2015) cabe considerar que no Brasil existem dois exemplos de mecanismos de mercado de carbono:

- a) *Cap-and-trade*, que estabelece limites de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) às empresas, e baseia-se em licenças para poluir (*European Union Emission Trading Scheme - EU ETS*); e
- b) Projetos de reduções de emissões de GEE, que se baseia em certificados de carbono com base em reduções (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto - MDL).

Neste artigo, as autoras apresentam a dinâmica da evolução dos mercados de carbono, analisando comparativamente diferentes estruturas de mercados existentes, desempenhos, barreiras e potencialidades. Outros sistemas de redução de emissões nacionais e regionais estão sendo desenvolvidos, no entanto, o EU ETS e o mercado decorrente de Kyoto ainda se destacam: tanto em volume quanto em visibilidade. Apesar das críticas existentes, o volume global de emissões de alguns países decresceu comparativamente entre 1990 e 2011, principalmente afetado pela crise econômica global e pelas melhorias de tecnologias obsoletas.

O sistema "limitar-e-negociar" é um exemplo dos papéis distintos de livres mercados e de políticas governamentais. Tradicionalmente, a teoria econômica lidou mais com alocação (a distribuição de recursos escassos entre usos concorrentes). Não lidou com a questão de escala (o tamanho físico da economia em relação ao ecossistema) (*ibidem*).

Mercados que funcionam de forma adequada alocam recursos eficientemente, mas não podem determinar a escala sustentável; isso pode ser feito apenas mediante política governamental, como a obrigatoriedade da AIA, que é um instrumento de planejamento e gestão ambiental executada pela Política Nacional do Meio Ambiente com o objetivo de assegurar o exame dos impactos ambientais de planos, programas e projetos e de suas alternativas.

## **6. Considerações finais**

Quando se analisam todas as informações relativas ao meio ambiente e as possíveis soluções disponíveis nos dias atuais, há motivos para celebração. Contudo, práticas de Educação e Gestão Ambiental, por exemplo, devem e precisam ser estimuladas e intensificadas. Quando se avalia a questão ambiental sob o foco da punibilidade, há quem a defenda; contudo, não parece coerente a utilização do poder judiciário como coadjuvante na intenção de retardar a solução do dano. As demandas não se configuram vantajosas para as empresas, órgãos ambientais, Ministério Público e, muito menos, para o meio ambiente.

Haja vista o acidente de Brumadinho com o rompimento de uma das barragens da Vale, onde na época atual, a população afetada não foi devidamente atendida; bem como o rio Doce não foi recuperado - tal processo irá se arrastar por décadas. No Brasil as discussões judiciais podem ser excessivamente longas e o dano poderá ser agravado com o decorrer do tempo, inviabilizando formas eficazes e seguras de recuperação. Por outro lado, na maioria dos eventos poluidores, existe a necessidade de rever processos, criar controles e aderir as novas tecnologias. Economicamente é inviável uma empresa adquirir novas tecnologias ambientais, pagar integralmente a multa e recompor o meio ambiente de forma satisfatória sem sofrer economicamente.

Neste exato ponto, vislumbra-se a importância do EIA/RIMA como condição obrigatória em projetos que podem causar impactos ambientais. Significam predição e planejamento. Há de se considerar os Termos de Ajustamento de Conduta (TACs) - momento oportuno para o empreendedor se posicionar de forma equilibrada. Em casos de acidentes ambientais, será melhor optar por um acordo que patrocinar uma demanda interminável. Aliás, a intenção do legislador parece ter sido exatamente esta: privilegiar a solução do problema em detrimento das longas discussões judiciais.

Seguramente, entendeu o legislador que o ecossistema é uma engrenagem muito sensível, perfeita e compassada, que não poderá ficar a serviço das decisões dos tribunais e do tempo expendido. Assim, as multas poderão figurar como o grande financiador de modernas tecnologias de mitigação de danos ambientais causados e o financiamento se realiza por intermédio do TAC. Isso porque a empresa poluidora poderá negociar com o órgão ambiental, assistido pelo Ministério Público, a redução de até 90% da multa, com o intuito de investir em tecnologias mitigadoras e em novos processos menos poluentes. Nesta hipótese, o caráter meramente punitivo é reduzido para 10% da multa, fazendo com que a maior parte da penalidade seja convertida em investimentos em benefício do meio ambiente.

Entretanto, o modelo que se propõe nos dias atuais, é que o empreendedor se empenhe em desenvolver medidas prévias que antecedam aos impactos e, quando possível, desenvolver estudos antes mesmo do evento poluidor – essas são as propostas dos EIAs. Ou seja, o empreendimento deve ter uma análise de riscos ambientais inerentes à sua atividade. Esta análise provê o investidor de informações técnicas sobre a possibilidade de eventos desagradáveis e indesejados, as formas de contingenciamento e o custo de um eventual acidente.

Outra questão, não menos importante, é o que se chama de perícia de conformidade legal e suplementar. O objetivo desta perícia é a certificação que o empreendimento está rigorosamente dentro dos conselhos legais para àquela atividade e, que ainda, tenha adotado expedientes extralegais de forma suplementar a segurança legislativa. As empresas que adotam tais procedimentos são aquelas que sobreviverão e crescerão no modelo que privilegia a sustentabilidade.

## 7. Referências bibliográficas

BISWAS, A. K.; GEPING, Q. Guidelines for environmental impact assessment in developing countries. In: BISWAS, A. K; GEPING, Q. (Eds.) **Environmental impact assessment for development countries**. Londres: Tycooly International, 1987. p.191-232.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

DALY, H. **Valuing the earth**. Cambridge: MIT, 1993.

DALY, H.; FARLEY, J. **Ecological economics: principles and applications**. Washington, EUA: Island Press, 2004. 454 p.

GODOY, S. G. M. DE; SAES, M. S. M. Cap-and-trade e projetos de redução de emissões: comparativo entre mercados de carbono, evolução e desenvolvimento. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. XVIII, n. 1, p. 141-160, jan.-mar. 2015. Disponível em: [www.scielo.br/pdf/asoc/v18n1/pt\\_1414-753X-asoc-18-01-00135.pdf](http://www.scielo.br/pdf/asoc/v18n1/pt_1414-753X-asoc-18-01-00135.pdf). Acesso em: 20 mar. 2018.

IAIA - Associação Internacional para Avaliação de Impactos. **Avaliação de Impactos Ambientais**. 2015. 34 p. Disponível em: <<http://www.iaia.org/>>. Acesso em: 29 mar. 2015.

JORNAL BRASIL ATUAL. **Passando a boiada: Aplicação de critérios de avaliação de impactos ambientais será inviabilizada**. Disponível em: <https://www.redebrasilatual.com.br/ambiente/2021/05/camara-aprova-projeto-de-lei-que-fragiliza-o-licenciamento-ambiental>. Acesso em: 28 maio 2021.

MAGALHÃES, J. P. **A evolução do direito ambiental no Brasil**. São Paulo, SP: J. Oliveira, 2002.

MOREIRA, I. V. D. **Avaliação de impacto ambiental**. Rio de Janeiro: FEEMA, 1985. 34p.

SÁ, M. F. **Processo de avaliação de impactos ambientais (AIA) do empreendimento Sapiens Parque**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004. 125 p.

SOUZA, M. N. **Degradação Antrópica e Procedimentos de Recuperação Ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v.1000. 376p.

SOUZA, M. N. **Degradação e Recuperação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 371p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SOUZA, M. N. **Dinâmica do uso dos recursos hídricos nas bacias do 2008 ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, afluentes do rio Paracatu**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 345p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2008.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais**. Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015, v.5000. 376 p.

SOUZA, M. N. **Recuperação ambiental ou recuperação de áreas degradadas: conceitos e procedimentos**. p. 11-57. In: SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.133p.

SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.133p.

TAUK, S. M. T.; GOBBI, N.; FOWLER, H. G. **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. São Paulo: UNESP,1995. 258p.

WAINER, A. H. **Legislação ambiental brasileira**. Rio de Janeiro: Forense. 1991.

WERNECK, F.; SORDI, J.; ARAÚJO, S.; ÂNGELO, C. **Passando a boiada: o segundo ano de desmonte ambiental sob Jair Bolsonaro**. Observatório do Clima. 38p. 2021.

## **Autores**

Maurício Novaes Souza\*

Professor do Instituto Federal do Espírito Santo e do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Campus de Alegre - Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)

---

## Ferramentas e, ou, métodos para a identificação e avaliação de efeitos e impactos

Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c2>

### 1. Introdução

Para se realizar a avaliação de impacto ambiental (AIA) é importante mencionar que se deve seguir uma dada metodologia: além de serem métodos flexíveis e que se faz necessário que sejam revisados frequentemente, deve consistir-se em um conjunto de normas que variem de acordo com o fator ambiental considerado, aplicáveis em qualquer fase do processo.

De acordo com Silva (1994a), os métodos de AIA são instrumentos utilizados para “coletar, analisar, avaliar, comparar e organizar informações qualitativas e quantitativas sobre os impactos ambientais, originados por uma determinada atividade modificadora do meio ambiente”.

Nos dias presentes, são vários os métodos de AIA existentes; porém, todos apresentam potencialidades e limitações. A escolha de um determinado método dependerá, fundamentalmente, da disponibilidade de dados e do tipo de empreendimento. Na maioria dos casos, a utilização conjunta de mais de um método permitirá obter um melhor resultado quando comparado à utilização de um único método (SILVA, 1994b; 1998; CUNHA; GUERRA, 1999; SOUZA, 2021).

A metodologia escolhida pode e deve ser utilizada para auxiliar na detecção de impactos ambientais, na sua classificação e divulgação. Segundo Cunha; Guerra (2007) ferramentas ou metodologias de AIA “são mecanismos estruturados para organizar e analisar informações sobre impactos ambientais de uma proposta, incluindo os meios de apresentação escrita e visual dessas informações”.

O fato é que a AIA é um exercício de elevada complexidade, uma vez

que lida com um amplo espectro de variadas naturezas, agindo simultaneamente ou em diferentes escalas espaço-temporais. Portanto, os métodos empregados nas AIAs devem permitir uma análise conjunta de vários níveis, aos quais corresponde cada um dos ângulos da análise efetuada. Além disso, as questões metodológicas devem seguir uma abordagem técnica-científica que desenvolva um raciocínio analítico compatível com a “Legislação Ambiental Brasileira”, com técnicas específicas para o cálculo ou tabulação dos impactos no meio biológico, físico e antrópico (OLIVEIRA; MEDEIROS, 2007).

Dessa forma, os métodos ou técnicas de AIA devem ser instrumentos inter e multidisciplinares utilizados para identificar, coletar, analisar, avaliar, comparar e organizar informações qualitativas e quantitativas sobre os impactos ambientais originados de uma determinada atividade modificadora do meio ambiente, em que são consideradas, também, as técnicas que definirão a forma e o conteúdo das informações a serem repassadas aos setores envolvidos (LA ROVERE, 2001; SOUZA, 2018; 2021).

Portanto, a atividade técnica de AIA deve ser desenvolvida conforme disposto no artigo 6º, Inciso II, da Resolução 001/86 do CONAMA, respondendo à seguinte questão:

A análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médios e longos prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais (CONAMA, 1986).

Existe um grande número de métodos, técnicas e ferramentas de AIA para a realização das três principais tarefas da análise de impactos: identificação, previsão e interpretação ou avaliação (SÁNCHEZ, 2008). Todavia, deve ficar claro que não existe um método que se aplique a todo e qualquer estudo, pois nenhum método atende a todas as etapas de um dado procedimento de avaliação. Os métodos foram desenvolvidos para os mais

variados propósitos e situações a fim de auxiliar o trabalho dos analistas: mas não se tratam de pacotes fechados e inflexíveis. Todos apresentam potencialidades e limitações, sendo que a escolha do método a ser aplicado a cada caso vai depender de vários fatores, tais como (FOGLIATTI *et al.*, 2004):

- ✓ **Recursos técnicos e financeiros disponíveis;**
- ✓ **Tempo para realização do estudo;**
- ✓ **Disponibilidade de dados;**
- ✓ **Requisitos legais; e**
- ✓ **Características intrínsecas do tipo de empreendimento.**

Há de se considerar que todos possuem a mesma **FINALIDADE**:

**- Obter resultados claros, objetivos e seguros.**

Na literatura são encontradas diversas classificações para organizar os métodos de AIA. Como regra geral, variam conforme a abordagem adotada. La Rovere (2001) divide essas técnicas em dois grandes grupos - econômicos e quantitativos:

- a) Econômicos: baseiam-se nos métodos tradicionais de avaliação de projetos, como a análise de custo-benefício, em que os impactos são mensurados em termos monetários; e
- b) Quantitativos: conjunto de métodos que inclui aqueles onde os impactos são avaliados em qualquer unidade que não a monetária, geralmente aplicando escalas valorativas aos diferentes impactos medidas originalmente em suas respectivas unidades físicas.

Contudo, atualmente, os métodos econômicos são considerados obsoletos e muitas vezes nem são mencionados na literatura entre as técnicas de AIA. No presente capítulo será apresentado um método desse grupo, ao final do presente trabalho, com o objetivo de exemplificação.

Outra classificação bastante utilizada nos dias atuais agrupa os métodos de acordo com o objetivo em duas categorias (FOGLIATTI *et al.*, 2004):

- a) Centrada na identificação e sintetização dos impactos; e
- b) Métodos que mais se aproximam do conceito de avaliação.

Pertencem à primeira categoria os métodos “Ad Hoc”, Listagem de Controle, Matrizes de Interação, Diagramas de Sistemas, Métodos Cartográficos e Redes de Interação. Sánchez (2008) refere-se a esses métodos como ferramentas de

identificação dos impactos ambientais.

Na segunda categoria se encontram os métodos e modelos que visam quantificar, comparar e selecionar a melhor alternativa, podendo explicitar as bases de cálculo ou a ótica de diferentes grupos sociais, por exemplo, o método de Battelle, Análise Multicritério, Matrizes de Realização de Objetivos e Folhas de Balanço (LA ROVERE, 2001; FOGLIATTI *et al.*, 2004).

Contudo, a classificação mais recorrente agrupa os métodos de AIA em qualitativos e quantitativos. As **abordagens qualitativas** são aquelas balizadas nas decisões de especialistas e no conhecimento gerado pelas experiências passadas, sendo os impactos avaliados por classes subjetivas como “muito, pouco, nada”, “significativo ou não significativo”, “em longo, médio e curto prazo”, ou ainda por escalas ou pesos hierárquicos (FOGLIATTI *et al.*, 2004). Já as **abordagens quantitativas** são inteiramente baseadas em métodos matemáticos onde as relações entre os elementos são dadas por variáveis e parâmetros, numericamente quantificáveis em qualquer unidade.

É sabido, nos dias atuais, que os impactos socioambientais são provocados pelos modelos dos sistemas produtivos, pela ausência de planejamento adequado dos projetos, pelo consumo excessivo e pela disposição inadequada dos resíduos e, ou, efluentes; também, sabe-se que ocorrem de maneira diferenciada nas distintas fases de um dado projeto ou atividade, exigindo cuidados e procedimentos diferenciados. Podem ser divididos em duas (2) fases clássicas:

❖ **Planejamento e projeto:** não geram impactos significativos, mas são fundamentais para identificá-los nas fases seguintes.

❖ **Construção e operação:** os meios físicos, biótico e socioeconômico são impactados em maior ou menor grau, em função do tipo e do porte de projeto.

Ou ainda, os impactos podem ser subdivididos relacionando-os com as subfases nas quais ocorrem:

- Fase de planejamento;
- Fase preparatória;
- Fase de implantação;
- Fase de operação;

- Fase de desativação; e
- Fase de fechamento.

Diversos fatores devem ser levados em consideração na escolha de um determinado método de AIA. Contudo, os **aspectos mais relevantes que devem ser considerados na escolha do método mais adequado para um projeto** devem considerar, principalmente (SOUZA, 2004; 2018):

- Tipo e porte do projeto;
- Objetivo da avaliação;
- Natureza dos impactos prováveis;
- Experiência da equipe de AIA com o método de identificação do impacto a ser selecionado;
- Custo e disponibilidade de recursos;
- Nível de detalhamento das informações;
- Tempo disponível para a execução do projeto; e
- Qualidade e quantidade da equipe técnica.

**Vale ressaltar que:**

- Dois métodos podem ser combinados para tornar a avaliação mais completa e exata: muito comum na maioria dos médios e grandes projetos.

Considerando as diversas metodologias utilizadas nos dias presentes, os principais métodos usados para prever as mudanças ambientais e determinar os impactos serão descritos a seguir.

## **2. Metodologias de avaliação de efeitos e impactos ambientais**

De acordo com Morato (2008), entende-se por “Método” o meio ou o processo de se atingir um determinado objetivo, ou, ainda, os procedimentos técnicos, modos de pesquisa e investigação previamente estabelecidos próprios de uma ciência ou disciplina empregados para alcançar um determinado fim; enquanto “Metodologia” é o estudo sistemático e lógico dos princípios que dirigem o estudo científico dos métodos.

De acordo com Pereira *et al.* (2012), a definição e o desenvolvimento de métodos próprios de AIA são de suma importância para garantir uma análise segura de quaisquer projetos que se queira avaliar. Cabe considerar que os

indicadores escolhidos pelos métodos existentes não têm equidade universal: ao contrário, têm valores diferentes no espaço e no tempo. Diferem até mesmo entre países por diversos fatores: ambientais, sociais, econômicos e culturais, além das diferenças dos seus níveis de desenvolvimento.

Para Braga (1986), visualiza-se aí a necessidade de se evitar simplesmente a importação de técnicas e indicadores que, embora com objetivos e comprovação científicos, não refletem as necessidades públicas dentro do quadro histórico-político-econômico de um dado país.

### **2.1. Consulta aos “experts” ou “Ad Hoc” (metodologias espontâneas)**

O referido método utiliza a prática de reunião entre especialistas de diversas áreas, para que se obtenham dados e informações, em tempo reduzido, imprescindíveis à conclusão dos estudos. Muito utilizado em situações emergenciais, tais como enchentes de grandes proporções ou rompimento de uma barragem.

Alguns “experts” são reunidos em função de suas competências. Os resultados destas consultas enfatizam parcialmente os impactos e seus efeitos, dependendo da formação e da experiência dos consultores. Esta abordagem não é considerada muito metódica: alguns impactos serão tratados em detalhes, enquanto outros serão relegados a um plano inferior.

Tais especialistas são selecionados entre profissionais de notório saber, que reúnam conhecimentos práticos por terem vivido ou trabalhado na área a ser afetada ou que já foi comprometida. Organizam-se reuniões técnicas com a finalidade de, em tempo reduzido, obter informações a respeito dos prováveis impactos ambientais do acidente ou do projeto, com base na experiência profissional de cada um dos membros participantes.

Cabe considerar: este método foi desenvolvido para ser empregado quando é curto o tempo e há carência de dados para tratamento sistemático dos impactos, não sendo possível a realização de estudos detalhados.

Este método não permite um julgamento pela sua heterogeneidade. Contudo, esta abordagem pode se justificar pelo fato de que os impactos realmente significativos, associados às principais categorias do projeto são, de certa forma, relativamente bem identificados.

Como exemplos podem ser citados os casos dos impactos sobre a paisagem e agricultura provocados pela construção de uma rodovia ou ferrovia em uma região plana; ou um grave acidente, por exemplo, envolvendo produtos químicos que demanda medidas imediatas; ou o rompimento de uma barragem que pode impactar o ambiente e ceifar vidas em um curto espaço de tempo.

Um estudo de caso ocorrido com o autor desse capítulo pode exemplificar a utilização desta metodologia. Em uma situação emergencial ocorrida quando fui professor do Campus de CEFET Rio Pomba (atualmente IF Sudeste de Minas), em 2004, foi possível que participasse com um grupo de quatro (4) professores para sanar um problema emergencial relativo à crise hídrica naquela Instituição.

Há de se considerar que não havia fornecimento de água tratada pelo SAAE – empresa estatal responsável pelo tratamento e distribuição de água naquela cidade. Em apenas duas (2) horas, tendo por base os princípios do método “Ad Hoc”, definiram-se as medidas emergenciais que mitigariam o problema de forma imediata, a construção de uma microbarragem, sendo os resultados bastante positivos (Figura 1).



**Figura 1.** Microbarragem para a contenção de água no IF Sudeste de Minas campus Rio Pomba, MG. Fonte: arquivo pessoal (2004).

Posteriormente, avaliações mais detalhadas e alternativas mais eficazes, de médio e longo prazo, foram adotadas e as obras executadas (Figura 2).



**Figura 2.** Construção de barragens no IF Sudeste de Minas campus Rio Pomba. Fonte: Arquivo pessoal (2010).

Ou seja, nesse caso bem como em outros que exigem respostas imediatas, o Método “Ad Hoc” utiliza a prática de reuniões entre especialistas de diversas áreas (grupo multidisciplinar), para que se obtenham dados e informações, em tempo reduzido, imprescindíveis à conclusão dos estudos, onde estes fornecem suas impressões e experiências para a formulação de um relatório ou inventário de impactos potenciais do projeto em avaliação.

Normalmente, empregam-se em situações emergenciais, como no caso do CEFET Rio Pomba, hoje IF campus Rio Pomba, MG; ou em casos cujas informações preliminares são escassas e quando a experiência passada é insuficiente para uma sistemática organização das informações com métodos objetivos.

Nos casos em que outros métodos científicos são viáveis, esse método não é suficiente para tomada de decisão. Começou a ser usado com essa finalidade nos anos da década de 1950 – nos dias atuais, principalmente na fase de reconhecimento e levantamentos iniciais, ainda é muito empregado em combinação com outros métodos. Atualmente, consultas “Ad Hoc” compõem a

maioria dos métodos de AIA, em pelo menos uma de suas fases (LOHANI *et al.*, 1997; PEREIRA *et al.*, 2012; SOUZA, 2004; 2018; 2021).

Os procedimentos adotados, no referido caso do hoje IF Sudeste de Minas campus Rio Pomba, que utilizou essa metodologia, consistiu no apontamento dos aspectos e impactos visivelmente observados; e no estudo de quais medidas poderiam mitigar a presente situação (Tabela 1). Como regra geral, não tendo ocorrido o evento, de acordo com Cunha; Guerra (2007) adotam-se de forma dissertativa as alterações ambientais que podem ocorrer com o planejamento, a implantação ou a operação de empreendimentos ou atividades humanas, sendo feito por especialistas de diversas áreas do conhecimento.

Após realizarem uma reflexão sobre um determinado projeto os especialistas descrevem os impactos ambientais que poderão ocorrer em função desse projeto. As metodologias espontâneas são muito simples e recomenda-se que não sejam utilizadas isoladamente em Estudos Ambientais para o Licenciamento de empreendimentos, mas servem de base para outras ferramentas de AIA. Os impactos ambientais inicialmente detectados por intermédio de metodologias espontâneas podem posteriormente ser organizados em listas ou matrizes (OLIVEIRA; MOURA, 2009).

Cabe lembrar: a eficiência desse método depende da qualificação dos profissionais das diferentes áreas, que juntos trazem variados pontos de vista baseados numa combinação única do conhecimento específico, da experiência, treinamento e intuição do grupo de especialistas. É comum a identificação dos impactos via *brainstorming*<sup>3</sup>, que após uma longa reflexão, são organizados por meio de tabelas ou matrizes e usados na elaboração de um relatório (LOHANI *et al.*, 1997; LA ROVERE, 2001; COSTA *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2012; SOUZA, 2015; 2018; 2021).

---

<sup>3</sup> *Brainstorming* (tempestade de ideias): consiste em um processo de trabalho em equipe que explora a potencialidade de um grupo para atingir objetivos pré-determinados. A técnica é aplicada em várias áreas, tais como: publicidade, solução de problemas e gestão de processos.

**Tabela 1.** Método “Ad Hoc”: AIA da construção de uma série de barragens no atual IF Sudeste de Minas campus Rio Pomba.

Área ambiental	Impacto Ambiental										
	EL	EP	EN	EB	EA	P	CP	LP	R	I	
Vida selvagem			X			X	X				
Espécies ameaçadas	X										
Vegetação nativa			X			X			X		
Vegetação exótica	X										
Barraginha		X		X		X		X		X	
Características do solo	X										
Drenagem natural		X		X				X	X		
Água subterrânea		X		X				X		X	
Ruído			X				X				
Abertura de estradas			X		X		X		X		
Recreação		X		X		X		X		X	
Qualidade do ar			X		X		X		X		
Comprometimento estético	X	X		X		X		X		X	
Áreas virgens	X	X		X		X		X		X	
Saúde e segurança	X										
Valores econômicos		X		X				X		X	
Pesquisas		X		X				X		X	
Recarga de aquíferos		X		X			X	X		X	
Compatibilidade com planos institucionais		X		X				X		X	

EL = efeito nulo; EP = efeito positivo; EN = efeito negativo; EB = efeito benéfico; EA = efeito adverso; P = problemático; CP = curto prazo; LP = longo prazo; R = reversível; I = irreversível.

Fonte: Souza (2008; 2015; 2018) adaptado de Braga *et al.* (2005).

Citado por Rodrigues (1998), um exemplo similar ao método “Ad Hoc” é o “Método Delphi” - utiliza rodadas subsequentes de questionários nos quais os especialistas expressam suas impressões sobre pontos levantados inicialmente, a partir das quais se desenha um cenário que é então compartilhado com todos os pontos específicos e um quadro de opções possíveis nos pontos em desacordo.

Como ferramenta emergencial, o Método “Ad Hoc” tem como principais vantagens a simplicidade de realização, a rapidez e o baixo custo; e como desvantagens o fato de não realizar análise sistemática dos impactos e apresentar resultados com alto grau de subjetividade. Outro problema intrínseco ao exercício de opinião por especialistas de forma “Ad Hoc” é o fato de não ser replicável, uma vez que depende da qualidade do grupo de especialistas reunidos e do nível de informação existente para o projeto. Isso dificulta a revisão crítica das conclusões da AIA (LOHANI *et al.*, 1997; ANJANEYULU; MANICKAM, 2007).

Cabe considerar: no Brasil os regulamentos limitam o uso apenas do método “Ad Hoc” por não contemplar as exigências da legislação vigente; ou seja, não é possível apresentar um EIA utilizando unicamente o método “Ad Hoc”. Dessa forma, deve ser usado como uma etapa dentro do processo de avaliação e não como método absoluto, apesar de ser citado em referências sobre o assunto. Há de se considerar que as reuniões de especialistas possam servir, em alguns casos, para tarefas do EIA, desde que as opiniões se fundamentem em argumentos técnicos e razões científicas criteriosas.

Dessa forma, de acordo com Souza (2004), existem muitos métodos de AIA e, na maioria das vezes, é necessária a aplicação de mais de um deles em um determinado EIA. O Método “Ad Hoc” é interessante para a criação de grupos de trabalho que mais tarde pode se tornar a equipe que comporá a elaboração do EIA. Souza (2021) comenta sobre os projetos que não exigem o licenciamento ambiental: o uso do método “Ad Hoc” contribui imensamente na identificação dos efeitos e impactos do empreendimento, contribuindo para a sua mitigação, apontando o uso de procedimentos e opções locais alternativos.

De acordo com Silva (1994a); Pereira *et al.* (2012); Cremonez *et al.* (2014); e Souza (2018; 2021), podem-se citar como principais vantagens e desvantagens do método “Ad Hoc”:

#### **Vantagens:**

- ✓ Rapidez na identificação dos impactos prováveis e da melhor alternativa e viabilidade de aplicação quando as informações são escassas;

- ✓ Adequados para casos com escassez de dados fornecendo orientação para outras avaliações;
- ✓ Estimativa rápida da evolução de impactos de forma organizada, facilmente compreensível pelo público;
- ✓ Permite uma visão integrada da questão.

**Desvantagens:**

- ✓ Vulnerabilidade à tendenciosidade nas escolhas dos participantes;
- ✓ Não há detalhamento no exame das intervenções e variáveis ambientais envolvidas;
- ✓ Alto grau de subjetividade dos resultados: dependem da qualidade da coordenação, dos critérios de escolha dos componentes do grupo de trabalho, do nível de informação, da experiência profissional, de interesses pessoais, entre outros.

**2.2. Checklist ou metodologia da listagem de controle, e, ou, verificação**

As “Listagens de Controle” são uma evolução natural do método “Ad Hoc”. Especialistas preparam listagens de fatores (ou componentes) ambientais potencialmente afetáveis pelas ações propostas. Com o decorrer do tempo essas listagens se tornaram disponíveis para um grande número de empreendimentos-padrão. Nos dias atuais, há uma ampla bibliografia especializada, de fácil acesso, sobre o uso e aplicabilidade desse método.

De fato, de acordo com Silva (2011), trata-se simplesmente da elaboração de uma lista de impactos ambientais: podem estar separados por fase do empreendimento e pelo meio afetados (físico, biológico e socioeconômico). Para este mesmo autor, as listagens de controle consistem numa relação de fatores e parâmetros ambientais que servem de advertência do que se deve considerar num determinado estudo. Consiste na identificação e enumeração dos impactos a partir da diagnose ambiental realizada por especialistas dos meios físico, biótico e socioeconômico. A listagem representa um dos métodos mais utilizados na fase inicial do EIA, particularmente no diagnóstico ambiental da área de influência do projeto e na comparação das alternativas (Tabela 2).

A equipe multidisciplinar envolvida na AIA relaciona os impactos decorrentes das fases de projeto, implantação e operação do empreendimento, classificando-os em positivos ou negativos. O método pode ser apresentado sob a forma de *Checklist* a ser preenchido para direcionar a avaliação a ser realizada. Os termos de referência para a preparação do EIA são uma forma de listagem de controle das informações, pesquisas e previsões a serem necessariamente apresentadas, evitando a omissão de aspectos relevantes para a análise das condições de aprovação do projeto (MORATO, 2008).

Essa lista é preparada por profissionais de diversas áreas do conhecimento. É importante ressaltar que se podem encontrar na literatura listas de verificação contendo os impactos ambientais que frequentemente ocorrem em função de determinados empreendimentos, sendo tais listas muito úteis para a confecção de Estudos de Impacto Ambiental (SANCHEZ, 2008; PEREIRA *et al.*, 2012; SOUZA, 2018).

**Tabela 2.** *Checklist* inicial em uma das etapas do EIA relativos à fase de operação da transposição das águas do rio São Francisco.

Impacto	Ambiente afetado	Probabilidade de ocorrência	Natureza	Significância
1. Geração de emprego e de renda	Antrópico	Alta	Positivo	Significativo
2. Aumento e/ou aparecimento de doenças	Antrópico	Média	Negativo	Pouco significativo
6. Aumento de demanda de serviços de saúde	Antrópico	Baixa	Negativo	Não significativo
8. Perda e fragmentação de áreas de vegetação nativa	Biótico	Alta	Negativo	Muito significativo
9. Perda de habitats da fauna terrestre	Biótico	Alta	Negativo	Significativo
10. Perda e fragmentação de áreas de vegetação nativa	Biótico	Alta	Negativo	Muito significativo
11. Perda de terras férteis	Físico	Alta	Negativo	Pouco significativo

24. Estabelecimentos de novos habitats aquáticos	Biótico	Alta	Negativo	Muito significativo
25. Aumento da reposição de água subterrânea	Físico	Média	Positivo	Muito significativo
26. Risco de acidentes com cobras	Biótico	Baixa	Negativo	Pouco significativo
27. Introdução de condições propícias à proliferação de vetores	Biótico	Média	Negativo	Pouco significativo
28. Alteração da qualidade da água e da vida aquática nas bacias receptoras	Biótico	Alta	Negativo	Muito significativo
29. Aumento da população de peixes nativos da região nas bacias receptoras	Biótico	Alta	Positivo	Muito significativo
30. Alteração da comunidade de peixes e perda de sua diversidade	Biótico	Alta	Negativo	Muito significativo

Fonte: Castro (2011).

As listagens de controle foram os primeiros métodos de AIAs, em virtude, principalmente, de sua facilidade de aplicação. São listas de controle exaustivas estabelecidas de maneira específica para cada tipo de projeto, a partir dos quais se identificam os impactos, seus efeitos e suas externalidades. Um aspecto negativo deste procedimento é a possibilidade do analista ignorar fatores importantes que não constem na lista. Igualmente ao método “Ad Hoc”, a experiência e a diversidade da equipe serão fundamentais para a análise e elaboração adequadas da AIA.

De acordo com Pereira *et al.* (2012), os *Checklists* são classificados em dois tipos:

- ✓ **Qualitativos** - Indicam os domínios e os efeitos a examinar. Constituem uma espécie de sumário de estudos de impactos, ou seja, questionários; e
- ✓ **Quantitativos** - São na realidade modelos de estudo de impacto padronizados. Existem programas computacionais, coeficientes e

fórmulas que permitem o cálculo direto e imediato dos impactos, conhecendo-se as suas características.

Este tipo de estudo é muito usado nos EUA em pré-estudos de impactos. Foi um dos primeiros métodos de AIAs, em virtude, principalmente, de sua facilidade de aplicação. Tais listas, segundo Rodrigues (1998), compõem um dos métodos primordiais da avaliação de impactos, consistindo de listagens de atributos ambientais que possam ser afetados pelo projeto e que causem algum impacto. Podem ser a simples enumeração dos atributos e das atividades, até complexos inventários que incorporem ponderações para definir escala e importância de cada atividade do projeto sobre o ambiente (SADLER; MCCABE, 2002).

De acordo com Tomasi (1993), é um método útil em estudos preliminares para identificação de impactos relevantes nos meios físico, biótico e antrópico; porém, não permite projeções e identificação de impactos secundários, nem evidencia as inter-relações entre os fatores ambientais. É considerado um método estático e fragmentado em que não são consideradas as características temporais e espaciais, nem a dinâmica dos sistemas ambientais. Contudo, quando a caracterização via listagem de controle é realizada com base no conceito de impacto ambiental da Resolução CONAMA 001/86 e no conhecimento técnico-científico disponível, fornece a transparência necessária para as etapas posteriores, como hierarquização e avaliação de indicadores (IBAMA, 1995).

De acordo com La Rovere (2001) e Sadler; McCabe (2002) existem, nos dias atuais, diversas listas padronizadas por tipo de projetos, tais como barragens, rodovias e ferrovias, além de listas informatizadas (*softwares*) para diferentes tipos de empreendimentos.

Como exemplos, têm-se as listas disponibilizadas no livro de consulta *Environmental Assessment Sourcebook* do Banco Mundial (WORLD BANK, 1991a, 1991b, 1991c *apud* PEREIRA *et al.*, 2012) e nos livros de orientação *Guidance on EIA* da Comissão Europeia (EC 2001a, 2001b *apud* PEREIRA *et al.*, 2012).

No Brasil, vários tipos de listas podem ser encontrados na literatura técnica (como manuais e guias), geralmente elaborados por órgãos ambientais.

Um bom exemplo são os Termos de Referência da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), em Minas Gerais, com referências para uma gama de atividades de desenvolvimento disponíveis *online*. Contudo, a utilização dessas listas de verificação quase sempre requer correções e adaptações para adequá-las às condições que não estão previstas nas listas preexistentes (SÁNCHEZ, 2006).

Em resumo, o Método *Checklist* ou Listagens de controle se caracteriza por fazer o **diagnóstico por comparação de alternativas**.

- ❖ **Vantagem:** favorecimento na visualização dos fatores, ainda que não identifiquem a dinâmica entre as características e os impactos.

As listas de controle podem ter variadas formas. Serão descritas as cinco principais listas de controle usadas na AIA, segundo Pereira *et al.* (2012):

- ✓ Listas de controle simples;
- ✓ Listas de controle descritivas;
- ✓ Listas em questionário;
- ✓ Listas de controle escalares comparativas;
- ✓ Listas de Controle Ponderáveis (por exemplo, o Método Batelle).

### 2.2.1. Listas de Controle Simples:

Nessas listas os impactos são enumerados de modo simples e avaliados qualitativamente. Levam em consideração apenas os atributos ambientais e os impactos não são associados com as atividades geradoras: podem apenas ser relacionados com a fase do projeto em que ocorrem. Também não identificam os impactos secundários (FOGLIATTI *et al.*, 2004). Este tipo de lista pode ser importante para diagnosticar ambientalmente uma área de influência e obter uma avaliação das implicações do projeto, como uma etapa inicial para uma abordagem mais elaborada (RODRIGUES, 1998). Um exemplo de listagem simples é apresentado na Tabela 3.

De acordo com Silva (2011), as listagens de controle simples enumeram apenas os fatores ambientais: em algumas oportunidades seus respectivos indicadores; ou seja, os parâmetros que fornecem as medidas para o cálculo (quantitativo ou qualitativo) da magnitude dos impactos. Em muitos casos incluem também a lista das ações de desenvolvimento do projeto. Existem

listagens específicas para a avaliação de determinados tipos de projeto, tais como rodovias, ferrovias e aeroportos.

**Tabela 3.** Lista de controle simples aplicada a um projeto de construção de estrada.

ITENS	Planejamento	Construção	Operação
<b>Socioeconômico</b>			
Melhoria da economia local e regional	X	X	X
Valorização/desvalorização imobiliária	X	X	X
Arrecadação tributária	X	X	X
Oportunidades de trabalho	X	X	X
<b>Físico</b>			
Modificação do relevo		X	
Erosão do solo		X	X
Aumento da área de solo impermeabilizado		X	X
Alteração da qualidade das águas superficiais		X	X
Carga de sedimentos e assoreamento de corpos d'água		X	X
Alteração da qualidade do ar		X	X
Alteração no nível e frequência de ruídos		X	X
<b>Biótico</b>			
Fragmentação e redução de habitats da vida selvagem		X	X
Impactos na fauna		X	X
Impactos na flora		X	X
<b>Antrópico (Patrimônio)</b>			
Comprometimento de sítios arqueológicos		X	X
Alteração da paisagem de valor histórico		X	X
Impactos estéticos e visuais		X	X
Comprometimento de outros elementos do patrimônio cultural		X	X

Fonte: Pereira *et al.* (2012).

### 2.2.2. Listas de controle descritivas:

Nessa listagem as fontes geradoras de impactos são identificadas, bem como os grupos sociais afetados. Parte de uma lista descritiva é apresentada na Tabela 4, contendo diversos fatores relativos a projetos de habitação e outros usos da terra.

**Tabela 4.** Lista de controle descritiva para projetos de desenvolvimento urbano.

FATOR	BASES PARA ESTIMATIVAS
<b>1. Economia local</b>	
- Alteração do balanço líquido fiscal no fluxo fiscal do governo (despesas menos receitas)	- Receitas públicas: renda familiar estimada (por tipo de habitação), incluindo valores de propriedade; - Gastos públicos: análise da nova demanda de serviços, custos atuais, capacidades disponíveis por tipo de serviço.
<b>Emprego</b> - Mudança em números e percentuais de empregados, desempregados e subempregados, por nível de qualificação.	- Direto de novas atividades ou estimado a partir da distribuição espacial, padrões residenciais locais, imigração esperada e perfis de desemprego atual.
<b>Riqueza</b> - Mudança no valor da terra	- Oferta e demanda de terras similares (zoneamento), mudanças ambientais próximas à propriedade.
<b>2. Ambiente natural</b>	
<b>Qualidade do ar</b> - Saúde - Mudanças nas concentrações de poluição do ar por: frequência de ocorrência e o número de pessoas em risco. - Mudança na ocorrência de perturbações da qualidade visual do ar (fumaça, neblina) e, ou, olfativas (odor), e o número de pessoas afetadas.	- Concentrações atuais no ambiente, emissões atuais e estimadas, modelos de dispersão, mapas de população; - Estudos de base, processos industriais e volume de tráfego esperados.
<b>Qualidade da água</b> Mudanças na permissão ou tolerância de uso da água, o número de pessoas afetadas para cada corpo de água.	- Volume de efluentes atual e estimado, concentração atual no ambiente, modelo de qualidade da água.
<b>Ruído</b> - Alteração dos níveis e frequência de ocorrência de ruído, e o número de pessoas incomodadas.	- Mudanças no tráfego próximo ou outras fontes de ruído e nas barreiras antirruído; modelos de propagação de ruído que correlacionem os níveis de ruído relativo ao tráfego, barreiras, entre outros; estudo de base e satisfação atual do cidadão com os níveis de ruído.

Fonte: Anjaneyulu; Manickam (2007) *apud* Pereira *et al.* (2012).

Esta informação adicional facilita a definição dos objetivos e um diagnóstico dos tipos de mitigação e monitoramento que serão necessários. Contudo, as importâncias dos impactos não são fornecidas. Apesar do maior detalhamento em relação às listas simples, ainda trazem pouca orientação para a comparação entre alternativas de projeto para a tomada de decisão (FOGLIATTI *et al.*, 2004).

O Banco mundial apresenta outro exemplo de possíveis impactos negativos e medidas de mitigação para usinas hidroelétricas (Tabela 5).

**Tabela 5.** Parte da lista descritiva fornecida pelo Banco Mundial para projetos hidroelétricos.

<b>IMPACTOS NEGATIVOS POTENCIAIS</b>	<b>MEDIDAS MITIGADORAS</b>
<b>Diretos</b>	
1. Efeitos ambientais negativos durante a construção <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Poluição do ar e água pelo despejo de resíduos da construção</li> <li>▪ Erosão do solo</li> <li>▪ Supressão da vegetação</li> <li>▪ Problemas sanitários e de saúde nos canteiros de obras</li> </ul>	Medidas para minimizar os impactos: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Controle de poluição do ar e da água</li> <li>▪ Critério na alocação do canteiro de obras, construções, fossas, pedreiras e área de despejo</li> <li>▪ Precauções para minimizar processos erosivos</li> <li>▪ Recuperação de áreas degradadas</li> </ul>
4. Perda de elementos históricos, culturais e estéticos pela inundação da represa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implantação da barragem ou redução do tamanho da represa para evitar perdas</li> <li>• Recuperação ou proteção dos patrimônios culturais</li> </ul>
5. Perda de áreas naturais e habitats da fauna selvagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implantação da barragem ou redução do tamanho da represa para evitar/minimizar perda</li> <li>• Estabelecimento de parques ou reservas como áreas compensatórias</li> <li>• Resgate e realocação da fauna</li> </ul>
<b>Indiretos</b>	
22. Migração desordenada de pessoas para área devido ao fácil acesso pelas estradas e redes de transmissão	Limitação do acesso, prover meios para o desenvolvimento rural e serviços de saúde na tentativa de minimizar impacto.
23. Problemas ambientais devido ao desenvolvimento acarretado pela barragem (irrigação agrícola, indústrias, crescimento municipal).	Planejamento da bacia para evitar o uso excessivo e indevido da água e conflitos pelos recursos hídricos e da terra.

Fonte: World Bank, 1991c *apud* Pereira *et al.* (2012).

### 2.2.3. Questionários:

Nessa listagem os consultores especialistas desenvolvem um questionário específico para o projeto em análise, baseado na experiência ou por meio de consulta bibliográfica. Os questionários apresentam os objetivos e impactos a serem avaliados. Consistem em uma lista de perguntas abertas e, ou, fechadas que serão aplicadas aos elaboradores do EIA.

Este tipo de método geralmente emprega outra equipe de especialistas pelo método “*Ad Hoc*”. Apesar de ser uma abordagem flexível que possibilita a adequação ao contexto do projeto, existe um elevado grau de subjetividade proveniente da própria natureza (STAMM, 2003).

A seguir, são apresentadas duas tabelas com partes dos questionários

disponibilizados nos guias da Comissão Europeia para as etapas de triagem<sup>4</sup> e escopo<sup>5</sup> (Tabelas 6 e 7, respectivamente).

**Tabela 6.** Exemplo com partes de um questionário *Checklist* usado na fase de triagem.

Questões a serem consideradas	Sim / Não. Breve descrição	É provável que isso acarrete um efeito significativo? Sim / Não – Por quê?
<b>Descrição breve do projeto:</b> Construção de 500 casas em uma vila junto a um assentamento rural.		
<b>1. A construção, operação ou desativação do Projeto envolve ações que podem causar mudanças físicas na localidade (topografia, uso da terra, mudanças nos corpos d'água, etc.)?</b>	Sim. O projeto envolverá o desenvolvimento de uma grande área atualmente de uso agrícola e cortada por um pequeno rio.	Sim. Perda de terras agrícolas e desvio do rio.
<b>3. O projeto envolverá o uso, armazenamento, transporte, manuseio ou produção de substâncias ou materiais que possam ser nocivos à saúde humana ou ao ambiente ou levantar questões sobre riscos para a saúde humana?</b>	Não. Exceto em pequenas quantidades de uso doméstico.	Não.
<b>4. O projeto produzirá resíduos sólidos durante a construção, operação ou desativação?</b>	Sim. A construção vai exigir a escavação de uma pequena colina e o transporte e eliminação ou reutilização de uma grande quantidade de resíduos.	Sim. O transporte poderá ter um impacto significativo na comunidade vizinha.
<b>9. O projeto resultará em mudanças sociais, por exemplo, na demografia, estilos de vida tradicionais e emprego?</b>	Não. A vila existente foi basicamente construída nos anos da década de 1950.	Não.
<b>10. Existem outros fatores que devem ser considerados de desenvolvimento consequencial que poderiam levar a efeitos ambientais ou a impactos cumulativos com outras atividades existentes ou previstas na localidade?</b>	Sim. O projeto vai exigir a extensão das obras de tratamento de esgoto na vila, que já se encontra em sobrecarga.	Sim. Não há muito espaço para ampliar as obras e há ocorrência de mau cheiro na vila.
<b>19. Existem áreas ou elementos de importância histórica ou cultural, no local ou no entorno, que poderão ser afetadas pelo projeto?</b>	Não há informação disponível.	Requer uma investigação mais aprofundada.

Fonte: Pereira *et al.* (2012).

<sup>4</sup> Triagem: termo usado na literatura internacional como *screening*.

<sup>5</sup> Escopo: termo usado na literatura internacional como *scoping*.

Neste método as perguntas tentam identificar e descrever os impactos diretos e indiretos, relacionando-os aos fatores ambientais afetados. Dessa forma, além do rol de parâmetros ambientais, oferecem alguma forma de orientação para a análise dos impactos ambientais: essa é a principal diferença relativa ao Método “*Ad Hoc*”.

A listagem de controle descritiva apresenta os fatores ambientais a serem considerados nos estudos fornecendo, para cada um dos critérios de avaliação, informações sobre as fontes e as técnicas de previsão que devem ser empregadas. Podem tomar a forma de questionário, no qual uma série de perguntas em cadeia tenta dar um tratamento integrado à análise dos impactos. O método desenvolvido pelo “Project Appraisal for Development Control”, em 1976, na Grã-Bretanha, apresenta um amplo questionário a ser usado pelas agências do governo para a avaliação de projetos industriais (Clark, 1976 *apud* MORATO, 2008).

**Tabela 7.** Exemplo com partes de um questionário *Checklist* usado na fase de escopo.

No.	Questões a serem consideradas	Sim/ Não/	Quais características do ambiente do projeto poderiam ser afetadas?	O efeito pode ser significativo? Por quê?
<b>1. O projeto envolverá qualquer ação durante a construção, operação ou desativação que poderá criar mudanças na localidade, como resultado da natureza, escala, forma ou finalidade do empreendimento?</b>				
1.6	Obras de demolição?	Sim	Vai exigir a demolição de dois edifícios históricos.	Sim. Os edifícios são conhecidos nacionalmente.
1.11	Operações de dragagem?	Sim	Envolverá a dragagem do canal para criar nova margem.	Não – O canal já é regularmente dragado.
<b>2. O projeto utilizará algum recurso natural, especialmente aqueles não renováveis ou escassos?</b>				
2.4	Agregados?	Sim	A criação da plataforma requer uma grande quantidade de material proveniente de uma área de empréstimo - solo e aglomerados. Efeito indireto da extração em áreas naturais.	Sim. Grande mudança no ambiente nos locais de extração. Impacto sobre um grande número de pessoas nas proximidades. Grande pressão sobre o abastecimento local.
<b>4. O projeto irá produzir resíduos sólidos durante a construção, operação ou desativação?</b>				
4.2	Resíduo municipal (resíduos domésticos e ou comerciais)?	Sim	A nova população irá gerar resíduos domésticos e outros.	Não. Existe ampla capacidade de gestão de dejetos.
<b>5. O projeto implicará no lançamento de poluentes ou substâncias perigosas, tóxicas ou nocivas na atmosfera?</b>				

5.5	Poeira ou odores do manuseio de materiais, incluindo materiais de construção, esgoto e resíduos?	Sim	A remoção de terra durante a construção pode causar poeira durante a seca e afetar habitações vizinhas e residentes locais.	Sim. A habitação é protegida internacionalmente, sendo vulnerável à deposição de poeira. A condição de pacientes hospitalizados poderá ser agravada: exposição à poeira.
<b>6. O projeto causará ruído e vibração ou liberação de luz, energia térmica ou radiação eletromagnética?</b>				
6.5	A partir da construção ou do tráfego operacional?	Sim	Fluxos de tráfego pesado durante o transporte de material para a construção: afetam residentes e hospital.	Sim. Os níveis de ruído já são elevados pelo tráfego e pela indústria.
<b>7. O projeto acarretará em riscos de contaminação do solo ou da água devido a emissões de poluentes no solo ou nas redes de esgoto, águas superficiais, águas subterrâneas, dutos costeiros ou no mar?</b>				
7.2	Decorrente da descarga de esgotos ou outros efluentes (tratados ou não) na água ou no solo?	Sim	Aumento nos fluxos da rede de esgoto municipal pelos novos residentes	Possivelmente. Depende da exigência de novas estações de tratamento
<b>9. O projeto resultará em mudanças sociais?</b>				
9.1	Haverá mudanças no tamanho da população, idade, estrutura, grupos sociais, etc.?	Sim	O acréscimo imediato de 10.000 pessoas transforma zonas rurais em ambiente urbano. A transformação no número de habitantes (de 5.000 para 15.000) resultará na alteração da comunidade atual, identidade cultural e condições econômicas.	Sim. Comunidade local é pequena e bem estabelecida, com sólidas instituições comunitárias e identidade.

Fonte: EC, 2001a *apud* Pereira *et al.* (2012).

#### 2.2.4. Listas de Controle Escalares Comparativas

São listas em que se atribuem escalas que permitem comparar os estados: anterior (Cenário pré-degradação); e o posterior (Cenário pós-degradação) de um empreendimento (RODRIGUES, 1998; SOUZA, 2018; 2021); ou ainda, a comparação entre alternativas de projeto (FOGLIATTI *et al.*, 2004). Isso é feito pela estimativa das magnitudes dos impactos ambientais, dadas por valores numéricos, letras ou sinais representativos, que são comparados para auxiliar na tomada de decisão.

O exemplo da Tabela 8 apresenta quatro alternativas para a construção de uma rodovia, sendo que os pesos 0, 1, 2 e 3 representam, respectivamente, as

classificações: nenhum, pequeno, médio e grande impacto, para cada fator considerado.

Este tipo de listagem apresenta uma coluna de possíveis alternativas de projeto e as colunas de atributos ambientais (fatores). Cada atributo poderá ainda receber, para cada alternativa, escalas estimadas nos cenários pré e pós-degradação; ou seja, antes e após a execução do projeto (STAMM, 2003).

**Tabela 8.** Exemplo de listagem de controle escalar.

ALTERNATIVAS	ESCALAS DOS FATORES			
	Custo	Impactos da construção	Segurança e risco	Desapropriação
Duplicação da rodovia existente	3	3	3	3
Construção de nova rodovia contornando a cidade	3	3	3	2
Realização de serviços de manutenção e conservação da rodovia existente	1	1	2	0
Manutenção da situação atual com a rodovia existente	0	0	1	0

Fonte: Fogliatti *et al.* (2004).

### 2.2.5. Listas de Controle Ponderáveis

Nessa listagem, assim como nas listas escalares, são atribuídos pesos aos impactos enumerados (fatores). Contudo, esses pesos são baseados, quando possível, em medições reais e em seguida são ponderados para permitir a comparação entre diferentes fatores. Lohani *et al.* (1997) enumeram as principais etapas envolvidas no desenvolvimento dessas listas:

- ✓ Fixar um conjunto apropriado de fatores ambientais significativos para a atividade/projeto que requer a AIA;
- ✓ Determinar o índice de impacto para cada fator da seguinte forma:
  - Definir a unidade de medição para cada fator ambiental (Ex.: hectares preservados)
  - Coletar os dados referentes ao fator ambiental (Ex.: 10.000 hectares preservados)
  - Decidir um intervalo comum para os índices de cada fator ambiental (Ex.: 0 a 1)

- Converter os dados brutos dos fatores ambientais para índices (isso geralmente é feito pela normalização dos dados pelo valor máximo ou mínimo);
- ✓ Determinar o peso para cada fator ambiental (constante de importância relativa), sendo que o somatório deverá ser igual a 1,0; e
- ✓ Escolher um método que agregue todos os fatores para obtenção do índice geral (geralmente aditivo). Dessa forma, quanto maior for o índice (mais próximo de 1,0), melhor será a qualidade ambiental.

Considere-se o exemplo hipotético na Tabela 9 onde são analisados dois fatores e duas alternativas. Os fatores são: habitat da vida selvagem (medido em hectares de área preservada) e aumento de emprego (medido em postos de trabalho). Neste exemplo os fatores foram escalonados para um índice que varia de 0 (pior) a 1 (melhor), obtido pela divisão dos dados pelos valores máximos das duas alternativas. Os pesos de 0,2 e 0,8 foram determinados para o habitat da vida selvagem e empregos, respectivamente (PEREIRA *et al.*, 2012).

Observa-se que são apresentados dois índices globais para cada alternativa. O primeiro foi obtido pela simples adição dos índices dos fatores, que considera pesos iguais (1,0). De acordo com esse índice, a segunda alternativa parece mais vantajosa (1,6) que a primeira (1,5). Já o índice ponderado foi calculado com base nos pesos relativos de cada fator e indica que a “Alternativa 1” apresenta uma melhor qualidade ambiental (0,9) que a “Alternativa 2” (0,7) (PEREIRA *et al.*, 2012).

**Tabela 9.** Exemplo de duas alternativas de projetos analisadas com os métodos escalar e ponderável.

Fatores	Pesos	Alternativa 1			Alternativa 2		
		Dados brutos	Índice	Índice ponderado	Dados brutos	Índice	Índice ponderado
Habitat preservado (ha)	0.2	5.000	0,5	0,1	10.000	1,0	0,2
Aumento de emprego (postos)	0.8	5.000	1,0	0,8	3.000	0,6	0,5
<b>Índice global</b>			<b>1,5</b>	<b>0,9</b>		<b>1,6</b>	<b>0,7</b>

Fonte: Lohani *et al.* 1997; Anjaneyulu e Manickam, 2007; *apud* Pereira *et al.* 2012.

Neste exemplo, a estratégia do estado é que decidirá a melhor alternativa do empreendimento conforme as prioridades de políticas públicas: preservação ambiental *versus* geração de empregos. Fica evidente, portanto, que o resultado obtido irá depender (ANJANEYULU; MANICKAM, 2007):

- a) dos fatores ambientais considerados;
- b) da metodologia empregada no cálculo dos índices;
- c) do peso atribuído a cada fator; e
- d) do método utilizado para agregar os fatores em um índice global.

Dentre as técnicas de listagem ponderável, o mais conhecido é o **Método de Battelle** ou Sistema de Avaliação Ambiental (*Environment Evaluation System*, EES).

Este sistema foi criado por Battelle nos Laboratórios de Columbus nos EUA, para a avaliação de impactos nos recursos hídricos (principalmente), autoestradas, usinas nucleares e outros projetos. Os aspectos humanos são separados em quatro categorias principais (PEREIRA *et al.*, 2012):

- ✓ Ecologia;
- ✓ Físico / químico;
- ✓ Estéticos;
- ✓ Interesses humanos e, ou, sociais.

Cada categoria contém um número de componentes que foi selecionado especificamente pelo “US Bureau” de administração dos recursos hídricos. O método Battelle é um método hierarquizado, constituído de quatro categorias ambientais que se desdobram em 18 componentes; estes por sua vez, subdividem-se em 78 parâmetros.

A determinação do grau de impacto líquido para cada parâmetro ambiental é dada pela expressão:

$$UIA = UIP \times Q.A.$$

**Equação (1)**

Onde:

UIA = unidade de impacto ambiental

UIP = unidade de importância

Q.A. = índice de qualidade ambiental

A contabilização final é feita por meio do cálculo de um índice global de impacto. **UIA (projeto)**, dado pela **diferença entre a UIA total com a realização do projeto e a UIA sem a realização do projeto**, ou seja:

$$\text{UIA (com projeto)} - \text{UIA (sem projeto)} = \text{UIA (por projeto)} \quad \text{Equação (2)}$$

De acordo com Pereira *et al.* (2012) a técnica prevê ainda um sistema de alerta para identificar os impactos mais significativos que deverão ser submetidos a uma análise qualitativa mais detalhada. A **UIP** é fixada, *a priori*, perfazendo um total de 1000 unidades distribuídas por categorias, componentes e parâmetros por meio de consulta prévia de especialistas pelo Método Delphi. Elas são modificadas para cada projeto.

O índice de qualidade ambiental é determinado a partir da medição dos parâmetros em suas respectivas unidades e posterior conversão, através de funções características de cada parâmetro (escalares), em uma escala intervalar que varia de **0 a 1**.

Estas escalas podem variar conforme a natureza do parâmetro e do ecossistema considerado. O método de Battelle, embora não seja o ideal, é recomendado quando o avaliador possui facilidade para a obtenção de recursos financeiros. Os números entre parênteses no quadro de Battelle representam o peso relativo de cada indicador de impacto. Os pesos são os mesmos para todos os projetos similares (PEREIRA *et al.*, 2012).

Para esses mesmos autores, os dados brutos são convertidos (ou escalonados) em Índices de Qualidade Ambiental (QA) em uma escala que varia de 0 (muito ruim) a 1 (ótimo) definidos segundo critérios de especialistas. Esses valores são multiplicados pela constante denominada Unidade de Importância (UIP). A Unidade de Impacto Ambiental (UIA) é obtida pela soma do produto de QA x UIP de todos os fatores (Equação 3).

$$\text{UIA}_j = \sum_{i=1}^n \text{QA}_{ij} \times \text{UIP}_i \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

UIA = unidade de impacto ambiental para a *j*-ésima alternativa

QA = índice de qualidade ambiental para o *i*-ésimo fator e *j*-ésima alternativa

UIP = unidade de importância para o *i*-ésimo fator

A Figura 3 apresenta a organização desses 78 fatores agrupados em componentes pertencentes a quatro categorias que compõem o sistema ambiental: ecologia, poluição ambiental, estético e valores sociais (FOGLIATTI, 2004; ANJANEYULU; MANICKAM, 2007).



**Figura 3.** As quatro categorias ambientais do Método Battelle que se desdobram em 18 componentes que se subdividem em 78 parâmetros.

\* Os números indicam a Unidade de Importância (UIP) de cada fator, componente e categoria. Por exemplo: para a categoria Ecologia (UIP = 240); componente Espécies e Populações (UIP = 140); fator Vegetação Nativa (UIP = 14).

Fonte: Fogliatti (2004); Anjaneyulu; Manickam (2007) *apud* Pereira *et al.* (2012).

Os números apresentados no canto inferior direito dos componentes e categorias representam a *UIP* correspondente. O índice global de impacto é

calculado pela diferença entre as unidades de impacto ambiental com e sem a realização do projeto (LAROVERE, 1992):

$$IG = UIA_{CP} - UIA_{SP} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$IG$  = índice global

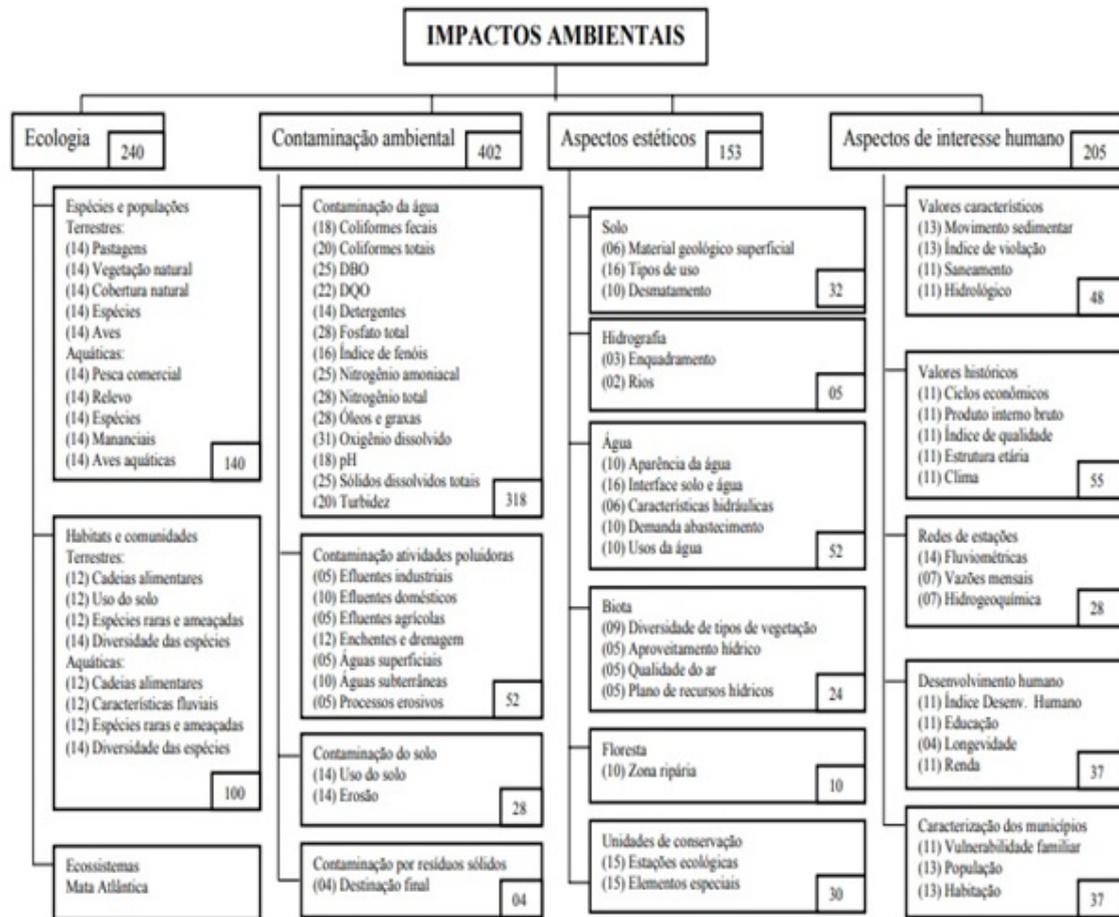
$UIA_{CP}$  = unidade de impacto ambiental com o projeto

$UIA_{SP}$  = unidade de impacto ambiental sem o projeto

Esse método possibilita a comparação entre diferentes alternativas de um mesmo projeto, com a vantagem de apresentar os dados de maneira quantitativa, fornecendo bons resultados na caracterização ambiental e previsão de impactos (FOGLIATTI, 2004). De acordo com Pereira *et al.* (2012), apesar das vantagens desse método comparado aos anteriores, algumas falhas inerentes à metodologia de quantificação e cálculo foram mencionadas por Larovere (1992):

- ✓ A identificação das interações entre impactos pode resultar em dupla contagem ou subestimativa dos mesmos;
- ✓ Dificuldades inerentes ao estabelecimento de escalas para a comparação de parâmetros de natureza e comportamento diferentes (ex.: parâmetros físicos *versus* aspectos socioculturais); e
- ✓ A comparação e adição de impactos de naturezas distintas por meio de uma unidade comum.

Na Figura 4 é possível observar os parâmetros ambientais adaptados do Método Battelle para avaliar os impactos ambientais na bacia hidrográfica do rio Piabanha. Evidenciaram uma realidade atualizada, que abordam os aspectos geofísicos e ecológicos da bacia, destacando-se a biodiversidade do ecossistema aquático e terrestre. A tabela de impactos ambientais foi adaptada na identificação dos 78 parâmetros, com o objetivo de utilizar aqueles que retratem a realidade localizada da região onde está inserida a bacia hidrográfica do rio Piabanha (KLING, 2005).



**Figura 4.** Parâmetros ambientais adaptados do Método Battelle. Fonte: Kling (2005).

Esse método apresenta meios de atribuir valores numéricos ou em forma de símbolos (letras e sinais) para cada fator ambiental: permite a classificação e a comparação das alternativas de projeto e a escolha daquela mais favorável.

### 2.2.6. Resumo sobre o Checklist:

De acordo com Silva (2011), o *Checklist* consiste numa relação de fatores e parâmetros ambientais que servem de lembrete do que se deve considerar num determinado estudo; os termos de referência são uma forma de *Checklist* ou listagem de controle. Listagens de controle simples enumeram apenas os fatores ambientais e, algumas vezes, seus respectivos indicadores: isto é, os parâmetros que fornecem as medidas para o cálculo (quantitativo ou qualitativo) da magnitude dos impactos.

De acordo com Pereira *et al.* (2012):

- ✓ A listagem de controle descritiva apresenta os fatores ambientais a serem considerados nos estudos fornecendo para cada um dos critérios de avaliação, informações sobre as fontes e as técnicas de previsão que devem ser empregadas;
- ✓ Podem adotar a forma de questionário, no qual uma série de perguntas em cadeia tenta dar um tratamento integrado à análise dos impactos;
- ✓ As listagens de controle escalares apresentam meios de atribuir valores numéricos ou em forma de símbolos (letras e sinais) para cada fator ambiental listado; e
- ✓ O método de Battelle incorpora o grau de importância de cada impacto listado, muito utilizado em projetos de recursos hídricos.

De acordo com Silva (2011); Pereira *et al.* (2012); Cremonez *et al.* (2014); Souza (2018; 2021), podem-se citar como principais vantagens e desvantagens do método “*Cheklis*”:

**- Vantagens:**

- ✓ Simplicidade de aplicação;
- ✓ Reduzida exigência quanto aos dados e as informações do empreendimento;
- ✓ Utilização imediata na avaliação qualitativa de impactos mais relevantes; e
- ✓ Adequada para avaliações preliminares: pode, embora que de forma limitada, incorporar escalas de valores e ponderações.

**- Desvantagens:**

- ✓ Não podem suportar a maioria das tarefas, principalmente, porque não estabelecem as relações de causa e efeito entre as ações do projeto e seus impactos;
- ✓ A aplicação se limita a projetos específicos sob a responsabilidade de entidades detentoras de amplas informações sobre os sistemas ambientais a serem afetados; e

- ✓ Não permite projeções e previsões ou identificação de impactos de segunda ordem (“impactos indiretos”)

### 2.3. Matrizes de interação

As matrizes de interação são largamente utilizadas na etapa de identificação dos impactos do EIA. Relacionam as diversas ações do projeto aos fatores ambientais. Pela interseção das linhas e colunas se representa o impacto de cada ação sobre determinado fator ambiental (SILVA, 2011; SOUZA, 2018).

Os impactos positivos e negativos de cada meio (físico, biótico e socioeconômico) são alocados no eixo vertical da matriz: de acordo com a fase em que se encontrar o empreendimento (implantação e, ou, operação) e com as áreas de influência (direta e, ou, indireta), sendo que alguns impactos podem ser alocados: tanto nas fases de implantação e, ou, operação; como nas áreas direta e, ou, indireta do projeto, com valores diferentes para alguns de seus atributos, respectivamente (MORATO, 2008).

Cada impacto é alocado na matriz por meio (biótico, antrópico e físico): cada um contém subsistemas distintos no eixo vertical, sobre o qual os impactos são avaliados nominal e ordinalmente, de acordo com seus atributos (SILVA, 2011).

As matrizes são quadros formados por linhas e colunas que apresentam informações sobre os impactos ambientais de um empreendimento ou atividade humana (CUNHA; GUERRA, 2007). A matriz de interações geralmente relaciona ações humanas com elementos do meio ambiente, características ambientais ou com processos ecológicos, mas também pode relacionar ações antrópicas com impactos ambientais (SÁNCHEZ, 2008).

É uma das ferramentas de AIA mais empregadas. Na utilização dessas matrizes, devem-se identificar as ações humanas que poderão afetar os elementos do meio ambiente, características ambientais ou processos ecológicos e marcar o quadrado referente à interação. A matriz de impactos ambientais contém uma lista de alterações ambientais (normalmente dispostas em linhas) e aspectos avaliados na classificação de tais alterações ambientais (normalmente dispostos em colunas). As matrizes podem ser confeccionadas incluindo a fase do empreendimento (planejamento, implantação e operação) e

o meio afetado (biológico, físico e socioeconômico) (OLIVEIRA; MOURA, 2009).

❖ **Observação:**

As Matrizes de interação constituem um tipo de método que utiliza uma figura para relacionar os impactos de cada ação com o fator ambiental a ser considerado, a partir de quadrículas definidas pela interseção de linhas e colunas. Funcionam como listagens de controle bidimensionais, uma vez que as linhas podem representar as ações impactantes e as colunas, os fatores ambientais impactados.

São procedimentos típicos, que cruzam as ações previstas no projeto com o conjunto das características do meio ambiente, suscetíveis de ser objeto de impacto. Cada cruzamento representa uma relação possível de causa e efeito entre uma ação e um impacto.

Assim, as matrizes permitem se determinar prontamente o conjunto dos impactos de um projeto, levando em consideração todos os cruzamentos marcados, e inversamente de pôr em evidência as causas múltiplas de um determinado impacto.

### **2.3.1. Escalas Universais (escalas de mensuração):**

- ✓ **Nominal** - escala de nomes (para separar pontos totalmente diferentes);
- ✓ **Ordinal** - escala de ordem. Ex.: alto, médio, baixo.

É possível associar a escala nominal com a escala ordinal.

**Exemplos: Impacto Positivo Alto; Impacto Positivo Médio; Impacto Positivo Pequeno; Impacto Positivo Alto; Impacto Positivo Médio; Impacto Positivo Pequeno.**

Em resumo, apesar de suas limitações, este método fornece uma ajuda inicial importante no aprofundamento dos estudos do projeto. Pode-se optar pela adaptação e uso concomitante de duas metodologias diferentes, visando atender o **art.º 6, item II, da Resolução CONAMA 001/86:**

❖ **Observação:** "Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, por meio de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e em médio e longo prazo, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais".

Nesse método, o avaliador deve se sentir livre para modificar a matriz de acordo com os objetivos do projeto. Recomenda-se, como regra geral, a subdivisão da matriz original em submatrizes.

Exemplo: a) alguns efeitos ambientais e indicadores de impactos; b) escala de tempos diferentes (curto, médio ou longo prazo); e c) diferentes alternativas.

Constitui-se em um método que organiza as informações em formato de tabela, permitindo a visualização das relações entre os elementos/processos ambientais e as ações do projeto (IBAMA, 1995). As matrizes estão entre os métodos mais comumente utilizados para identificação dos impactos da AIA (GLASSON *et al.*, 2005).

As matrizes simples funcionam como listagens de controle bidimensionais, composta de duas listas, dispostas na forma de linhas e colunas (SANCHÉZ, 2006). Uma lista pode representar as ações impactantes, tais como a erradicação da cobertura vegetal e o decapeamento do solo; e a outra, os fatores ambientais impactados, tais como o solo, a flora e a fauna. A Tabela 10 apresenta um exemplo de matriz simples, onde as ações potencialmente causadoras de impacto nos fatores ambientais são identificadas e assinaladas.

**Tabela 10.** Parte de uma matriz simples

FATORES AMBIENTAIS	AÇÕES DO PROJETO				
	Construção		Operação		
	Utilidades	Edifícios comerciais e residenciais	Edifícios residenciais	Edifícios comerciais	Parques e áreas abertas
Solo e geologia	X	X			
Flora	X	X			X
Fauna	X	X			X
Qualidade do ar				X	
Qualidade da água	X	X	X		
Densidade populacional			X	X	
Emprego		X		X	
Tráfego	X	X	X	X	
Habitação			X		
Estrutura da comunidade		X	X		X

Fonte: Glasson *et al.* (2005).

As matrizes podem ser qualitativas ou quantitativas. A matriz é qualitativa quando são utilizados os seis critérios de classificação qualitativa de impactos ambientais para preencher as possíveis relações de impacto entre as suas linhas e colunas. A matriz é quantitativa quando são utilizados critérios relativos à magnitude dos impactos, por meio do uso de números ou cores. Embora possam incorporar parâmetros de avaliação, são métodos basicamente de identificação (LA ROVERE, 2001)

### 2.3.2. Matriz de Leopold – relação das ações

A matriz quantitativa mais conhecida é a **Matriz de Leopold**, tendo sido elaborada em 1971 pelo Serviço Geológico do Ministério do Interior dos Estados Unidos (LEOPOLD *et al.*, 1971). Foi apontada pelo IBAMA (1995) como uma das mais utilizadas nos EIA/RIMA realizados no Brasil, sendo frequentemente adotada como método para elaboração de estudos. A Matriz de Leopold propõe a sistematização da análise dos impactos em 100 colunas de ações antrópicas do projeto e 88 linhas dos componentes ambientais passíveis de serem afetados por estas ações (Figura 5).

Das 8.800 interações possíveis, estima-se que o número de interações aplicáveis para a maioria dos projetos esteja entre 25 e 50 (LEOPOLD *et al.*, 1971). A matriz ainda permite fácil expansão para inclusão de itens adicionais não contemplados.

	Ações do Empreendimento				
		1	2	3	i
Componentes Ambientais	1				
	2				
	3				
	J				$m_{i,j}$ $s_{i,j}$

**Figura 5.** Representação da Matriz de Leopold organizada em 100 colunas de ações antrópicas do projeto e 88 linhas dos componentes ambientais. Fonte: Pereira *et al.* (2012).

Cada célula da Matriz de Leopold registra dois números que representam a relação entre uma ação do empreendimento e um elemento ambiental (Figura 5). O número à esquerda representa a magnitude do impacto, podendo variar entre 1 (menor) a 10 (maior magnitude relativa); já o número da direita representa a significância da interação, também variando de 1 (insignificante) a 10 (muito significativo). É importante ressaltar a diferença entre magnitude e significância (LEOPOLD *et al.*, 1971):

- ✓ **Magnitude:** refere-se ao nível, extensão, escala; e
- ✓ **Significância:** abrange o grau de importância, sendo mais subjetivo e dependente do julgamento da equipe multidisciplinar.

Um impacto pode ser grande, porém insignificante; ou pequeno, mas

significativo. Glasson *et al.* (2005) exemplificam essa diferença ilustrando o impacto, em termos ecológicos, da pavimentação de um grande campo usado intensivamente para agricultura comparado à destruição, ainda que de uma pequena área, de um sítio de especial interesse científico.

De acordo com Pereira *et al.* (2012), após o seu preenchimento, uma matriz simplificada é criada contendo apenas as ações e fatores ambientais cujas interações foram identificadas (Figura 5). Essa matriz é de fato um resumo para o texto de comunicação dos resultados que irão compor o RIMA. De forma geral, a Matriz de Leopold é simples e pode ser aplicada a uma grande variedade de projetos, permitindo uma fácil compreensão dos impactos diretos e de primeira ordem. Contudo, esse método falha em não apontar efeitos indiretos advindos da complexa interação entre os componentes ambientais.

Segundo Glasson *et al.* (2005), o sistema de pontuação da magnitude/significância apresenta alguns inconvenientes:

- ✓ É subjetivo por natureza: pode, ainda, ser tendencioso;
- ✓ Exclui detalhes das técnicas usadas na predição dos impactos;
- ✓ Não dá indicação se os dados de origem são quantitativos ou qualitativos; e
- ✓ Não especifica a probabilidade de ocorrência do impacto.

Entretanto, de modo geral, as “Matrizes de Interação” são flexíveis e simples de serem empregadas, sendo consideradas ferramentas valiosas e de grande importância na identificação dos impactos, orientação dos estudos e apresentação dos resultados (Figura 6) (PEREIRA *et al.*, 2012).

De acordo com Silva (2011), deve-se preparar uma matriz para cada alternativa de projeto. Em seguida, elabora-se um texto com a discussão dos resultados.

Dada essa relativa simplicidade de observação dos principais impactos de um dado projeto, a Matriz de Leopold tem sido uma das mais utilizadas nos Estudos de Impacto Ambiental realizados no Brasil, sendo frequentemente tomada como o método padrão para a elaboração desses estudos.

Como se observa na Figura 6 consiste da união de duas listas de verificação. Uma lista de ações ou atividades é mostrada horizontalmente,

enquanto uma lista de componentes ambientais é mostrada verticalmente. A inclusão dessas duas listas de verificação em uma matriz ajuda a identificar os impactos, uma vez que os itens de uma lista podem ser sistematicamente relacionados a todos os outros itens da outra lista, com o objetivo de identificar os possíveis impactos (SILVA, 2011).

Em resumo, de acordo com este mesmo autor, isto é feito por meio da incorporação de roteiros para caracterizar os impactos em termos de magnitude e importância em uma escala de 1-10, onde 1 representa a menor magnitude ou importância e 10, a maior. A magnitude de um impacto é tomada como sua significância: por exemplo, se um impacto visual ocorre em uma área com baixa qualidade de paisagem, então um valor de 2 ou 3 pode ser dado ao invés de 8 ou 9, que corresponderia a uma área com elevada qualidade de paisagem. Os impactos podem ser agregados por linha ou coluna e pela soma algébrica dos produtos dos valores de magnitude e importância de cada impacto.

	Áreas industriais e edifícios II B.b. Estradas e pontes II B.d. Linhas de transmissão II B.h. Explosão e perfuração II B.h. Escavações de superfície II C.a. Processamento de superfície II C.b. Transporte por caminhão II D.f. Alocação de rejeitos II G.c. Vazamentos II J.b.										
I A.2.d. Qualidade da água							2	1		2	1
I A.3.a. Qualidade do ar							2	1		2	4
I A.4.b. Erosão		2					1			2	
I A.4.c. Sedimentação		2					2			2	
I B.1.b. Arbustos							1				
I B.1.c. Gramíneas							1				
I B.1.f. Plantas aquáticas							2			2	1
I B.2.c. Peixes							2			2	4
I C.32.e. Trilhas e camping							2				
I C.3.a. Paisagens e vistas cênicas	2	3	2	2	3		2	3	2	1	3
I C.3.b. Qualidade das áreas nativas	4	4	4	2	1	3	3	2	5	5	5
I C.3.h. Espécies endêmicas e raras		2	5		5	10	4	5	10	5	10
I C.4.b. Saúde e segurança									3	3	

M / S  
 M = magnitude  
 S = significância

**Figura 6.** Resumo da matriz elaborada para um projeto de exploração de fosfato. Fonte: Leopold *et al.* (1971).

Diversos aspectos e fatores ambientais podem ser avaliados, dependendo das ações propostas (SILVA, 2011; PEREIRA *et al.*, 2012; CREMONEZ *et al.*, 2014; SOUZA, 2018; 2021):

#### **A. Modificação de uso dos recursos**

a) Introdução de flora ou fauna exótica; b) Controle biológico; c) Modificação do habitat; d) Alteração da cobertura terrestre; e) Alteração da hidrologia de lençóis freáticos; f) Alteração da drenagem; g) Controle do rio e modificação do fluxo; h) Canalização; i) Irrigação; j) Modificação do clima; k) Queimadas; l) Superfície ou pavimentação; e m) Ruído e vibração.

#### **B. Transformação do território e construção**

a) Urbanização; b) Sítios industriais e edifícios; c) Aeroportos; d) Rodovias e pontes; e) Estradas e trilhas; f) Estradas de ferro; g) Cabos e elevadores; h) Linhas de transmissão, dutos e corredores; i) Barreiras, inclusive cercas; j) Dragagem e reforço de canais; k) Revestimento de canais; l) Canais; m) Barragens e represas; n) Terminais marítimos, marinas e ancoradouros; o) Estruturas *off-shore*; p) Estruturas recreativas; q) Dinamitação e perfuração; r) Desmonte e enchimento; s) Túneis e estruturas subterrâneas.

#### **C. Extração de recursos**

a) Dinamitação e perfuração; b) Escavações superficiais; c) Escavações subterrâneas; d) Perfuração de poço e remoção de fluido; e) Dragagem; f) Exploração florestal; e g) Pesca comercial e caça.

#### **D. Processamento**

a) Agricultura; b) Criação de gado e pastagem; c) Lavoura de alimentos; d) Produção de laticínios; e) Geração de energia; f) Processamento mineral; g) Indústria metalúrgica; h) Indústria química; i) Indústria têxtil; j) Automóveis e aviões; k) Refinarias; l) Alimentação; m) Serrarias; n) Papel e celulose; e o) Armazenamento de produtos.

**E. Alteração do terreno**

a) Controle de erosão e cultivo em tabuleiros; b) Controle de resíduos e fechamento de minas; c) Reabilitação de minas abertas; d) Paisagem; e) Dragagem de portos; e f) Aterros e drenagem.

**F. Recursos renováveis**

a) Reflorestamento; b) Gerenciamento e controle da vida de animais selvagens; c) Recarga no lençol freático; d) Aplicação de fertilizantes; e e) Reciclagem de resíduos.

**G. Mudanças no tráfego**

a) Estradas de ferro; b) Automóveis; c) Caminhões; d) Navios; e) Aviões; f) Tráfego fluvial; g) Esportes náuticos; h) Trilhas; i) Cabos e elevadores; j) Comunicações; e k) Dutos.

**H. Disposição e tratamento de resíduos**

a) Depósito marítimo; b) Aterro; c) Disposição de resíduos de minas; d) Armazenamento subterrâneo; e) Disposição de sucata; f) Descarga de poços de petróleo; g) Disposição em poços profundos; h) Descarga de água de refrigeração; i) Descarga de resíduos municipais; j) Descarga de efluentes líquidos; k) Tanques de estabilização e oxigenação; l) Fossas sépticas, comerciais e domésticas; m) Emissão de gases residuais; e n) Lubrificantes utilizados.

**I. Tratamentos Químicos**

a) Fertilização; b) Descongelamento de rodovias, etc.; c) Estabilização química do solo; d) Controle de vegetação silvestre; e e) Controle de insetos (agrotóxicos).

**J. Acidentes**

a) Explosões; b) Vazamentos e perdas; e c) Falhas operacionais.

## **K. Outros**

- **Relação de fatores ambientais**

### **A. Características físicas e químicas**

#### **1) Terra**

a) Recursos minerais; b) Material de construção; c) Solos; d) Geomorfologia; e) Campos magnéticos e radioatividade de fundo; e f) Fatores físicos especiais.

#### **2) Água**

a) Continental; b) Oceânica; c) Subterrânea; d) Qualidade; e) Temperatura; f) Recarga; e g) Neve, gelo e geadas.

#### **3) Atmosfera**

a) Qualidade (gases, particulados); b) Clima (micro, macro); e c) Temperatura.

#### **4) Processos**

a) Inundações; b) Erosão; c) Deposição (sedimentação, precipitação); d) Solução; e) Sorção (troca de íons, complexos); f) Compactação e assentamento; g) Estabilidade (deslizamentos, quedas); h) Sismologia (terremotos); e i) Movimento do ar.

### **B. Condições Biológicas**

#### **1) Flora**

a) Árvores; b) Arbustos; c) Grama; d) Safras; e) Microflora; f) Plantas aquáticas; g) Espécies ameaçadas; h) Barreiras; e i) Corredores.

#### **2) Fauna**

a) Aves; b) Animais terrestres, inclusive répteis; c) Peixes e moluscos; d) Organismos bentônicos; e) Insetos; f) Microfauna; g) Espécies ameaçadas; h) Barreiras; e i) Corredores.

### **C) Fatores Culturais**

#### **1) Uso do território**

a) Espaços abertos e selvagens; b) Zonas úmidas; c) Silvicultura; d) Pastagem; e) Agricultura; f) Zona residencial; g) Zona comercial; h) Zona industrial; e i) Minas e canteiros.

## 2) Recreação

a) Caça; b) Pesca; c) Navegação; d) Natação; e) Acampamento e caminhada; f) Excursão (piqueniques); e g) Resorts.

### ▪ Interesses humanos e estéticos

a) Vistas e paisagens panorâmicas; b) Natureza (qualidades da floresta); c) Qualidades de espaços abertos; d) Desenho da paisagem; e) Agentes físicos especiais; f) Parques e reservas; g) Monumentos; h) Espécies ou ecossistemas especiais; i) Sítios e objetos históricos ou arqueológicos; e j) Presença de desarmonias.

### ▪ Nível cultural

a) Padrões culturais (estilo de vida); b) Saúde e segurança; c) Emprego; d) Densidade populacional.

### ▪ Serviços e infraestrutura

a) Estruturas; b) Rede de transporte (movimento, acesso); c) Rede de serviços; d) Disposição de resíduos sólidos; e) Barreiras; f) Corredores.

### ▪ Relações Ecológicas

a) Salinização de recursos hídricos; b) Eutrofização; c) Vetores de doenças (insetos); d) Cadeias alimentares; e) Salinização de materiais superficiais; f) Invasão de ervas daninhas; e g) Outro.

No método de **Leopold**, os impactos são procurados sistematicamente por intermédio de uma matriz composta de aproximadamente 100 ações elementares que podem ter um efeito sobre o meio ambiente; e aproximadamente 88 componentes característicos deste meio ambiente.

### ➤ **Construção da Matriz de Leopold (Leopold *et al.*, 1971):**

- ✓ Selecionar inicialmente, entre todas as ações possíveis listadas em colunas, aquelas identificadas com o projeto;

- ✓ Para cada ação identificada, coloca-se um traço oblíquo no quadrado formado com as linhas que representam os impactos possíveis;
- ✓ Cada interseção da matriz marcada com um traço oblíquo, é avaliada por meio de dois números compreendidos entre **1** e **10**;
- ✓ O número colocado no canto esquerdo superior do quadrado formado pelo traço oblíquo representa a **MAGNITUDE** (diretamente relacionada à ação impactante) considerada de maneira isolada;
- ✓ **Magnitude** é a medida de gravidade da alteração de um valor ambiental: **10** representa a maior magnitude e o número **1** representa a menor (não há zeros);
- ✓ Antes de cada número coloca-se um sinal **+** (mais) se o impacto é benéfico, ou **-** (menos) se o impacto altera negativamente o parâmetro ambiental;
- ✓ Na parte inferior do quadrado acima referido, coloca-se um número variando de **10** a **1**, representando a **IMPORTÂNCIA** (diretamente ligada às consequências e ao local impactado) que indica o julgamento subjetivo sobre a significação do impacto, isto é, sua importância relativa comparada aos outros impactos: **10** representa a maior importância e **1** a menor (não há zeros). **Ex.:** importância regional ou local;

De acordo com Pereira *et al.* (2012), o método de Leopold tem como:

- ✓ **Vantagens:**
  - Procurar sistematicamente todos os impactos e ser pluridisciplinar; e
  - A subjetividade dos julgamentos é limitada pelo tipo de notação empregada.
- ✓ **Desvantagens:**
  - Sua principal desvantagem é o tamanho da matriz, onde 8800 tipos de impactos são apresentados;
  - Ignora as intercessões entre os efeitos;
  - O tempo não é considerado;
  - É um método puramente estático: ou seja, não distingue entre **impactos imediatos e em longo prazo.**

→ **Instruções para uso da Matriz clássica de Leopold (AMORIN, 2014)**  
**(Tabela 11)**

- ✓ Identifique todas as ações (localizadas na parte superior da matriz) que fazem parte do projeto apresentado.
- ✓ Sob cada uma das ações propostas, coloque uma barra oblíqua na interseção de cada item, no lado da matriz, se há possibilidade de impacto.
- ✓ Tendo completado a matriz, coloque um número de 1 a 10, no lado esquerdo de cima de cada quadrado, que indica a magnitude do possível impacto; 10 representa a maior magnitude e 1 a menor (não há zeros). Antes de cada número coloque + se o impacto for benéfico. No lado inferior direito do quadrado, coloque um número de 1 a 10 que indica a importância do possível impacto (p. ex., regional / local); 10 representa a maior importância e 1 a menor (não há zeros).
- ✓ O texto que acompanha a matriz deverá ser uma discussão dos impactos significativos representados pelas colunas e linhas com grandes números de quadrados, em particular, com os maiores números.

**Tabela 11.** Matriz clássica de Leopold

			Componentes													
			Características físicas e químicas						Condições biológicas				Fatores sócio econômicos			
			Terra		Água		Atm.	Pro.	Flora		Fauna					
			Materiais de construção	Solos	Carac. físicas	Superfície	Recarga	Qualidade	Qualidade (gases e partículas)	Erosão	Árvores	Arbustos	Áves	Animais terrestres e outros	Saúde e segurança	Emprego
Ações do projeto: implantação da infraestrutura	Modificações do regime	Modificação de habitat														
		Alteração da cobertura de solo														
		Alteração do balanço hidrológico														
		Alteração da drenagem														
		Pavimentação de superfície														
	Alteração no traçado	Ruídos ou vibração														
		Tramit. Espaço/ constr.	Aterros													
			Escavações da superfície													
			Automóveis													
			Máquinas pesadas													

\* Método de Leopold (Natureza do impacto = P: positivo; N: negativo; Possibilidade de ocorrência = C: certa; Pr: provável; In: incerta; Atm.: atmosfera; Pro: processos).  
 Fonte: Amorin (2014).

Nas Tabelas 12 e 13 observa-se a matriz de Leopold utilizado na AIA da Rodovia BR 101/RS, para as Fases de Construção e Operação:

**Tabela 12.** Matriz de Leopold da fase de construção da Rodovia BR 101/RS

**Matriz de Leopold – Fase de Construção**

		Elementos Naturais e Humanos																
		Características Físicas e Químicas							Condições Biológicas			Fatores Culturais			Relações Ecológicas			
		Terra		Água		Atmosfera	Processos		Flora	Fauna		"Status" Cultural						
		Matéria de Construção	Solo	Características Físicas	Superficial	Qualidade	Recarga	Qualidade (gases, particulados)	Erosão	Árvore	Animais	Áves	Animais terrestres, incluindo os répteis	Estabelecimento	Engenharia	Densidade populacional	Crises climáticas	Ocupação de terras
Ações de Projeto	Modificações de Regime	Modificação de Habitat	7	0	11	7	0	4	0	10	4	0	0	0	0	0	0	0
		Alteração da Cobertura do Solo	10	5	10	0	0	0	0	10	5	5	4	4	0	0	0	0
		Alteração do Balanço Hidrológico	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	0	0	0	4
		Alteração da Drenagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Pavimentação de Superfícies	0	10	0	10	0	10	0	0	4	4	0	4	0	5	0	0
		Ruídos ou Vibração	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0
Transformação de Espaço e Construção		Aterro	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	4	0	5	0	4	
		Escavações de Superfície	0	5	0	7	0	0	0	0	0	0	0	4	0	5	0	4
Alteração no Tráfego		Automóveis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	5	0	
		Máquinas Pesadas	10	5	10	0	0	0	0	10	5	5	4	4	0	0	0	

\* Legenda: Células Vermelhas: Impactos Negativos; Células Amarelas: Impactos Neutros; Células Verdes: Impactos Positivos.

Fonte: EIA/RIMA (2016).

**Tabela 13.** Matriz de Leopold da fase de operação da Rodovia BR 101/RS

**Matriz de Leopold – Fase de Operação**

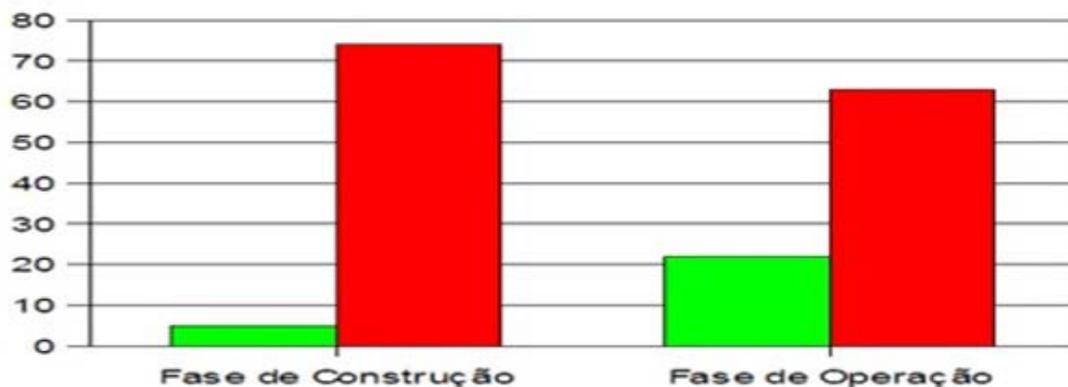
		Elementos Naturais e Humanos																					
		Características Físicas e Químicas							Condições Biológicas			Fatores Culturais			Relações Ecológicas								
		Terra		Água		Atmosfera	Processos		Flora	Fauna		Recreação	Interesses Humanos e Estéticos	"Status" Cultural									
		Solo	Características Físicas	Superficial	Qualidade	Recarga	Qualidade (gases, particulados)	Erosão	Movimentos de Ar	Árvore	Animais	Áves	Animais terrestres, incluindo os répteis	Ocupação de áreas para recreação	Parques de Paisagem	Acesso e Rede de Transporte	Parâmetros Culturais (estilo de vida)	Estabelecimento	Engenharia	Densidade populacional	Crises climáticas	Ocupação de terras	
Ações de Projeto	Modificações de Regime	Modificação de Habitat	10	0	0	0	11	0	0	7	7	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Alteração da Cobertura do Solo	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Alteração da Drenagem	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Alteração da Drenagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Ruídos ou Vibração	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Ruídos ou Vibração	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transformação de Espaço e Construção		Estradas de Rodagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	10	10	0	0	0	0	
		Barreiras (incluindo cercas)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11
Alteração no Tráfego		Urbanização	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	10	10	11	0	0	
		Automóveis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Alteração no Tráfego		Veículos de Carga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Veículos de Carga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

\* Legenda: Células Vermelhas: Impactos Negativos; Células Amarelas: Impactos Neutros; Células Verdes: Impactos Positivos.

Fonte: EIA/RIMA (2016).

Em resumo, as Matrizes de interação apresentam, de fato, a interação das diversas ações do projeto relacionando-os aos fatores ambientais. Em um dos eixos da matriz estão relacionadas às características ambientais, e no outro as ações do projeto, em cada uma de suas etapas. No ponto de interseção dos eixos, devem ser elencados os impactos ambientais que devem ocorrer, bem como seu tipo, magnitude, duração dentre outros.

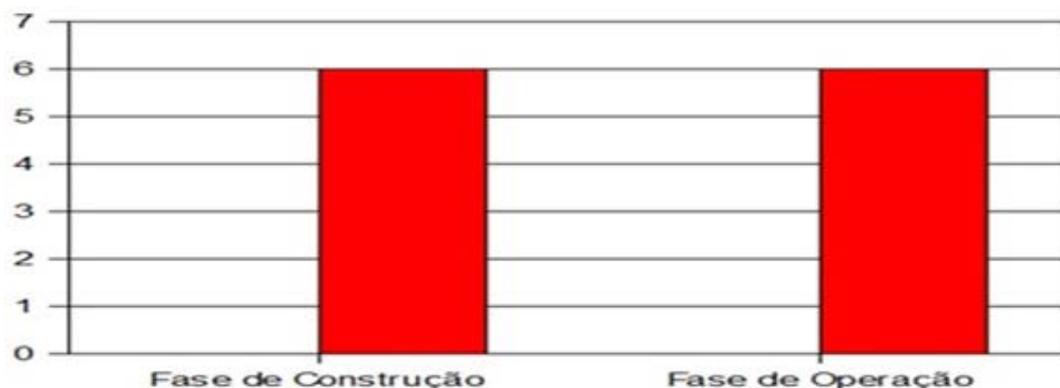
Assim, é possível avaliar, por exemplo, os impactos ambientais referentes às características quantitativas das fases de construção e operação da Rodovia BR 101/RS (Figura 7):



\* Legenda: Células Vermelhas: Impactos Negativos; Células Verdes: Impactos Positivos.

**Figura 7.** Impactos ambientais referentes às características quantitativas. Fonte: EIA/RIMA, 2016.

Podem-se avaliar, entre outros, os impactos ambientais referentes às relações ecológicas das fases de construção e operação da Rodovia BR 101/RS (Figura 8).



\* Legenda: Células Vermelhas: Impactos Negativos.

**Figura 8.** Impactos ambientais referentes às relações ecológicas das fases de construção e operação da Rodovia BR 101/RS. Fonte: EIA/RIMA (2016).

**❖ Observação:**

De acordo com Silva (2011), as matrizes de interação relacionam as diversas ações do projeto aos fatores ambientais. Pela interseção das linhas e colunas representa-se o impacto de cada ação sobre determinado fator ambiental. Os impactos positivos e negativos de cada meio (físico, biótico e socioeconômico) são alocados no eixo vertical da matriz, de acordo com a fase em que se encontrar o empreendimento (implantação e, ou, operação), e com as áreas de influência (direta e, ou, indireta).

As matrizes de Leopold consistem da união de duas listas de verificação. Uma lista de ações ou atividades é mostrada horizontalmente, enquanto uma lista de componentes ambientais é mostrada verticalmente. É incorporado às listas fatores de magnitude e importância em uma escala de 1-10, onde 1 representa a menor magnitude ou importância e 10, a maior. Os impactos podem ser agregados por linha ou coluna e pela soma algébrica dos produtos dos valores de magnitude e importância de cada impacto. Esses métodos não consideram os aspectos temporais e o sinergismo entre os diversos impactos listados (PEREIRA *et al.*, 2012).

De acordo com Silva (2011); Pereira *et al.*, 2012; Cremonez *et al.* (2014); Souza (2018), podem citar como principais vantagens e desvantagens do método das matrizes de interação:

**→ Vantagens:**

- ✓ Permite fácil compreensão dos resultados;
- ✓ Possibilitam comparações entre várias alternativas de intervenção;
- ✓ São bastante abrangentes, pois envolvem aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos; e
- ✓ Acomodam dados qualitativos e quantitativos, além de fornecer boa orientação para o prosseguimento dos estudos e introduzir multidisciplinaridade.

**→ Desvantagens:**

- ✓ Não permitem avaliações frequentes das interações;
- ✓ Não faz projeções no tempo;
- ✓ Apresentam grande subjetividade, sem identificar impactos indiretos nem aqueles de segunda ordem;

- ✓ O estabelecimento dos pesos constitui um dos pontos mais críticos, pois não explicita claramente as bases de cálculo das escalas de pontuação de importância e da magnitude (depende da experiência do avaliador);
- ✓ Não identificação, analogamente às “*Checklists*”, das inter-relações entre os impactos: pode levar a dupla contagem ou à subestimativa dos mesmos, bem como a pouca ênfase atribuída aos fatores socioculturais; e
- ✓ As matrizes deste tipo identificam apenas os impactos diretos, não considerando os aspectos temporais e espaciais dos impactos.

Por essas questões, desenvolveram-se outros tipos de matrizes de interação que cruzam os fatores ambientais entre si, introduzem símbolos ou utilizam técnicas de operação para ampliar a abrangência dos resultados.

#### **2.4. Superposição de mapas ou cartas (*overlay mapping*)**

Essa ferramenta de AIA consiste na sobreposição de mapas para verificar as áreas que serão impactadas por ações antrópicas e a extensão dos impactos (CUNHA; GUERRA, 2007).

Um mapa com o uso e ocupação do solo pode ser sobreposto por mapas com a localização das estruturas físicas que serão instaladas e com a extensão da dispersão dos poluentes (OLIVEIRA; MOURA, 2009).

Atualmente, com a facilidade na obtenção de bases de dados e com o avanço da disponibilidade programas de computador para o geoprocessamento, a utilização dessa ferramenta vem sendo muito utilizada.

É um método associado à técnica de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), uma vez que deve ser assistido por computador, permitindo a aquisição, o armazenamento, a análise e a representação de dados ambientais, permitindo projetar e simular situações ideais e potenciais.

A essência desse método é a elaboração e a posterior sobreposição de cartas temáticas, interpretadas de acordo com o uso previsto, tais como: solo, categoria de declividade, hidrografia e vegetação de uma determinada área, onde são estabelecidas as cartas de aptidão e restrição de uso do solo. Uma de suas grandes vantagens é a possibilidade de constante atualização das informações geoambientais utilizadas. Ainda, superpõe-se uma série de mapas de base (transparências) relativa às características ambientais e do meio, tais

como: critérios físicos, ecológicos, socioeconômicos e estéticos da zona estudada (SILVA, 2011).

Assim, de acordo com esse mesmo autor, o mapa de síntese obtido fornecerá a caracterização do estado do meio ambiente sob a forma de imposições ecológicas ou aptidões de utilização segundo a vulnerabilidade ou potencialidade da zona. Dessa forma, uma localização das atividades pode então ser proposta, em vista da utilização melhor possível do solo e das potencialidades do meio ambiente. Este método é baseado no conhecimento aprofundado dos elementos do meio natural.

Em determinadas situações o número de mapas pode ser importante. Neste caso pode-se usar uma superposição automática utilizando computadores. Por intermédio dos mapas de síntese, podem-se identificar as zonas sensíveis e, por vezes, o seu nível de sensibilidade. Os principais tipos de mapas são (SILVA, 2011; SOUZA, 2018; MORALES, 2019):

➤ **Mapas de potencialidade ou vocação para os diferentes usos alternativos do solo**, considerado independentemente um dos outros:

A zona será considerada apta ou inapta para a agricultura em função da topografia, natureza dos solos, possibilidade de irrigação, entre outros; ou ainda, ela pode ser apta ou inapta em função dos riscos de cheias, avalanches, inserção na paisagem, entre outros. Os **mapas de vocação** são geralmente empregados nos grandes projetos de construção nos quais o meio ambiente existente constitui parte integrante essencial do mesmo: autoestrada, linhas de transmissão, aeroportos, zonas turísticas, barragens, entre outros (MORALES, 2019).

➤ **Mapas de limitações de proteção do meio (de sensibilidade ou de vulnerabilidade) relativo à mudança proposta**. Pode-se, por exemplo, com este método:

- ✓ Definir as zonas de proteção onde a poluição atmosférica não deve ultrapassar certo limite, sem se preocupar com a origem da poluição (transporte, indústria);
- ✓ Definir as zonas agrícolas nas quais o uso de fertilizantes será limitado;

- ✓ Definir as zonas de proteção de trechos de um rio onde os rejeitos deverão satisfazer as normas legais.

Os mapas de limitações são mais usados em projetos de impacto de equipamentos isolados que suprimem o meio pré-existente, tomando o lugar deste último ou onde os constituintes do meio ambiente são usados como matéria-prima para a produção, instalação de indústrias, centrais nucleares, entre outros (MORALES, 2019).

De acordo com esse mesmo autor, este método é útil ao avaliador, pois fornece resultados facilmente apresentáveis, facilitando o acesso do público às informações. Entretanto, este método é insuficiente no que se refere aos aspectos socioeconômicos. Nos EUA este método foi utilizado para o estudo de impactos provenientes da construção de autoestrada.

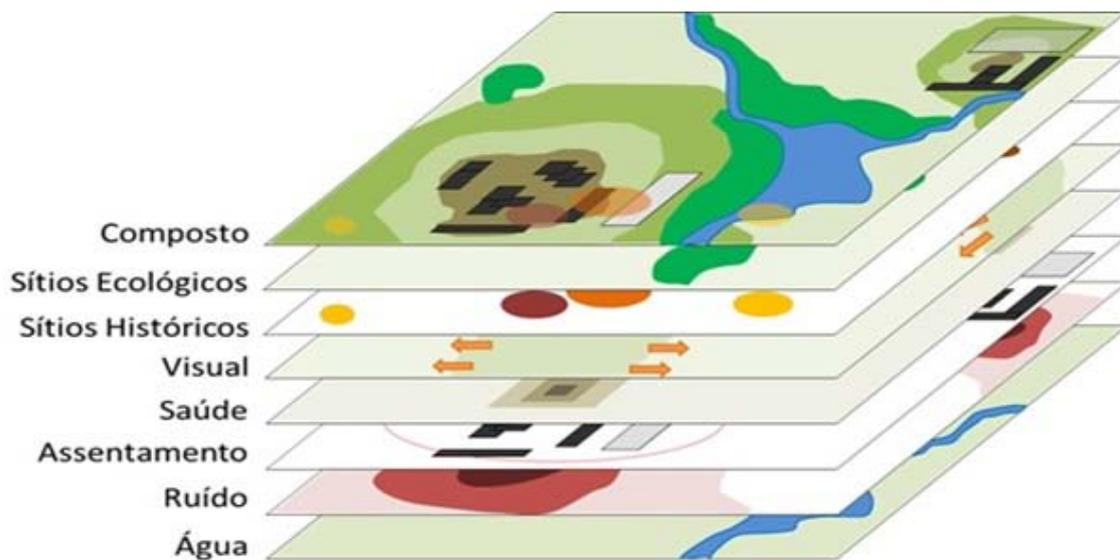
Os impactos foram representados por diferentes linhas de cores diferentes em mapas transparentes. Existem programas computacionais que permitem se procurar o traçado ótimo, considerando os aspectos do meio ambiente e os fatores de custo.

Um dos problemas relacionados aos demais métodos de AIA é a falta de conexão dos impactos com a área por eles afetada, sendo que a maioria dos dados apresenta uma clara relação espacial ou geográfica, tais como: difusão e concentração de poluentes, efeitos da erosão do solo e a extensão de floresta nativa.

O método de sobreposição de cartas é uma forma de relacionar informações sobre características ou processos ambientais georreferenciados. Esse método tem sua origem no final dos anos da década de 1960 quando o Dr. Ian McHarg desenvolveu o sistema de mapas temáticos transparentes para designar diferentes atributos espacialmente, tais como: flora, fauna, geologia, população, cursos d'água, topografia, rodovias e terras agrícolas. Esses mapas eram sobrepostos para formar um mapa composto, permitindo a identificação de áreas viáveis para a localização das alternativas do projeto em estudo (MUNIER, 2004). De acordo com Souza (2018), o aeroporto Presidente Itamar Franco, também conhecido como Aeroporto Regional da Zona da Mata, localizado no município de Goianá, MG, próximo a Juiz de Fora, possui uma pista de 2525 metros de extensão e utilizou o presente método de AIA

para a sua localização e construção.

Nos dias atuais esse método está associado aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitindo a aquisição, o armazenamento, a análise e a representação de dados ambientais de forma muito mais completa e eficiente. A essência continua a mesma, com a elaboração e a posterior sobreposição de cartas temáticas de uma determinada área. Atualmente, a técnica de SIG já dispõe de diversos “softwares” avançados para a obtenção de mapas temáticos, tornando mais ágil a utilização desta técnica. Os mapas devem apresentar uma mesma escala, um mesmo padrão de detalhamento e o mesmo sistema de projeção. O diagnóstico ambiental é feito a partir da sobreposição dos temas que irão produzir os mapas de aptidão e restrição de uso do solo de acordo com a ação prevista para ocorrer (MUNIER, 2004; SOUZA, 2018; MORALES, 2019) (Figura 9).



**Figura 9.** Ilustração do método de sobreposição de mapas. Fonte: Pereira *et al.* (2012).

O SIG é uma ferramenta poderosa para as abordagens relativas às análises de dados referenciados geograficamente. Modelos matemáticos complexos com um grande número de variáveis podem ser processados, permitindo a ponderação dos projetos propostos para uma dada área e a avaliação dos impactos preditos. A modelagem pode analisar tendências e identificar os fatores causadores, indicar rumos alternativos, as implicações e

consequências-chave para a tomada de decisão (ANJANEYULU; MANICKAM, 2007). Além disso, permite prever cenários futuros por meio de simulações feitas pelas alterações nas variáveis de entrada. Imagens de satélite podem ser usadas na construção desses modelos e assim possibilitar a atualização periódica das condições ambientais, por exemplo, fragmentação da cobertura vegetal, terras irrigadas e ocupação e uso do solo.

De acordo com Pereira *et al.* (2012), a maior vantagem deste método é a sua aplicabilidade direta na distribuição espacial dos impactos. Outra vantagem, considerando as atuais facilidades para a digitalização das informações, torna-se possível criar modelos numéricos do terreno; e com computadores, operações complexas com esses modelos são factíveis, mesmo quando muitos mapas devem ser sobrepostos. É um método facilmente entendido por qualquer pessoa, seja ela uma especialista no assunto, ou outro que não tenha contato direto com o assunto.

Neste contexto, de acordo com esses mesmos autores, o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil (ZEE), previsto no Art. 9º da Lei 6.938/1981 e posteriormente regulamentado pelo Decreto 4.297/2002, constitui-se em um instrumento de organização do território: deve ser seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas. O ZEE tem por objetivo organizar, de forma vinculada, a distribuição espacial dos recursos naturais e das atividades econômicas. Há de se dividir o território em zonas para auxiliar as decisões dos agentes públicos e privados, levando em consideração a importância ecológica, as limitações e fragilidades dos ecossistemas, assegurando a plena manutenção do capital e dos serviços ambientais, a qualidade ambiental dos recursos hídricos e do solo, bem como a conservação da biodiversidade.

Essas zonas são definidas por meio do diagnóstico dos recursos naturais, informações constantes do SIG, cenários tendenciais e alternativos, diretrizes gerais e específicas, contendo (PEREIRA *et al.*, 2012):

- ✓ Atividades adequadas a cada zona, de acordo com sua fragilidade ecológica, capacidade de suporte ambiental e potencialidades;
- ✓ Necessidades de proteção ambiental e conservação dos recursos hídricos, do solo, do subsolo, da fauna e flora e demais recursos naturais renováveis e não-renováveis;

- ✓ Definição de áreas para unidades de conservação, de proteção integral e de uso sustentável;
- ✓ Critérios para orientar as atividades madeireira e não-madeireira, agrícola, pecuária, pesqueira e de piscicultura, de urbanização, de industrialização, de mineração e de outras opções de uso dos recursos ambientais;
- ✓ Medidas destinadas a promover, de forma ordenada e integrada, o desenvolvimento ecológico e economicamente sustentável do setor rural, com o objetivo de melhorar a convivência entre a população e os recursos ambientais, inclusive com a previsão de diretrizes para implantação de infraestrutura de fomento às atividades econômicas;
- ✓ Medidas de controle e de ajustamento de planos de zoneamento de atividades econômicas e sociais resultantes da iniciativa dos municípios, visando a compatibilizar, no interesse da proteção ambiental, usos conflitantes em espaços municipais contíguos e a integrar iniciativas regionais amplas e não restritas às cidades; e
- ✓ Planos, programas e projetos dos governos federal, estadual e municipal, bem como suas respectivas fontes de recursos com vistas a viabilizar as atividades apontadas como adequadas a cada zona.

Segundo a regulamentação, os produtos resultantes do ZEE deverão ser armazenados em formato eletrônico e atualizados, constituindo banco de dados geográficos acessível à sociedade, com linguagem e formato passível de compreensão pela população. Dentre os exemplos de aplicação, têm-se os ZEE dos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Acre, Roraima e Rondônia (PEREIRA *et al.*, 2012).

## **2.5. Método dos modelos matemáticos ou de simulação**

Apesar de ter sido desenvolvido no final dos anos da década de 1970, representa o que há de mais moderno em termos de métodos de AIA. Funciona como modelos matemáticos (simulação, regressão, probabilidade, multivariado, entre outros), permitindo simular a estrutura e o funcionamento dos sistemas ambientais, posto considerarem todas as relações biofísicas e antrópicas possíveis de serem compreendidas no fenômeno estudado (SILVA, 2011; PEREIRA *et al.*, 2012; SOUZA, 2018).

Os modelos matemáticos ou físicos constituem o método mais elaborado para se avaliar o meio ambiente. Neste tipo de estudo os processos ecológicos implicados são levados em consideração. Estes modelos não permitem se identificar os impactos, mas eles fornecem informações sobre suas: intensidade, importância, evolução e inter-relações. Eles permitem visualizar a totalidade das relações entre o projeto e os critérios. Normalmente este tipo de abordagem exige muitos dados e tem um custo elevado. Os resultados nem sempre são melhores que os obtidos com outras técnicas (MORALES, 2019).

De acordo com Lohani *et al.* (1997), a abordagem mais conhecida desse método foi desenvolvida por ecologistas. É conhecida como Manejo e Avaliação Ambiental Adaptativa (*Adaptive Environmental Assessment and Management – AEAM*). O AEAM consiste na formação de equipes interdisciplinares interagindo durante uma série de workshops para desenvolver modelos de simulação para a predição de impactos e avaliação de alternativas, incluindo ações de manejo do ambiente. Para Pereira *et al.* (2012), essa abordagem resulta em análises aprofundadas, nas quais as predições são testadas e os cenários resultantes de diferentes alternativas de manejo e desenvolvimento são avaliados. A disponibilidade de dados robustos é o principal fator limitante para a acurácia e compreensão dos modelos.

Neste procedimento ocorre a simplificação de todas as características do meio em um modelo matemático, sendo esta talvez uma de suas maiores limitações. Podem ser processadas variáveis qualitativas e quantitativas e simular, por exemplo, a magnitude de uma determinada ação (atividade) ambiental sobre um dado fator ambiental. Tem como principais vantagens: promover a comunicação entre especialistas; trabalhar qualquer forma de relação seja linear ou não linear; facilitar a identificação de variáveis chaves ou de relações que necessitam ser investigadas (PEREIRA *et al.*, 2012).

Para esses mesmos autores, as principais desvantagens: depende da disponibilidade de dados apropriados e de qualidade; requer capacitação (especialistas) e tempo; tem elevado custo, além de que as relações entre as variáveis são consideradas constantes ao longo do tempo. Questão delicada: refere-se ao estágio ainda investigativo dos modelos de simulação de ecossistemas, cuja acurácia e capacidade preditiva ainda estão sendo validadas.

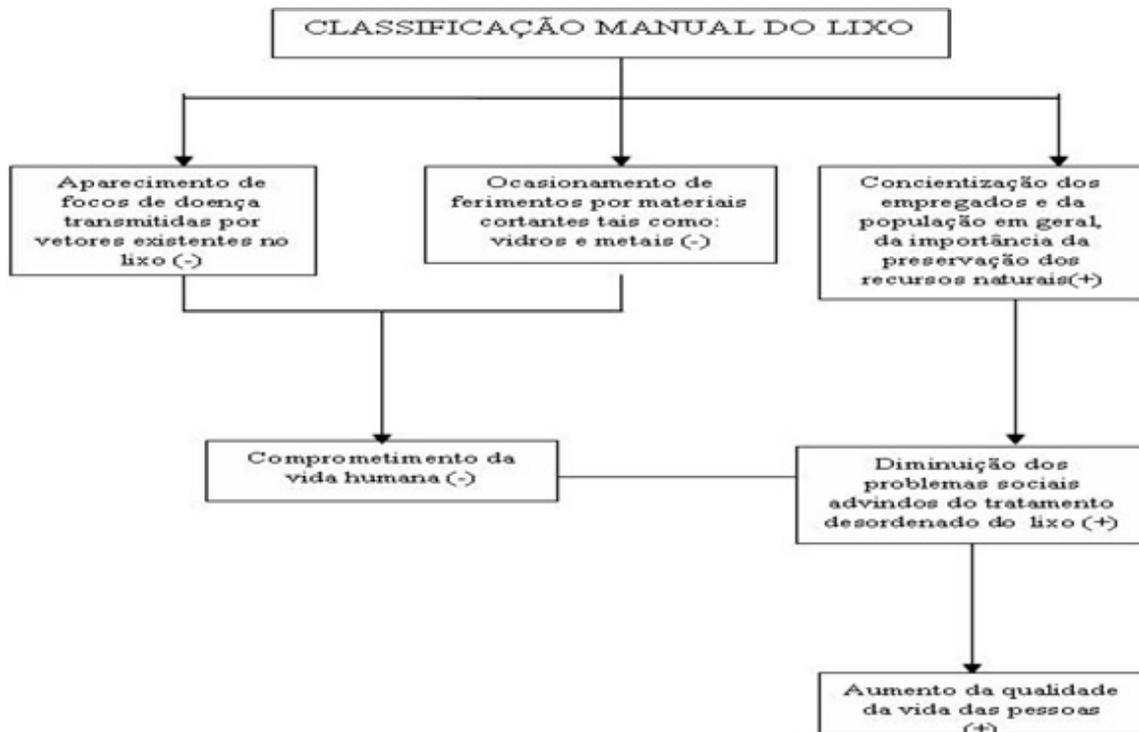
## 2.6. Redes de interação ou diagramas de interações (Networks)

É um método gráfico que se utiliza da elaboração de um diagrama que geralmente se inicia com uma ação antrópica que desencadeia uma série de impactos ambientais (SÁNCHEZ, 2008). É semelhante a um fluxograma e possibilita estabelecer uma relação de causa (ação antrópica), efeito inicial (alteração ambiental inicial – impacto direto) e efeitos posteriores (cadeia de reações posteriores ao impacto direto - impactos indiretos).

De acordo com esse mesmo autor, é um método que permite estabelecer a sequência dos impactos ambientais desencadeados por uma ação ambiental, por exemplo, a aplicação aérea de herbicidas. O modo de representar essa cadeia de impactos pode ser a mais diversa possível, mas comumente são utilizados fluxogramas e gráficos.

Na Figura 10 está exemplificado uma rede de interação relativa à classificação manual de resíduos sólidos urbanos do Município de Viçosa, MG, realizado por Souza *et al.* (2002). A partir da elaboração dessa rede foi realizado um trabalho de conscientização da população e dos funcionários da Usina de Reciclagem e Compostagem de Viçosa, por equipe multidisciplinar composta por alunos da Universidade Federal de Viçosa - UFV, tendo como resultado a significativa redução dos impactos identificados.

As redes de interação ilustram as conexões de causa-efeito das atividades do projeto e dos elementos ambientais por meio de fluxogramas, modelos conceituais ou de equações matemáticas que representam uma sequência de operações intrincadas entre os componentes de um sistema (IBAMA, 1995). Compõem o primeiro método essencialmente sistêmico de AIA, sendo particularmente útil na identificação e descrição dos impactos indiretos e acumulativos resultantes dos efeitos em cadeia (INEP, 2002).

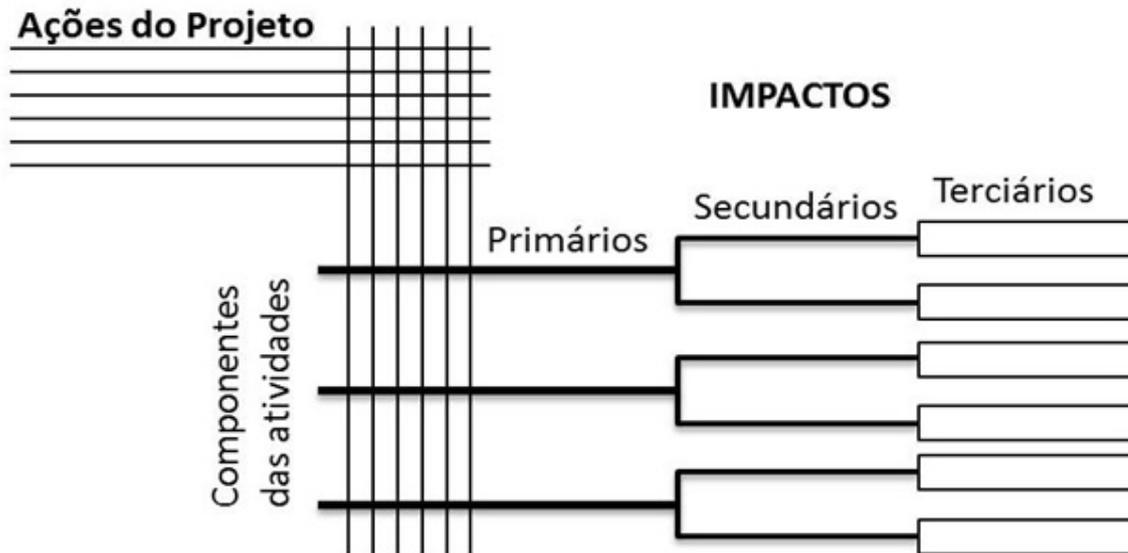


**Figura 10.** Rede de interação relativa à classificação manual de resíduos sólidos urbanos no município de Viçosa, MG. Fonte: Souza *et al.* (2002).

O primeiro modelo de rede, *Sorense Network*, foi desenvolvido em 1971 para ajudar planejadores a conciliar conflitos entre diferentes usos do solo nas regiões costeiras do estado da Califórnia, EUA. De acordo com Glasson *et al.* (2005), os impactos ambientais podem ser resultantes de atividades diretamente relacionadas ao projeto, bem como indiretamente pelas alterações causadas nas condições ambientais.

A Figura 11 apresenta o modelo conceitual para a construção das redes de interação. O primeiro passo consiste em identificar as alterações de primeira ordem ou os efeitos ambientais de determinada intervenção, tal como o aumento da superfície de escoamento de águas pluviais. Seguem-se então à identificação das alterações secundárias em outros componentes ambientais causadas pelos efeitos primários, tais como as inundações e enchentes. As alterações/efeitos de terceira ordem, por sua vez, também são identificadas, tais como erosões, sulcos, ravinas e voçorocas, juntamente com as ações corretivas (reposição da cobertura vegetal) e dos mecanismos de controle (construção de redes de drenagem) a serem executadas. Essa sequência tem

continuidade até atingir os objetivos da equipe especialista (IBAMA, 1995; LOHANI *et al.*, 1997; ANJANEYULU; MANICKAM, 2007).



**Figura 11.** Modelo conceitual das redes de interação dos impactos ambientais.

Fonte: Lohani *et al.* (1997); Anjaneyulu; Manickam (2007).

É um método de grande importância, pois permite identificar impactos indiretos, de segunda, terceira e enésima ordem, que geralmente são negligenciados nos outros métodos. Enquanto as matrizes dividem o meio ambiente em compartimentos fechados, as redes permitem o entendimento da interação entre as partes (SÁNCHEZ, 2006). Isso possibilita identificar e incorporar as medidas mitigadoras, mecanismos de controle, monitoramento e manejo nas fases de planejamento do projeto (ANJANEYULU; MANICKAM, 2007).

Apresenta ainda, como vantagem, o fato de que uma avaliação isolada e consecutiva pode ser utilizada como ferramenta adequada para a construção de suas matrizes: é de grande ajuda no processo de avaliação, identificando as ações necessárias, os parâmetros e os compartimentos ambientais susceptíveis, especialmente as interações entre esses.

Vale ressaltar que esse método geralmente não estabelece parâmetros valorativos de magnitude ou significância dos impactos nos diversos componentes ambientais, com exceção de algumas variações do método

(IBAMA, 1995). Os resultados obtidos pelos diagramas podem auxiliar a organizar a discussão e a comunicação dos impactos previstos no projeto sob análise ao público interessado. As redes de interação mais detalhadas são de difícil visualização, demoradas e difíceis de serem produzidas sem o auxílio de programas computacionais desenvolvidos para essa finalidade (UNEP, 2002).

O exemplo da Figura 12 organiza os efeitos observados sobre os ecossistemas (fator biótico) com a formação do reservatório de uma hidrelétrica. Os diagramas podem ser elaborados para solo, água e demais recursos que compõem um dado ecossistema (MÜLLER, 1995). Para Silva (2011), embora as matrizes de interação relacionem as diversas ações do projeto aos fatores ambientais, não visualiza a interação entre os impactos ambientais.



**Figura 12.** Diagrama de interação retratando os impactos sobre os fatores bióticos (ecossistemas). Fonte: Müller (1995).

Segundo Morato (2008), as redes de interação estabelecem as relações do tipo causa-condições-efeito, podendo ser associados parâmetros de valor

em magnitude, importância e probabilidade, permitindo a partir do impacto inicial, retratar o conjunto das ações que podem desencadeá-lo direta ou indiretamente. Afinal, foram criadas para possibilitar a identificação de impactos indiretos (secundários, terciários, quaternários...) e suas interações por meio de gráficos ou diagramas: uma ação qualquer dificilmente ocasiona apenas um impacto.

Na maioria dos casos, cada ação de um projeto gera mais de um impacto que, em decorrência, provoca uma cadeia de impactos. As redes de interação ajudam a promover uma abordagem integrada à análise dos impactos ambientais. Enquanto as matrizes e listagens de controle limitam o pensamento dos técnicos à apreciação de cada fator ambiental isoladamente, as redes os induzem a trabalhar em conjunto, organizando as discussões e a troca de informação sobre os impactos e as interações dos fatores ambientais.

As redes de interação visam também orientar as medidas a serem propostas para o gerenciamento dos impactos identificados; isto é, recomendar medidas mitigadoras que possam ser aplicadas já no momento de efetivação das ações causadas pelo empreendimento e propor programas de manejo, monitoramento e controle ambientais (SILVA, 2011).

De acordo com Silva (2011); Cremonez *et al.* (2014); Pereira *et al.* (2012); e Souza (2018), podem citar como principais vantagens e desvantagens do método Redes de Interação:

→ **Vantagens:**

- ✓ Estabelece as relações do tipo causa-condições-efeito, podendo ser associados parâmetros de valor em magnitude, importância e probabilidade, permitindo, a partir do impacto inicial, retratar o conjunto das ações que podem desencadeá-lo direta ou indiretamente;
- ✓ Identifica os impactos indiretos (secundários, terciários,...) e suas interações por meio de gráficos ou diagramas: uma ação qualquer dificilmente ocasiona apenas um impacto;
- ✓ Permitem boa visualização de impactos secundários e demais ordens, principalmente, em ambiente computacional; e
- ✓ Possibilita a introdução de parâmetros probabilísticos, mostrando tendências.

→ **Desvantagem:**

- ✓ Devem ser empregadas apenas para a identificação dos impactos indiretos e suas interações, uma vez que não destacam a importância relativa dos impactos identificados, nem dispensam o uso de técnicas de previsão e outros métodos para completar as tarefas do estudo.

## 2.7. Método da análise de risco

O método de análise de risco é uma abordagem do EIA apropriada para modelar áreas sensíveis, identificar os riscos potenciais e efetivos da região, as alternativas a serem seguidas e analisar a compatibilidade dessas alternativas com o meio ambiente (NUNES, 2002; ZAMBRANO; MARTINS, 2007).

O objetivo principal desse método é analisar a relação de causa e efeito entre os impactos do projeto e o ecossistema. Essa análise leva em consideração a situação do meio ambiente antes (Cenário pré-degradação: variante zero ou condição testemunha); e depois (Cenário pós-degradação) do projeto.

Os componentes ambientais que serão afetados pelo projeto são divididos em duas classes. Essa classificação tem como base o fato dos componentes ambientais serem efeitos da natureza ou das atividades humanas:

- ✓ **Classe I** – componentes naturais: clima, ar, solo, vegetação, superfícies aquáticas, entre outros.
- ✓ **Classe II** – componentes artificiais: paisagem, recreação, habitação, agricultura, entre outros.

O método de análise de risco envolve cinco fases (NUNES, 2002; ZAMBRANO; MARTINS, 2007):

- ✓ Definição clara dos objetivos do projeto;
- ✓ Descrição da variante-zero e avaliação prévia dos efeitos do projeto (é também nessa fase que se determinam as variáveis de proteção ambiental);
- ✓ Avaliação das variáveis de proteção ambiental e identificação das alternativas do projeto;

- ✓ Identificação da intensidade das hipóteses acidentais das alternativas de projeto e avaliação dos riscos potenciais aos quais estão submetidas essas alternativas;
- ✓ Avaliação e escolha das alternativas e comparação destas com a variante-zero, com o objetivo de identificar, dentre elas, a mais compatível com o meio ambiente e mais viável para o empreendimento.

Na análise de risco se atribui pesos às variáveis ambientais e às hipóteses acidentais das alternativas do projeto numa tentativa de quantificar a sensibilidade da área e a restrição das alternativas, como por exemplo: 0 – baixa; 1 – média; 2 – alta; 3 - muito alta. Para fixar, vamos considerar a matriz de um determinado empreendimento que necessita se instalar em uma região onde cause o menor impacto (Tabela 14):

**Tabela 14.** Matriz com a atribuição de pesos ao método de análise de riscos.

Impactos (Variáveis ambientais)	Alternativas de localização do empreendimento		
	A	B	C
Assoreamento	0	1	0
Erosão	2	3	0
Desmatamento	3	2	1
Recursos hídricos	0	0	2
<b>Somatório</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>3</b>

Fonte: adaptado de Nunes (2002).

De acordo com Silva (2011), neste caso, a alternativa escolhida será a “C” – é menos impactante e produzirá menor degradação.

#### ❖ **Observação:**

O método da análise de risco é um método apropriado para modelar áreas sensíveis: identificam os riscos potenciais e efetivos da região, as alternativas a serem seguidas e analisa a compatibilidade dessas alternativas com o meio ambiente. O objetivo principal desse método é analisar a relação de causa e efeito entre os impactos do projeto e o ecossistema. Essa análise leva em consideração a situação do meio ambiente antes (Cenário pré-

degradação: variante zero ou condição testemunha); e depois do projeto (Cenário pós-degradação).

## 2.8. Projeção de cenários ou modelos de simulação

Baseia-se na análise de situações ambientais prováveis em termos da evolução de um ambiente (cada situação corresponde a um cenário) e, ou, de situações hipotéticas, referentes às situações diferenciadas geradas por proposição de alternativas de projetos e programas. Tem por objetivo orientar as autoridades governamentais no cumprimento de suas metas de longo prazo, por meio de indicadores de tendências prováveis.

Será apresentado no Capítulo III do presente livro um Estudo de Caso da tese de doutorado do presente autor inicialmente denominada “Planejamento e gerenciamento do uso do solo e dos recursos hídricos nas bacias do ribeirão Entre ribeiros e do rio Preto: gestão ambiental com enfoque na dinâmica de sistemas” (SOUZA, 2008).

O referido Estudo de Caso é uma compilação dos seguintes artigos (SOUZA, 2006; SOUZA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2010b; SOUZA *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2012b; SOUZA *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2014; SOUZA, 2015). Todo o processo tem por base a modelagem de um dado ecossistema.

## 2.9. Metodologias quantitativas

Os métodos quantitativos pretendem associar valores às considerações qualitativas que possam ser formuladas no momento da avaliação de impactos de um projeto. O método utiliza, basicamente, indicadores de qualidade ambiental expressos por gráficos que relacionam o estado de determinados compartimentos ou segmentos ambientais a um estado de qualidade variando de 0 a 1.

Nesse método, é possível utilizar métodos de função de produção, muito comuns em trabalhos de valoração ambiental. Será apresentada uma dessas opções: o “**Método da produtividade marginal de mercados de bens substitutos**”, que considera (SOUZA, 2018):

- ✓ Reposição;
- ✓ Gastos defensivos;
- ✓ Custos evitados.

- o Se o recurso ambiental é um insumo ou substituto de um bem ou serviço privado, estes métodos se utilizam dos preços de mercado deste bem ou serviço privado para estimar o Valor Econômico do Recurso Ambiental - **VERA**;
- o Isto implica que os benefícios ou custos ambientais das variações de disponibilidade desses recursos ambientais para a sociedade podem ser estimados com base nos preços dos recursos privados, estimando-se indiretamente os **preços-sombra**;
- o Logo, o benefício ou custo da variação da disponibilidade do recurso ambiental é dada pela multiplicação da quantidade variada do recurso ( $\Delta Q$ ), pelo seu valor econômico estimado (preço-sombra):

$$\Delta A = \Delta Q \cdot P$$

**Equação (12)**

Onde:

$\Delta A$  = benefício ambiental.

Serão apresentados dois (2) Estudos de Caso de práticas de aplicação desse método, que se utilizam do “Preço-sombra”, desenvolvidos pelo autor para o presente capítulo:

- o **Perda de nutrientes do solo causado pelo desmatamento e erosão**

A perda de solo pode afetar a produtividade agrícola. Nesse caso, para que se estime e se valore o “Impacto Econômico” referente a essa perda, bastaria estimar por meio de parcelas experimentais instaladas em condições de campo (SOUZA, 2018), com 10 m<sup>2</sup>, por exemplo, determinando-se quanto seria perdido de solo (kg) em um período de um (1) ano.

Far-se-á, em seguida, uma análise desse solo coletado na referida parcela de 10 m<sup>2</sup> representativa da área. A seguir, cada um dos nutrientes será valorado utilizando-se o **preço-sombra**: considere o nutriente N - ao realizar os cálculos das parcelas estabelecidas em campo, verificou-se que a perda foi de, por exemplo, 200 kg (do nutriente N).

Considerando um produto comercial que tenha 20% de N, e que o custo de um (1) kg seja de R\$ 5,00 reais, significa que 1 kg de N custa R\$ 25,00 – este é o **preço-sombra**; ou seja, utilizou-se um produto comercial de preço

conhecido para valorar o N perdido por erosão. Então, o valor perdido de N seria de 200 kg x R\$ 25,00 - totaliza R\$ 5.000,00 ha<sup>-1</sup>.

Caso a área total seja, por exemplo, 100 ha, o impacto econômico referente ao N seria R\$ 5.000,00 x 100 ha = R\$ 500.000,00 (área total).

O mesmo cálculo é realizado para os demais nutrientes. Ao final, realizando-se o somatório dos preços-sombras, obter-se-á o valor total do Impacto Econômico gerado com a perda de nutrientes do solo causado pelo desmatamento e erosão.

- **Redução do nível de sedimentação numa bacia hidrográfica com uma hidrelétrica**

O desmatamento e a erosão podem aumentar o assoreamento de um corpo hídrico, por exemplo, o reservatório de uma hidrelétrica. A redução do volume da coluna de água causará um impacto negativo: a diminuição da geração de energia e da vida útil da hidrelétrica.

Assim, a opção por um projeto de revegetação e recomposição florestal das margens do lago, poderão reduzir a entrada de sedimentos e aumentar a vida útil da hidrelétrica. É sabido que a manutenção de vegetação ciliar reduz ou mesmo evita o assoreamento dos corpos hídricos, promove a infiltração da água da chuva e reduz a erosão do solo. Além disso, são Áreas de Preservação Permanentes (APPs), cuja principal função é a de proteção dos recursos hídricos.

Dessa forma, o cálculo do Impacto Econômico seria avaliar o custo da implantação de um (1) ha da vegetação ciliar (preço-sombra); bem como o valor da energia gerada por metro de lâmina de água do reservatório.

A subtração desses resultados apontaria o valor monetário do Impacto Econômico da sedimentação; bem como o custo e os benefícios da recomposição vegetacional.

## **2.10. Metodologias de AIA no ambiente de produção agropecuária**

### **2.10.1. Ambitec-Agro**

A EMBRAPA Meio Ambiente lançou em 2002 o Sistema de avaliação de impactos ambientais de inovações tecnológicas agropecuárias (Ambitec-Agro).

Consiste em um conjunto de matrizes multicritério, que integram indicadores do desempenho de inovações tecnológicas e práticas de manejo adotadas na realização de atividades rurais.

Considera sete (7) aspectos essenciais de avaliação:

- ✓ Uso de Insumos e Recursos.
- ✓ Qualidade Ambiental.
- ✓ Respeito ao Consumidor.
- ✓ Emprego.
- ✓ Renda.
- ✓ Saúde.
- ✓ Gestão e Administração.

Seu uso é gratuito. Para baixar o *software*, basta acessar o endereço eletrônico:

<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1422/ambitec-agro-software-ambitec-agro>.

### **2.10.2. Sistema APOIA-NovoRural**

A AIA é um instrumento que busca contribuir na tomada de decisão aos procedimentos relativos à gestão ambiental dentre os ambientes industriais e também rurais: fortalece a utilização de ferramentas exclusivas para ambientes rurais como o APOIA-NovoRural.

No contexto rural, para a realização da AIA, é importante que se tenha um método que atenda à grande variedade de atividades agrícolas e não-agrícolas desenvolvidas nas mais diferentes condições ambientais (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003). O método da Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de Atividades do Novo Rural (APOIA-NovoRural) é utilizado em diferentes atividades agrícolas, abordando as questões ambientais, sociais, culturais e políticas.

O referido método tem sido utilizado em diversas pesquisas, tais como: “Avaliação de impacto ambiental de atividades produtivas em estabelecimentos familiares do Novo Rural” (RODRIGUES *et al.*, 2003); “Gestão ambiental de atividades rurais: estudo de caso em agroturismo e agricultura orgânica” (RODRIGUES *et al.*, 2006); Avaliação da

sustentabilidade de sistemas de produção agrícola de base ecológica no município de Nova Friburgo, RJ (PEREIRA *et al.*, 2013); e “Impactos ambientais e socioeconômico do uso da água na CSAs DF” (SANTANA, 2018).

Dessa forma, para a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e da Sustentabilidade de uma determinada propriedade rural, é possível utilizar a ferramenta denominada APOIA-NovoRural (Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental do Novo Rural), desenvolvido pela Embrapa. Por intermédio de entrevistas com o proprietário, coleta de dados em campo e análises em laboratório (água, solo, particulados emitidos na atmosfera), obtém-se dados para abastecer o sistema utilizado (EMBRAPA, 2015).

O APOIA-NovoRural trabalha com uma gama de sessenta e dois (62) indicadores distribuídos em cinco (5) dimensões: a) Ecologia da paisagem; b) Qualidade dos Compartimentos Ambientais (Atmosfera, Água e Solo); c) Valores Socioculturais; d) Valores Econômicos; e e) Gestão e Administração (Tabela 17). Os indicadores foram agrupados a partir de uma revisão de métodos já existentes para AIA (MCDONALD; SMITH, 1998; GIRARDIN *et al.*, 1999; BOSSHARD, 2000; RODRIGUES *et al.*, 2000; ROSSI; NOTA, 2000).

**Tabela 17.** Dimensões e indicadores do sistema APOIA-NovoRural e unidades de medidas utilizadas para caracterização em levantamentos de campo e laboratório.

Dimensões e indicadores	Unidades de medida: campo e laboratório
<b>Dimensão Ecologia da paisagem</b>	
Fisionomia e conservação dos habitats naturais	Porcentagem da área da propriedade
Diversidade e condição de manejo das áreas de produção	Porcentagem da área da propriedade
Diversidade e condições de manejo das atividades das áreas confinadas (agrícolas / não agrícolas e de confinamento animal)	Porcentagem da renda da propriedade, excluídas as atividades não confinadas.
Cumprimento com requerimento de reserva legal	Porcentagem da área averbada como reserva legal na propriedade
Cumprimento de requerimento de áreas de preservação permanente	Porcentagem da área da propriedade
Corredores de fauna	Área (ha) e números de fragmentos

Diversidade da paisagem <sup>1</sup>	Índice de Shannon- Wiener (dado)
Diversidade produtiva <sup>1</sup>	Índice de Shannon- Wiener (dado)
Regeneração de áreas degradadas <sup>1</sup>	Porcentagem da área da propriedade
Incidência de focos de doenças endêmicas	Números de criadouros
Risco de extinção de espécies ameaçadas	Número de (sub) população ameaçada
Risco de incêndio	Porcentagem da área atingida pelo risco
Risco geotécnico	Número de áreas influenciadas
<b>Dimensão Qualidade dos Compartimentos Ambientais – atmosfera</b>	
Partículas em suspensão/fumaça	Porcentagem do tempo de ocorrência
Odores	Porcentagem do tempo de ocorrência
Ruídos	Porcentagem do tempo de ocorrência
Óxido de carbono	Porcentagem do tempo de ocorrência
Óxido de enxofre	Porcentagem do tempo de ocorrência
Óxido de nitrogênio	Porcentagem do tempo de ocorrência
Hidrocarbonetos	Porcentagem do tempo de ocorrência
<b>Dimensão Qualidade dos Compartimentos Ambientais - Água superficial</b>	
Oxigênio dissolvido <sup>1</sup>	Porcentagem de saturação de O <sub>2</sub>
Coliformes fecais <sup>1</sup>	Números de colônias/100 ml
DBO5 <sup>1</sup>	Miligramas/l de O <sub>2</sub>
pH <sup>1</sup>	pH
Nitrato	Miligrama por NO <sub>3</sub> /l
Fosfato	Miligrama P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /l
Sólidos totais <sup>1</sup>	Miligramas sólidos totais/l
Clorofila a <sup>1</sup>	Micrograma Clorofila/l
Condutividade <sup>1</sup>	Micro ohm/cm
Poluição visual	Porcentagem de tempo de ocorrência
Impacto potencial de pesticidas	Porcentagem de área tratada
<b>Dimensão Qualidade dos Compartimentos Ambientais - Água de lençol</b>	
Coliformes fecais <sup>1</sup>	Número de colônias/100 ml
Nitrato <sup>1</sup>	Miligrama de NO <sub>3</sub> /l
Condutividade <sup>1</sup>	Micro ohm/cm
<b>Dimensão Qualidade dos Compartimentos Ambientais – Solo</b>	
Matéria orgânica	Porcentagem da matéria orgânica
pH <sup>1</sup>	pH
P resina <sup>1</sup>	Miligrama P/dm <sup>3</sup>
K trocável	Milimol de carga/dm <sup>3</sup>
(Mg e Ca) trocável <sup>1</sup>	Milimol de carga/dm <sup>3</sup>
Acidez potencial (H + Al) <sup>1</sup>	Milimol de carga/dm <sup>3</sup>
Soma de bases <sup>1</sup>	Milimol de carga/dm <sup>3</sup>
Capacidade de troca catiônica <sup>1</sup>	Milimol de carga/dm <sup>3</sup>
Volume de bases <sup>1</sup>	Porcentagem de saturação
Potencial de erosão	Porcentagem da área
<b>Dimensão Valores Socioculturais</b>	
Acesso à educação	Número de pessoas
Acesso aos serviços básicos	Acesso aos serviços básicos (1 ou 0)
Padrão de consumo	Acesso a bens de consumo (1 ou 0)
Acesso a esporte e lazer	Horas dedicadas
Conservação do patrimônio histórico, artístico, arqueológico e espeleológico	Número de monumentos/eventos do patrimônio

Qualidade do emprego	Porcentagem dos trabalhadores
Segurança e saúde ocupacional	Número de pessoas expostas
Oportunidade de emprego local qualificado	Porcentagem de pessoas ocupadas
<b>Dimensão Valores Econômicos</b>	
Renda líquida do estabelecimento	Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
Diversidades de fontes de renda	Proporção de renda domiciliar
Distribuição da renda	Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
Nível de endividamento corrente	Tendência de atributos da renda (1 ou 0)
Valor da propriedade	Proporção de alteração de valor
Qualidade da moradia	Proporção dos residentes
<b>Dimensão Gestão e Administração</b>	
Dedicação e perfil do responsável	Ocorrência de atributos (1 ou 0)
Condição de comercialização	Ocorrência de atributos (1 ou 0)
Reciclagem de resíduos	Ocorrência de atributos (1 ou 0)
Relacionamento institucional	Ocorrência de atributos (1 ou 0)

<sup>1</sup> Indicador expresso em duas medidas: índice de impacto e variação porcentual, proporcional, ou relativa; cada qual com seu respectivo valor de utilidades (PEREIRA, 2003).

Fonte: Adaptado de Rodrigues *et al.* (2003).

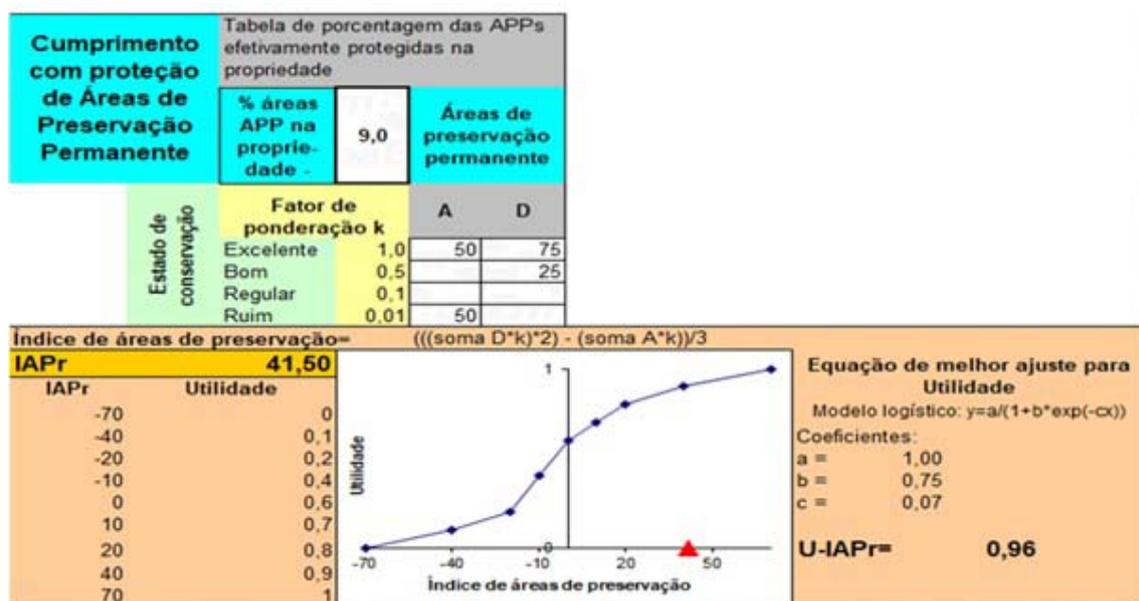
Os resultados da avaliação são apresentados expressos graficamente para cada dimensão considerada, permitindo averiguar o desempenho da atividade para cada indicador comparativamente à linha de base estabelecida (igual a 0,70) (RODRIGUES *et al.*, 2006).

De acordo com a EMBRAPA MEIO AMBIENTE (2015), o sistema de Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de atividades do Novo Rural (APOIA-NovoRural), consiste de um método compreensivo, suficiente para aplicação em campo na avaliação do impacto de atividades rurais. O sistema integra as dimensões ecológicas, sociais e econômicas, inclusive aquelas relativas à gestão e administração, proporcionando uma medida objetiva da contribuição da atividade produtiva rural para o desenvolvimento local sustentável.

Segundo esses mesmos autores, o sistema é de aplicação relativamente simples, por avaliadores devidamente treinados, permite ativa participação dos produtores/ responsáveis, e serve para a documentação e comunicação das informações sobre impactos ambientais e desenvolvimento sustentável. A plataforma computacional é amplamente

disponível, passível de distribuição e uso a baixo custo e permite a emissão direta de relatórios em forma impressa de fácil manuseio.

Para Rodrigues; Campanhola (2003), o APOIA-NovoRural apresenta uma vantagem em relação aos outros métodos disponíveis, pois agrega elementos de diferentes naturezas, proporcionando a composição de índices parciais de impacto ambiental para cada dimensão avaliada; ao mesmo tempo um índice agregado de avaliação de impacto ambiental. A Figura 13 exemplifica uma matriz de ponderação no sistema APOIA-NovoRural, apresentando a Dimensão ecologia da paisagem.



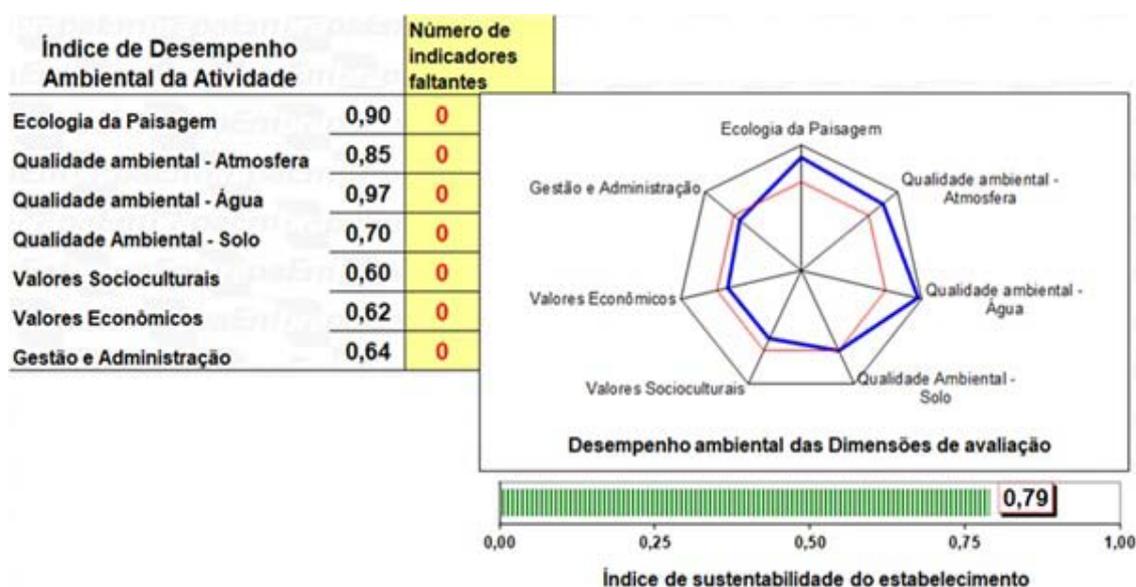
**Figura 13.** Exemplo da matriz de ponderação para AIA no sistema APOIA-NovoRural (Dimensão: ecologia da paisagem). Fonte: Rodrigues *et al.* (2006).

O índice de impacto ambiental de cada indicador dentro da matriz de ponderação é transformado por meio de uma função de valor que se realciona com a *performance* ambiental da atividade em uma escala de utilidade, que poderá variar de (0 a 1). Dentro dos 62 indicadores, vinte e quatro são expressos em duas medidas: índice de impacto primário, referente ao indicador; e a variação porcentual, proporcional ou relativa, induzida pela atividade avaliada; cada qual com seu respectivo valor de utilidade (RODRIGUES; CAMPANHOLA, 2003).

A composição das curvas de correspondência entre os indicadores e o

desempenho ambiental, definida em valores de utilidade, baseou-se em testes de sensibilidade e de probabilidade, caso-a-caso para cada indicador (GIRARDIN; BOCKSTALLER; VAN DER WERF, 2000). No teste de probabilidade, estabelece-se a relação ou valor entre o indicador e a *performance*, segundo correspondência entre a escala de ocorrência, permitindo definir a função de transformação (GIRARDIN; BOCKSTALLER; VAN DER WERF, 1999).

Assim, na Figura 14, tem-se um exemplo do desempenho ambiental da atividade, bem como o índice de sustentabilidade.



**Figura 14.** Apresentação Gráfica da AIA e da Sustentabilidade pelo APOIA-NovoRural. Fonte: Rodrigues *et al.* (2003).

Para Rodrigues *et al.* (2003), os resultados são agrupados em cada dimensão e apresentado em uma gráfica síntese de impacto ambiental da atividade nas cinco dimensões; a sustentabilidade considera todos os indicadores avaliados. Dessa forma, é possível observar o desempenho individual de cada dimensão avaliada, onde a linha azul é o valor base; e pela linha em vermelho, que expressa o índice de impacto ambiental e da sustentabilidade da atividade rural.

### 3. Critérios para a seleção da metodologia

De acordo com Pereira *et al.* (2012), apesar do grande número de métodos de AIA disponíveis, cada um apresenta suas vantagens e desvantagens, sendo que a escolha do método ou de suas variações irá depender da aplicação e dos recursos disponíveis (dados robustos, aporte financeiro e tempo disponível para coleta, análise e interpretação).

Com base nos critérios especificados, Lohani *et al.* (1997) avaliaram sistematicamente sete (7) dos métodos de AIA aqui apresentados. As Tabelas 18 e 19 trazem uma lista de critérios usados para selecionar os métodos durante as várias etapas do processo de AIA, com o resumo das suas principais características, vantagens e desvantagens.

**Tabela 18.** Critérios objetivos para a seleção do método de AIA

Processo de Avaliação (Fase)	Critério	Descrição do critério
<b>Geral</b>	1. Requerimento de experiência	Simples o suficiente para permitir que a mão de obra disponível, mesmo com pouco conhecimento, compreenda e aplique o método sem grandes dificuldades.
	2. Requerimento de dados	Não requer coleta de dados primários e pode ser usado com os dados disponíveis.
	3. Requerimento de tempo	Pode ser bem concluído dentro do tempo requisitado para a revisão do EIA.
	4. Flexibilidade	Flexível o suficiente para permitir modificações/adaptações durante o curso do estudo, especialmente se um estudo mais detalhado é necessário.
	5. Nível de pessoal	Pode ser conduzido com mão de obra e recursos limitados.
<b>Identificação</b>	6. Abrangência	Abrangente o suficiente para conter todas as opções e alternativas possíveis; capaz de fornecer informação suficiente sobre os impactos e permitir tomada de decisão eficiente.
	7. Baseado em indicadores	Capaz de identificar parâmetros específicos para medir impactos significativos.
	8. Discriminativo	Requer e sugere métodos para identificar impactos advindos do projeto e discriminá-los das mudanças ambientais futuras devido a outras causas.
	9. Dimensão de tempo	Pode identificar os impactos em escala temporal.
<b>Medição</b>	10. Dimensão espaço	Pode identificar os impactos em escalas espaciais.
	11. Ponderado	Usa um conjunto de unidades proporcionais para permitir a comparação entre alternativas.
	12. Quantitativo	Sugere o uso de indicadores específicos e mensuráveis para quantificar os impactos relevantes.
	13. Mudanças de medidas	Prevê a medição da magnitude do impacto como distinto da significância do impacto.
	14. Objetivo	É baseada em critérios objetivos declarados

		explicitamente.
<b>Avaliação</b>	15. Credibilidade	Fornece uma profundidade de análise suficiente e transmite confiança aos usuários e ao público em geral.
	16. Replicabilidade	A análise pode ser replicada por outros profissionais da AIA.
	17. Significância	Pode explicitamente avaliar a significância dos impactos medidos em uma escala local, regional e nacional. Expõe os critérios e os pressupostos utilizados para determinar a significância do impacto.
	18. Agregação	Agrega a vasta quantidade de informação e dados de base.
	19. Incerteza	- Permite certo grau de incerteza. - Identifica os impactos que têm baixa probabilidade de ocorrência, mas um alto potencial de dano e perda.
	20. Alternativo	Permite comparação entre os impactos das alternativas do projeto.
	20. Comparação	Claramente retrata os impactos sobre o meio ambiente com e sem o projeto.
<b>Comunicação</b>	21. Comunicabilidade	- Fornece uma comparação suficientemente detalhada e completa das alternativas aos vários projetos disponíveis. - Exige e sugere um mecanismo para a participação do público na interpretação dos impactos e sua importância. - Fornece um mecanismo para avaliar os impactos sobre os grupos geográficos ou sociais afetados. - Fornece uma descrição da configuração do projeto para ajudar os usuários a compreender adequadamente todo o quadro.
	22. Formato sintetizado	- Resume os resultados da análise de impacto em um formato que fornece aos usuários, desde o público até os tomadores de decisão, detalhes suficientes para compreender e confiar na avaliação. - Fornece um formato para destacar os principais problemas e impactos identificados na avaliação.

Fonte: Lohani *et al.* (1997).

**Tabela 19.** Avaliação dos métodos de acordo com os critérios adotados

<b>Critério</b>	<b>“Ad Hoc”</b>	<b>Listas simples</b>	<b>Listas ponderáveis</b>	<b>Matrizes</b>	<b>Redes</b>	<b>Mapas</b>	<b>Modelos</b>
1. Requerimento de experiência	C	C	N	P	P	C	N
2. Requerimento de dados	C	C	P	C	C	P	N
3. Requerimento de tempo	C	C	P	P	C	C	N
4. Flexibilidade	C	C	C	P	C	C	C
5. Nível de pessoal	P	C	P	P	C	P	P
6. Abrangência	N	C	P	C	N	N	P
7. Baseado em indicadores	N	N	N	N	C	P	C
8. Discriminativo	N	N	N	N	P	N	C
9. Dimensão de tempo	N	N	N	N	N	P	C
10. Dimensão espaço	N	N	N	N	N	C	C
11. Ponderado	N	N	P	N	N	C	C
12. Quantitativo	N	N	N	N	N	C	C

13. Mudanças de medidas	N	N	N	N	N	C	C
14. Objetivo	N	N	N	P	P	C	P
15. Credibilidade	P	P	P	P	P	C	P
16. Replicabilidade	N	N	N	N	P	C	C
17. Significância	N	P	N	N	N	N	P
18. Agregação	N	N	P	P	P	P	C
19. Incerteza	N	N	N	N	N	N	P
20. Alternativo	P	P	C	N	N	P	C
20. Comparação	P	C	P	C	C	C	C
21. Comunicabilidade	N	C	C	C	P	C	C

C: Critério **completamente** satisfeito; P: Critério **parcialmente** satisfeito; N: Critério **NÃO** satisfeito. Fonte: Pereira *et al.* (2012) adaptado de Lohani *et al.* (1997).

#### 4. Considerações finais

Pode-se afirmar que a ideia de se buscar um modelo sustentável de produção, revela, inicialmente, a crescente insatisfação com a situação criada e imposta pelos atuais modelos vigentes de desenvolvimento e de produção advindos das atividades antrópicas. Na elaboração da Agenda 21 Brasileira foi considerada fundamental que se promovam alterações nos modos de produção, necessitando, para isso, de uma definição nas políticas públicas que considerem o planejamento de médio e longo prazo – as AIAs podem contribuir de forma significativa.

As AIAs são ferramentas que permitem que os Sistemas de Gestão Ambiental tenham subsídios para melhorar o desempenho ambiental e a operacionalização de uma organização, levando as organizações a adotarem uma postura preventiva ao invés de corretiva. A humanidade, que vem se preocupando com os impactos do crescimento econômico sobre o meio ambiente, deve agora se preocupar com os impactos do desgaste ecológico sobre nossas perspectivas econômicas. Assim, o objetivo final da Gestão Ambiental é favorecer o Desenvolvimento Sustentável, garantindo que ele atenda às necessidades humanas atuais, sem o comprometimento das gerações futuras atenderem às suas.

Todos os procedimentos envolvidos na AIA constituem um importante componente das decisões referentes aos programas dos mais diversos setores que envolvem as atividades potencialmente capazes de provocarem impactos ambientais. Por esse motivo, problemas que surgiriam ao longo do processo produtivo podem ser evitados ou mitigados. Dessa forma, a AIA pode ser

considerada um importante instrumento de execução da política e de gestão ambiental, portanto, de recuperação ambiental. Para isso, entretanto, deverá ser procedida com o adequado licenciamento ambiental.

Recentemente, em todo o mundo, surgiram planos, ideias, recursos e técnicas inovadoras e consistentes acerca da possibilidade da geração de alternativas para a recuperação ambiental, como será demonstrado nos “estudos de caso” dos capítulos seguintes do presente livro, que garantem a possibilidade de superação dessa crise, possibilitando o desenvolvimento sustentável.

As transformações dessas alternativas que se encontram à nossa disposição, em realidade deixaram de ser um problema conceitual ou técnico, sendo mais uma questão de iniciativa política. É preciso que sejam implantados modelos de desenvolvimento baseados nessas novas ideias, que ofereçam uma base ideal para o uso dessas tecnologias, sistemas econômicos e instituições sociais com vistas para o futuro.

Procedimentos de avaliação de impactos ambientais, licenciamento e certificação, quando bem conduzidos, podem se tornar fortes aliados para o desenvolvimento do diálogo e da cooperação entre os representantes das empresas, das comunidades, do governo e dos ambientalistas. Devem ser respeitadas as diversidades culturais, adaptando-as à nova realidade e necessidades atuais, para que possam atender aos recentes desafios ambientais.

Na realização da AIA cabe considerar dois importantes conceitos: Cumulatividade e Sinergia. Tais conceitos partem do princípio de que as mudanças ao meio ambiente que são causadas por ações antrópicas em combinação com outras ações do passado, presente ou futuras, podem de alguma forma, potencializar os efeitos ambientais em uma dada região, a partir de processos interativos e sobreposições sucessivas de processos antrópicos.

Dessa forma, as metodologias de AIA aqui apresentadas são ferramentas imprescindíveis para dar suporte às tomadas de decisão nas fases de planejamento e implantação, bem como na futura gestão dos empreendimentos urbanos e rurais. Ao se realizar a AIA, entende-se o que acontece nesse espaço permitindo projetar cenários futuros e quantificar suas

consequências - afinal, é no futuro que existirá a obra construída, assim como o impacto que causará no campo, na cidade e em seus habitantes.

## 5. Bibliografias citadas e consultadas

AMORIM, E. L. C. de. **Métodos de avaliação de Impactos Ambientais**. Material de aula, UFAL, 2014. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/Aula%20Conceitos%20AIA2.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2019.

ARAÚJO, G. T. S; COTT, L. S. **Metodologia De Valoração de Impactos Ambientais Aplicada ao Cálculo do Valor da Compensação Ambiental**: Vitória, 2011, 115p. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, 2011.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **As bases toxicológicas da ecotoxicologia**. Editora Rima, São Carlos, 2003, 340p.

BOLLMANN, H. Indicadores Ambientais. In: N. MAIA; H. MARTOS, W. BARRELLA (org.), **Indicadores Ambientais: Conceitos e Aplicações**. São Paulo, EDUC/COMPED/INEP, 2001, 285 p.

BRAGA, B; HESPANHOL, I., CONEJO, J. ; MIERZAWA, J., BARROS, M., SPENCER, M., PORTO, M. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Ed. Person, 2005.

CAMPOS, P. **Etapas do Planejamento e Elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental**. 2014. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/PamellaCampos/aia-03-2>>. Acesso em: 12 nov. 2020.

CASTRO, C. N. de **Transposição do rio São Francisco**: análise de oportunidade do projeto. Brasília: IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2011. 60 p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução CONAMA Nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 13 set. 2017.

CREMONEZ, F. E.; CREMONEZ, P. A.; FEROLDI, M.; DE CAMARGO, M. P.; KLAJN, F. F.; FEIDEN, A. Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v.13, n.5, 2014, p.3821-3830 (Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria).

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 266 p.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 289 p.

DAIA - Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental – Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA. **Roteiro elaboração de relatório ambiental preliminar - RAP**. Disponível em: [www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/daia](http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/daia). Acesso em: 19 nov. 2018.

EIA/RIMA – **Duplicação da BR 101 Trecho Florianópolis (SC) a Osório (RS)**. Ministério dos Transportes, 2016. 65 p. Disponível em: [C:/Users/ACER/Downloads/EIA\\_RIMA\\_BR\\_101.pdf](C:/Users/ACER/Downloads/EIA_RIMA_BR_101.pdf). Acesso em: 18 abr. 2018.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Instrumento de gestão ambiental: sistema de Avaliação Ponderada de Impacto Ambiental de atividades do Novo Rural (APOIA-NovoRural)**. 2015. Disponível em: [www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=apoia::60](http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=apoia::60). Acesso em: 18 dez. 2020.

FOGLIATTI, M.C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. **Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 249 p.

GIRARDIN, P.; BOCKSTALLER, C.; DER WEF, H. V. Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment: the AGRO\*ECO method. **Environmental Impact Assessment Review**, New York, v. 20, p. 227-239, 2000. Disponível em: <https://tinyurl.com/y5glllyfy>. Acesso em: 27 abr. 2020.

GIRARDIN, P.; BOCKSTALLER, C.; DER WERF, H. V. Indicators: tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. **Journal of sustainable agriculture**, v.13, n.4, p.5-21, 1999.

GLASSON, J.; THERIVEL, R.; CHADWICK, A. **Introduction to environmental impact assessment**. 3rd Edition. The natural and built environment series. London: Routledge. 2005. 448 p.

GOMES, M. A. S., BEATRIZ, B. R. Reflexões sobre qualidade ambiental urbana. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, n. 2, p. 21-30, 2004.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Avaliação de impacto ambiental: agentes sociais, procedimentos e ferramentas**. Brasília: IBAMA, 1995. 132p.

KLING, A. S. M. **Aplicação do Método Battelle na avaliação do impacto ambiental na Bacia hidrográfica do rio Piabanha**. Dissertação. Rio de Janeiro, 2005. 121p.

LA ROVERE, E. L. **Instrumentos de planejamento e gestão ambiental para a Amazônia, cerrado e pantanal: demandas e propostas - metodologia de avaliação de impacto ambiental**. Brasília: Ed. IBAMA. 2001. 54p.

LEOPOLD, L. B.; CLARK, F. E.; HANSHAW, B. B.; BALSLEY, J. R. A procedure for evaluating environmental impact. US Geological Survey Circular 645, Department of Interior, Washington, DC, 1971. 13p.

LOHANI, B.; EVANS, J. W.; LUDWIG, H.; EVERITT, R. R.; CARPENTER, R. A.; TU, S. L. **Environmental impact assessment for developing countries in Asia**. Volume 1 – Overview. Ed. Asian Development Bank. 1997. 356p. Disponível em: [http://www.adb.org/documents/books/environment\\_impact/env\\_impact.pdf](http://www.adb.org/documents/books/environment_impact/env_impact.pdf). Acesso em: 13 jun. 2019.

MARIANO, J. B. **Impactos ambientais do refino de petróleo**. Dissertação de mestrado em Ciências em Planejamento. COPPE/UFRJ, 2001, 216p.

MORALES, G. P. **Elaboração de EIA/RIMA**. Universidade Federal do Pará (Curso de especialização em gestão hídrica e ambiental). 2019. 55 p.

MORATO, S. A. **Curso de metodologia para avaliação de impacto ambiental**. MMA/ PNUD/BRA, 2008, 72p.

MORGAN, R. K. **Environmental Impact Assessment**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. 307 p.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 2ª Ed. ABES, Rio de Janeiro, 2000, 416p.

MUNDOGEO. **Imagem**. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/1999/12/02/imagens-exploram-oceanos-reduzindo-riscos-com-imagens-radarsat-1/>>. Acesso em: 29 jan. 20.

NUNES, M. P. **Método de análise de risco no estudo de impacto ambiental (EIA)**. PPGEU- UFPA. João Pessoa, 2002.

OLIVEIRA, F. F. G. de; MEDEIROS, W.D.A. Bases teórico-conceituais de métodos para avaliação de impactos ambientais em EIA/RIMA. **Mercator**, Fortaleza, v. 6, n. 11, p. 79-92. 2007.

OLIVEIRA, F.C.; MOURA, H.J.T. Uso das metodologias de avaliação de impacto ambiental em estudos realizados no Ceará. **Pretexto**, v. 10, n. 4, p. 79-98, 2009.

PEREIRA, J. A. A.; BORGES, L. A. C. B.; BARBOSA, A. C. M. C.; BORÉM, R. A. T. **Fundamentos da avaliação de impactos ambientais com estudo de caso**. Lavras: UFLA, 2012. 154 p.

RODRIGUES, G. S. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico agropecuário: fundamentos, princípios e introdução à metodologia**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1998. 66p.

RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. C. DE A.; IRIAS, L. J. M.; LIGO, M. A. V. **Avaliação de Impactos Ambientais em Projetos de Pesquisa II:**

Avaliação da Formulação de Projetos - Versão I. Jaguariúna (SP): Embrapa Meio Ambiente, Boletim de Pesquisa 10. 28 p. 2006.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C. Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do Novo Rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 4, p. 445-451, 2003.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; RODRIGUES, I.; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. RAMOS FILHO, L. O. **Gestão ambiental de atividades rurais**: estudo de caso em agroturismo e agricultura orgânica. *Agric. São Paulo*, São Paulo, v. 53, n. 1, p. 17-31, jan./jun., 2006. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/15414/1/2006AP036.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.

RODRIGUEZ, L. C. E. Monitoramento florestal: iniciativas, definições e recomendações. Série técnica do IPEF, v.12, n.31, p.9-21, 1998.

SADLER, B.; McCABE, M. (eds). **UNEP Environmental impact assessment training resource manual**. Second Edition. Geneva, United Nations Environment Programme, Economics and Trade Branch. 2002. 561 p.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos. 2008. 496p.

SANTANA, G. S. **Impactos ambientais e socioeconômicos do uso da água nas CSAs do DF**. 2018. 159 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SILVA, C. A. **Compostagem como alternativa à disposição final dos resíduos sólidos gerados na CEASA-Curitiba**. Monografia em MBA em Gestão Ambiental. UFPR, 2008, 78p.

SILVA, C. A. da. **Estudo de Impactos Ambientais**. Etec-Brasil: Curitiba-PR, 2011. 124 p.

SILVA, E. **Análise e avaliação de impactos ambientais**. Viçosa, MG: DEF/UFV, 1998. 56 p. (Apostila de ENF 685 - Avaliação de Impactos Ambientais).

SILVA, E. **Avaliação de impactos ambientais no Brasil**. Viçosa, MG: UFV, 1994b. 31p.

SILVA, E. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais do reflorestamento no Brasil**. 1994a, 309f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOARES, T. S., CARVALHO, R. M. M. A., VIANA, E. C., ANTUNES, F. C. B. Impactos ambientais decorrentes da ocupação desordenada na área urbana do município de Viçosa, Estado de Minas Gerais. **Rev. Cient. Elet. Eng. Flor. Garça**, v. 8, p. 01-14, 2006.

SOUSA, W. L. **Impacto Ambiental de Hidrelétricas**: uma análise comparativa de duas abordagens. Rio de Janeiro, 2000, 115 p. Dissertação (Mestre em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2000.

SOUZA, M. N. **Degradação Antrópica e Procedimentos de Recuperação Ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v.1000. 376p.

SOUZA, M. N. **Degradação e Recuperação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 371p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SOUZA, M. N. **Dinâmica do uso dos recursos hídricos nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, afluentes do rio Paracatu**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 345p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2008.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais**. Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015, v.5000. 376 p.

SOUZA, M. N. Recuperação ambiental ou recuperação de áreas degradadas: conceitos e procedimentos. p. 11-57. In: SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.133p.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.; SANCHEZ ROMAN, R. M.; SILVA, M. A. A. Dinâmica de sistemas e a modelagem com o uso do programa STELLA dos recursos hídricos da bacia do rio Preto, afluente do rio Paracatu. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.1, n. 1, p.16-42, 2010.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.; SANCHEZ ROMAN, R. M.; SOUZA, M. A. A. S. Dynamic o systems and the modelling with the use STELLA. **Academic Journals Database**, v. 4, p. 23-37, 2014. Disponível em: <http://www.journaldatabase.org>.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Avaliação do comportamento hidrológico na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, afluente do rio Paracatu, em cenário de mudança climática com o uso do software STELLA. **Engenharia na agricultura**, v.1, p.32-47, 2013.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Avaliação do comportamento hidrológico na bacia do ribeirão entre ribeiros, afluente do rio Paracatu, em cenário de mudança climática com o uso do software STELLA. **Sistema Aberto e Integrado de Informação em Agricultura**, v.107, p.1-3, 2012.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Water resources use dynamics in watersheds of ribeirão Entre Ribeiros and rio Preto, tributaries of the Paracatu river. **Boletim de**

**Ciências Geodésicas** (Impresso), v.17, p.35-46, 2012b.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Dinâmica de sistemas e modelagem dos recursos hídricos da bacia do rio Preto com o uso do programa STELLA. **Engenharia na Agricultura**, v.17, n. 43, p.346-353, 2010b.

STAMM, H. R. **Método para Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) em projetos de grande porte: Estudo de caso de uma usina termelétrica.** Florianópolis, 2003. 265p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal de Santa Catarina.

ZAMBRANO, F. T., MARTINS, M. F. Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental. **Gest. Prod.** São Carlos, n. 14, p. 295-309, 2007.

## **Autores**

Maurício Novaes Souza\*

Professor do Instituto Federal do Espírito Santo e do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Campus de Alegre - Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)

---

## Projeção de cenários ou modelos de simulação: uma metodologia de AIA

Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c3>

### 1. Introdução

O método de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) denominado “Projeção de cenários ou modelos de simulação” se baseia na análise de situações ambientais prováveis em termos da evolução de um ambiente (cada situação corresponde a um cenário) e, ou, de situações hipotéticas, referentes a situações diferenciadas geradas por proposição de alternativas de projetos e programas. Tem por objetivo orientar as autoridades governamentais no cumprimento de suas metas de longo prazo, por meio de indicadores de tendências prováveis.

Será apresentado um Estudo de Caso da tese de doutorado da autoria deste autor inicialmente denominada “Planejamento e gerenciamento do uso do solo e dos recursos hídricos nas bacias do ribeirão Entre ribeiros e do rio Preto: gestão ambiental com enfoque na dinâmica de sistemas” (SOUZA, 2008).

O presente Estudo de Caso é uma compilação dos seguintes artigos (SOUZA, 2006; SOUZA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2010b; SOUZA *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2012b; SOUZA *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2014; SOUZA, 2015). Todo o processo tem por base a modelagem de um dado ecossistema.

### 2. Etapas da modelagem

O objetivo básico da AIA e da gestão ambiental, considerando a consciência de que os recursos naturais são finitos, é a obtenção dos maiores benefícios por meio da aplicação dos menores esforços. Dessa forma, o indivíduo, a comunidade e as empresas, buscam aperfeiçoar o uso dos

recursos disponíveis, sejam eles de ordem financeira, material ou humana. De fato, a gestão de um sistema tem por objetivo assegurar seu bom funcionamento e seu melhor rendimento, mas também sua perenidade e seu desenvolvimento (SOUZA, 2006).

As AIAs são ferramentas que permitem que os “Sistemas de Gestão Ambiental” (SGA) tenham subsídios para melhorar o desempenho ambiental e a operacionalização de uma organização, levando as organizações a adotarem uma postura preventiva ao invés de corretiva. Por essas questões, a proposta deste Estudo de Caso é apresentar o desenvolvimento de um modelo de oferta e demanda hídrica baseado na Dinâmica de Sistemas, com o auxílio do “software” STELLA 9.0. Seu objetivo é o de se analisar e avaliar os Impactos Ambientais (AIA) e a sustentabilidade dos recursos hídricos das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, afluentes do rio Paracatu: principal afluente do rio São Francisco.

Tal programa tem sido empregado para identificar as soluções mais adequadas aos requerimentos de conservação do solo e dos requerimentos hídricos, relativos ao Desenvolvimento Sustentável local, aos aspectos ambientais e as necessidades ecológicas e socioeconômicas e políticas de diversos locais e regiões; ou seja, trata-se de uma ferramenta de AIA que auxiliará nos procedimentos de gestão e monitoramento dos recursos hídricos de uma dada região.

Para o desenvolvimento do modelo é preciso conhecer o histórico da região em estudo. Dados precisam ser levantados e avaliados. No presente estudo se observou que nas últimas décadas o principal agente consumidor de água na bacia do rio Paracatu foi a atividade da irrigação: teve sua participação elevada de 78% para 93% do total da vazão consumida, gerando um complexo quadro de conflitos pelo uso da água na região. Ao mesmo tempo, o crescimento na demanda desse recurso, resultado do crescimento das atividades econômicas, vem acelerando o crescimento populacional, que estimula a implantação de outras atividades como aquelas de reflorestamento com o uso de espécies exóticas e das atividades de pecuária.

No caso da agricultura irrigada, o modelo a ser desenvolvido funcionará como uma ferramenta para prevenir os destinos dos eventuais setores irrigáveis que possam ser implantados ao longo das bacias hidrográficas da

região. Dessa forma, o modelo se converterá em um valioso instrumento computacional de auxílio aos formuladores de políticas públicas para o planejamento, gestão e monitoramento dos recursos hídricos do local de estudo, eliminando os riscos da ocorrência de impactos ambientais.

Entretanto, sua construção implica em uma ampla investigação, além de um trabalho eminentemente criativo, que será estruturado por meio das seguintes etapas (ORELLANA GONZÁLEZ, 2006): a) conceitualização; b) formalização; e c) simulação - esta etapa inclui a avaliação e exploração. As duas primeiras etapas serão agora elaboradas e descritas; e a derradeira, apresentada e discutida no capítulo referente aos Resultados e Discussões.

### **3. Etapa de conceitualização**

Existe um consenso de que projetar cenários futuros só é possível com o entendimento do espaço natural e suas condições passadas e atuais: essa questão é complexa, dada às inter-relações existentes nos diversos ecossistemas, naturais e urbanos. Entretanto, ao entender o que acontece nesse espaço é possível projetar cenários futuros e quantificar suas consequências - afinal, é no futuro que existirá a obra construída, assim como o impacto que causará no campo, na cidade e em seus habitantes.

Desta forma, esta etapa consiste na familiarização dos problemas relacionados à área em estudo, tendo como objetivo os definir. Busca-se identificar os elementos que configuram o sistema de recursos hídricos das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, concluindo com o estabelecimento do diagrama causal.

#### **3.1. Enfoque sistêmico dos recursos hídricos**

Na elaboração do modelo da água para as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, para o seu pleno sucesso, far-se-á necessário conhecer o processo de aprendizagem e as etapas no processo de construção de modelos em Dinâmica de Sistemas. Por intermédio de uma análise sistemática dos recursos hídricos dessa região, serão determinadas as principais variáveis e suas respectivas inter-relações, conformando-se assim, a estrutura do modelo de oferta e demanda hídrica.

Esta estrutura será representada no diagrama causal, que servirá como base para a elaboração do diagrama de estoques e fluxos, por meio do qual se estabelecerá o modelo matemático que permitirá efetivar a simulação numérica. Serão aplicados testes de validação do modelo. Com os resultados obtidos, permitir-se-á constatar que o modelo está estruturado e se comporta de forma coerente aos dados existentes na realidade, o que o torna adequado para a situação.

A importância em identificar os principais problemas e as características dessas atividades e as possíveis medidas mitigadoras, amparadas atualmente pela legislação ambiental e pela obrigatoriedade da AIA, é permitir que fossem reduzidos os impactos ambientais negativos. Por meio da utilização de ferramentas na fase de planejamento, implantação e monitoramento, tais como o licenciamento ambiental e os sistemas de gestão ambiental, têm favorecido tais procedimentos. Cabe ainda considerar que a utilização de medidas preventivas visa à utilização dos recursos naturais de forma racional, com vistas aos princípios e anseios do Desenvolvimento Sustentável.

As informações adquiridas sobre esse sistema, considerando que atividades antrópicas provocam a sua retroalimentação interna e interferem nas suas relações com o meio no qual está inserida; o modelo poderá propor as mudanças que se façam necessárias, ou sugerir novo direcionamento para que lacunas diagnosticadas dentro do atual modelo sejam alteradas, atingindo, assim, os resultados esperados. Devem ser considerados os contextos político e socioeconômico, bem como as principais inter-relações no qual o setor em estudo está inserido para que se possam elaborar os círculos de causalidade.

Assim, esse modelo permitirá aumentar a compreensão acerca das atividades antrópicas e seus empreendimentos existentes na região de estudo, bem como as interferências promovidas em seus diversos ecossistemas. Dessa forma, os usuários poderão entender como que os diversos cenários atuais e futuros afetarão o desempenho dos ecossistemas, aquáticos e terrestres. São fundamentais, a partir de uma visão holística e integrada, que sejam identificadas as atividades agropecuárias, florestais e urbanas que geram focos de poluição e degradação. O seu entendimento será a base para a construção do modelo e da estrutura matemática, que permitirá representar e entender a dinâmica de funcionamento desses sistemas.

Foi escolhido como horizonte de planejamento um período de sessenta e cinco (65) anos. Esse período se enquadra acima do tempo mínimo, segundo Orellana González (2006), de 25-30 anos, que é normalmente empregado para a implantação da maioria dos planos de desenvolvimento socioeconômico: representa uma melhor visão para o planejamento e tomadas de decisão no longo prazo.

### **3.2. Definição do problema**

Os modelos de desenvolvimento agropecuário e urbano-industrial, executados nas últimas décadas na bacia do rio Paracatu, produziram uma série de impactos ambientais, com a geração de inúmeras áreas degradadas. A provável origem desses problemas se deve ao imediatismo nas fases de elaboração e implantação dos diversos empreendimentos e atividades, com displicência, ou mesmo ausência, de planejamento ambiental, não considerando, por exemplo, as questões relativas à predição.

Tal comportamento têm posto em risco a quantidade e a qualidade do capital natural, particularmente dos recursos edáficos e, conseqüentemente, dadas as suas inter-relações, dos ecossistemas aquáticos. Nesse contexto inserem-se as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, afluentes do rio Paracatu, objetos deste estudo.

Nesse local, tem ocorrido a intensificação de atividades silviculturais, que substituem a vegetação nativa, como também a intensificação da agricultura irrigada, cuja participação no consumo de água se elevou de 78% para 93% do total da vazão consumida no período de 1970 a 2000. O Desenvolvimento Sustentável sugere que se considerem os aspectos ambientais, econômicos e sociais na implantação de um determinado projeto.

O sistema hídrico que compõe as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto está conformado por um conjunto de elementos e componentes que cumprem diferentes funções. O resultado final, quando se deseja uma condição de homeostasia, é a obtenção de que se atinjam as adequações e distribuições da água para possibilitar a vida e a produção da vegetação nativa e das culturas, dos animais e da população. O sistema está constituído pelo solo e pelos diversos elementos que o compõe, unidos entre si

e formando uma rede de inter-relações, organizados de forma interconectada aos propósitos e, ou, objetivos que devam satisfazer.

Tendo esses princípios como ponto de partida, se analisou a sustentabilidade destes sistemas hidrológicos. Com o modelo das referidas bacias, buscou-se determinar se as gerações presentes e futuras contarão com os recursos hídricos que necessitarão para garantir o Desenvolvimento Sustentável da referida região e mesmo de toda a bacia do rio São Francisco.

Esta análise se dará por intermédio de uma visão de longo prazo (65 anos) dos recursos citados. Serão examinados oito (8) cenários que compreenderão futuros aumentos de demanda de água, e restrições da oferta deste recurso, a fim de avaliar a sustentabilidade da oferta de água disponível, nessa região. As tendências atuais do sistema de recursos hídricos dessa região considerarão no seu primeiro cenário o agronegócio atual. A partir deste, será criado um índice para determinar a sustentabilidade. Esse índice refletirá se o sistema está abaixo ou acima, durante o período de estudo em uma situação de superexploração ou estresse, o que permitirá responder aos seguintes questionamentos:

- ✓ Estar-se-á utilizando um volume acima da capacidade de suporte e autodepuração desses recursos?
- ✓ Tem ainda % excedente que poderá ser utilizado sem prejudicar a sustentabilidade do sistema?
- ✓ A qualidade da água se encontra afetada?
- ✓ A sustentabilidade do sistema se encontra comprometida?
- ✓ Quais são as atividades principais que têm contribuído para essa situação?
- ✓ Qual deverá ser o posicionamento dos órgãos de fiscalização?

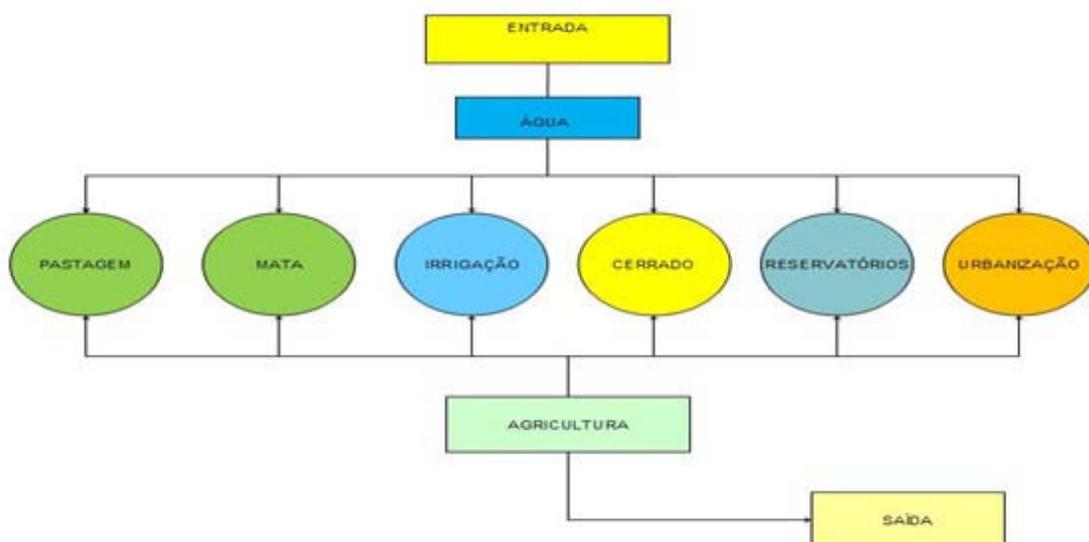
O modelo será desenhado para representar a estrutura da demanda de água da produção agrícola e da demanda ambiental requerido para manter a vida dos ecossistemas da região. Compreende também a oferta de recursos hídricos disponíveis regionalmente, a qual foi estimada com base na vazão média ( $Q_{med}$ ) dos rios.

De acordo com Orellana González (2006), utilizando o enfoque de Dinâmica de Sistemas se rompe com a análise isolada do destino efetivo da água. Dessa forma, descortina-se um novo paradigma, enfocando-se algo mais

importante: o uso final e o controle do recurso, centrando-se, em particular, no quanto se usa. Com este objetivo exposto de forma bem nítida, espera-se superar as políticas atualmente desenhadas para resolver problemas, que contrariamente ao seu propósito inicial, podem muitas vezes reforçar os problemas que se tentavam solucionar.

### 3.3. Relação entre os elementos do sistema: diagrama causal do modelo

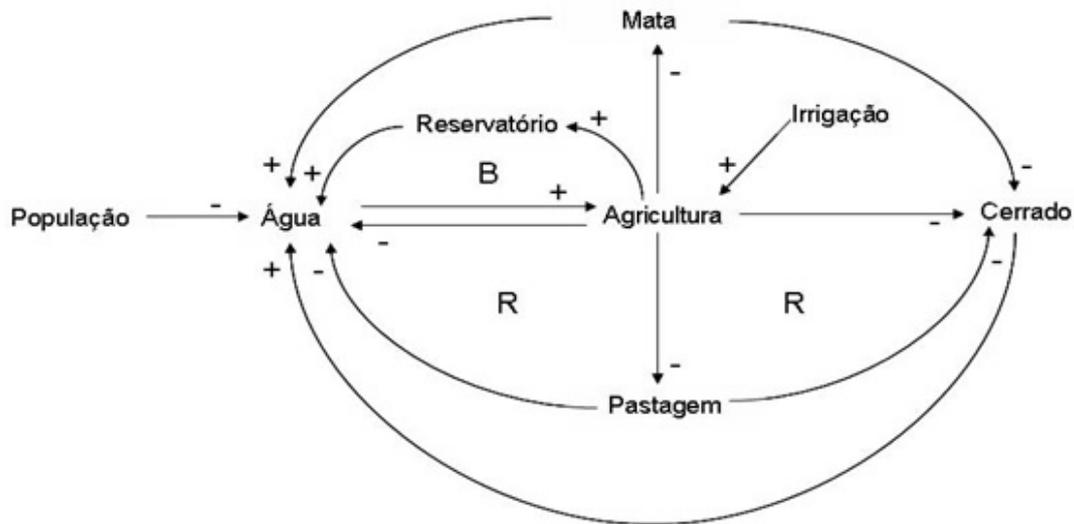
A Figura 1 descreve de forma esquemática o sistema de recursos hídricos e seus elementos principais que o compõe. Conforma-se pelos agregados principais: o primeiro representa a oferta de água disponível; e o segundo que engloba a demanda do referido recurso. Destes grandes agregados se derivam o balanço hídrico do modelo.



**Figura 1.** Fluxograma representativo da estrutura do modelo de recursos hídricos. Fonte: Souza *et al.* (2014).

Para o desenho do diagrama causal, que representa as relações principais e relevantes para o estudo da estrutura de oferta e demanda hídrica das bacias do presente estudo, tomou-se como base o fluxograma utilizado por Orellana González (2006) em seu trabalho, que de acordo com Xu *et al.* (2002), contém os componentes principais da estrutura de um modelo de recursos hídricos que analisa o balanço entre oferta e demanda de água.

O esquema anterior permitiu estabelecer os principais componentes do modelo das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, e identificar as relações de causalidade mais importantes que existem entre eles. Como resultado destas análises, elaborou-se o diagrama causal específico para as bacias em estudo. Este diagrama (Figura 2) permite visualizar o tipo de relações que existem entre os elementos que compõem o modelo.



**Figura 2.** Diagrama causal do modelo das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. Fonte: Souza *et al.* (2012).

Na Figura 2 estão identificados os componentes básicos do sistema, bem como a interação que se dá entre eles, sendo esta última a que proporciona as características estruturais do sistema que nos ocupa.

Apresenta-se “Água”, como a oferta de água limpa disponível e, por outro lado, as demandas estudadas; “População”, que indica a demanda de água para consumo doméstico, tanto na área rural como na urbana; “Cerrado”, que é o Bioma regional, representa produção e estoque de água; “Mata”, conforme descrito anteriormente, tanto de espécies nativas, representadas por florestas de galerias ou ripárias, entre outros, também representam produção e estoque de água; “Agricultura” ou “Cultivo”, que engloba os requerimentos hídricos dos cultivos, como também os plantios florestais; “Pastagem”, evidenciando a demanda de água requerida por este setor.

A variável “Reservatórios” significa estoque de água, em face da retenção do excesso de água que se perderia pelo elevado escoamento superficial das referidas bacias em estudo, estimulando a rápida drenagem (Balanceamento); e, por último, tem-se a variável “Irrigação”; que no presente estudo tem sido considerado o fator de injeção de recursos financeiros nas atividades agrícolas. Esta última variável está dinamizando e incrementando as atividades do setor produtivo e de serviços dessas bacias, além de ser a maior responsável pela demanda hídrica.

Com respeito aos laços de realimentação existentes entre os componentes do sistema, podem-se destacar os seguintes pontos: a injeção de recursos financeiros provenientes da irrigação gera um impacto positivo sobre as atividades do setor agrícola, e se manifestam os efeitos de uma variável sobre outra que caminham na mesma direção, sendo representadas com um sinal (+) ao final da seta (Figura 2). Por exemplo, se a atividade de irrigação aumenta, ela repercute em um aumento das atividades agrícolas, e vice-versa.

Ao contrário, um aumento do consumo de água do setor agrícola, pecuário e da população, gera um impacto negativo sobre a oferta de água disponível; assegura que o crescimento destas variáveis ocasiona diminuição da oferta de água limpa, aumento da contaminação (não considerado nesse estudo), e vice-versa. Pode-se então afirmar que os efeitos caminham em direções contrárias, representadas com um sinal (-).

Pode-se também observar que, apesar de não representado no diagrama causal, o aumento das atividades agrícolas, pecuárias e o consumo da população ocasionam um aumento no nível de contaminação da água, posto que exista um efeito positivo derivado da relação entre essas variáveis – se uma cresce a outra também, e vice-versa. Também, a variação na atividade agrícola (que foi considerado como o principal dinamizador da economia dessas bacias) gera efeitos no mesmo sentido da variação; na pecuária e na população.

Produto dos efeitos das relações entre as variáveis, o modelo está caracterizado, em síntese, por um laço de realimentação positivo (R). Isto significa que a variação de um elemento se propaga em toda a sua extensão reforçando a variação inicial, gerando um crescimento exponencial do sistema a partir de onde toda a variação é amplificada provocando mais movimento na

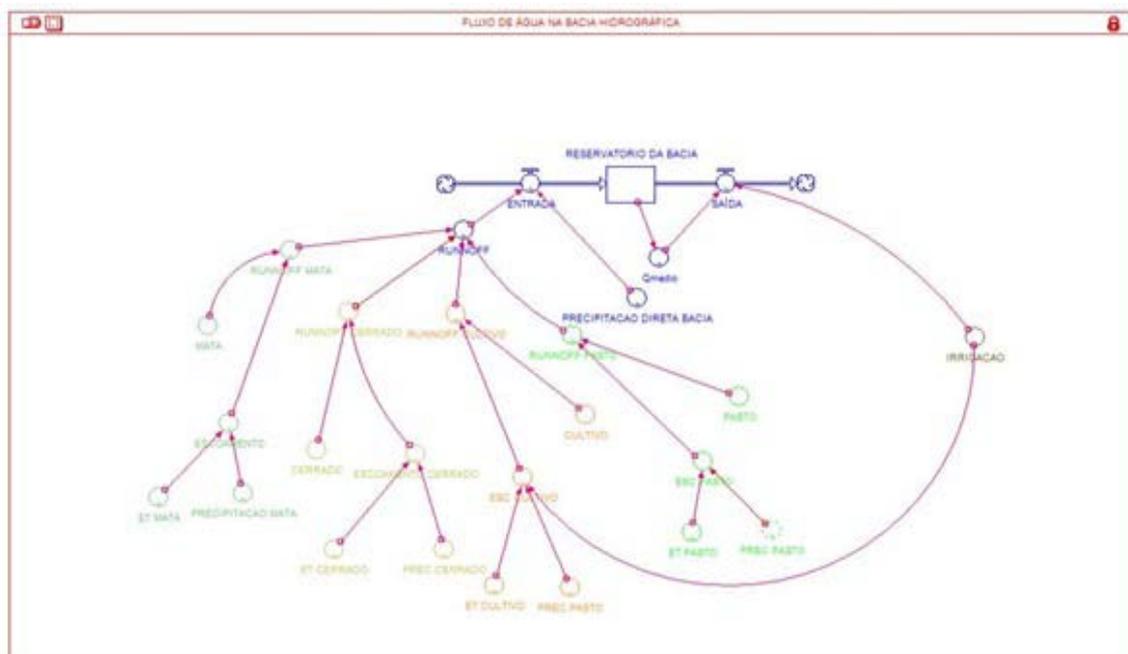
mesma direção. No caso da sustentabilidade dos recursos hídricos nessas bacias em estudo, torna-se um ciclo vicioso, que provoca uma piora do sistema, posto que ficou evidenciado que as atividades produtivas exercem forte pressão sobre a oferta do recurso água, e a piora da qualidade da mesma.

#### ✓ Etapa de formalização

Nesta etapa se efetuou a formalização do diagrama anterior empregando para isto uma linguagem matemática. O ponto de partida foi a elaboração do diagrama de estoque e fluxo, por base ao qual se escreveu as equações do modelo.

### 3.4. Diagrama de estoque e fluxo

O diagrama causal do modelo (Figura 2) permitiu desenhar o diagrama de estoque e fluxo das bacias hidrográficas em estudo, que de forma mais detalhada descreve o funcionamento do sistema representado (Figura 3), tendo por base os dados da estação fluviométrica da Fazenda Barra da Água (EFFBE).



**Figura 3.** Diagrama de estoque e fluxo das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. Fonte: Souza *et al.* (2012).

A conversão se deu da seguinte forma: uma vez representados no diagrama causal, os componentes principais do modelo de oferta e demanda de recursos hídricos das bacias (água, pastagem, mata, irrigação, cerrado, reservatórios, urbanização/população e agricultura/cultivo), assim como as relações principais existentes entre eles, que de forma abstrata é a base do enfoque do pensamento sistêmico, construiu-se e procedeu-se a sua formalização em linguagem de Dinâmica de Sistemas, auxiliados pelas ferramentas empregadas na construção de modelos que se elaboram a base deste enfoque. As estruturas básicas para o desenho do diagrama são os estoques e os fluxos (Figura 2).

Os estoques representam no modelo as acumulações de recursos e também as restrições destes. Representam as condições, informando como está a situação; e suas variáveis que acumulam trocas influenciadas pelos fluxos. Neste caso, os estoques constituem por um lado, a água limpa que se denominará “água” e representa a oferta hídrica do modelo; e por outro, nesse trabalho, será considerado principalmente, as áreas de “Cultivo” e “Irrigação”, determinam a demanda de água requerida pelos diferentes setores econômicos e sociais das bacias.

Os fluxos se representam com válvulas – identificam as ações que acumulam e, ou, esvaziam os estoques, e dizem como os fatos estão se desenrolando – são variáveis dependentes do tempo. Como se pode observar na Figura 3, neste modelo se tem os fluxos nomeados com taxas que são controladas pela (s) taxa (s) da (s) variável (eis) em conexão, que usualmente é uma variável auxiliar ou uma constante, e que estão alimentando a oferta hídrica. Esta oferta está constituída pelas águas superficiais (ribeirão Entre Ribeiros e rio Preto) e seus respectivos escoamentos.

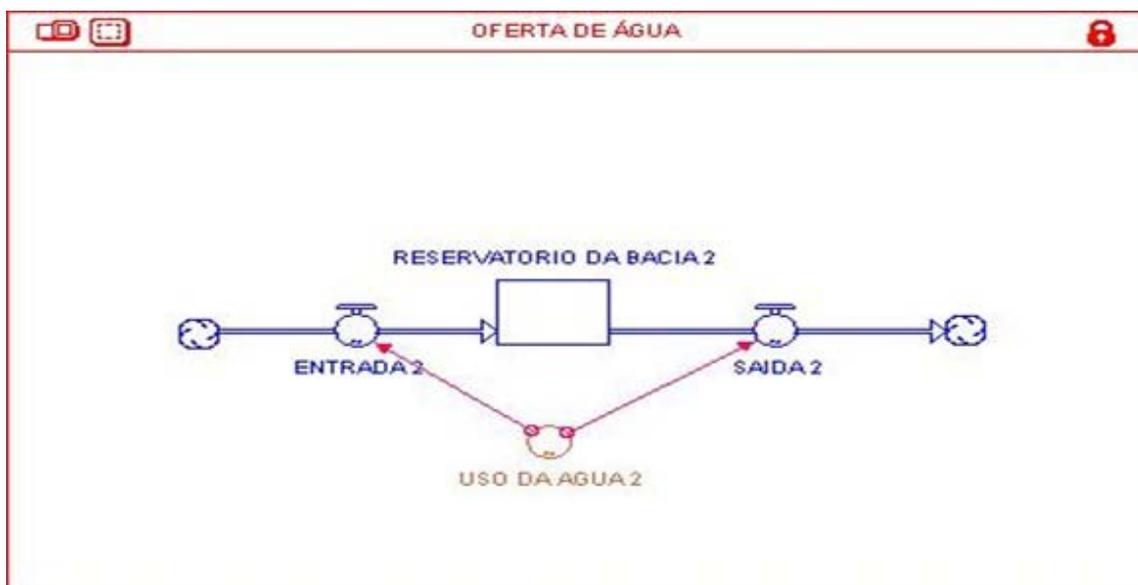
Por outra parte têm-se os fluxos que representam a demanda hídrica do modelo. Estes estão compostos pelos requerimentos de água dos setores agrícola, pecuário, população urbana e rural, e pela demanda ambiental, constituída esta última, pela vazão mínima que o rio deve ter, para manter a vida dos ecossistemas correspondentes - equivale a uma oferta mínima de água limpa. Neste estudo, será considerado vinte por cento (20%) da vazão média. Estas demandas têm um fluxo de saída que alimenta o estoque de água residual.

Os outros elementos do modelo evidenciados no diagrama causal, e que determinam os fluxos, convertem-se em variáveis auxiliares ou constantes, tal como o consumo de água do setor agrícola, pecuário, populacional, entre outros.

As relações entre as variáveis, que no diagrama causal se estabelecem por intermédio de flechas, neste diagrama se indicam da mesma forma, sendo chamados de conectores. Estes vinculam os estoques e as variáveis auxiliares ou as constantes; os estoques aos reguladores de fluxos; e as auxiliares ou as constantes a outras auxiliares ou constantes.

### 3.5. Descrição matemática do modelo

Os modelos de dinâmica de sistemas são construídos por meio de um conjunto de equações diferenciais, que são matematicamente resultantes ao longo de um período por um algoritmo que gera comportamentos dependentes do tempo para as variáveis contidas no modelo. Nesse estudo, para se determinar a consistência dimensional do modelo, cuja equivalência se pode constatar durante todo o período da simulação e em cada um dos anos dos cenários avaliados, a seguinte equivalência foi verificada (Figura 4).



**Figura 4.** Oferta de água igual à soma da demanda de água com a saída.

Fonte: Souza *et al.* (2013).

A seguir, serão apresentadas as equações necessárias à composição do modelo (ORELLANA GONZÁLEZ, 2006). Todas as fórmulas estão embutidas no programa e não estão aqui relacionadas. Observa-se abaixo, algumas equações que foram utilizadas:

### 3.6. Estimativa da demanda de água (em milhões de metros cúbicos)

$$D = DPOPULACIONAL + DAGP + DAMB \quad \text{(Equação 1)}$$

Em que:

D = quantidade total de água demandada;

DPOPULACIONAL = engloba por uma parte, a demanda urbana de água para consumo doméstico, e por outro, a demanda rural de água usada para os mesmos fins;

DAGP = demanda agrícola e pecuária de água;

DAMB = demanda ambiental de água.

### 3.7. Demanda ambiental de água

A demanda de água para a proteção do meio ambiente e dos ecossistemas será assumida como um valor constante. Para este estudo, se considerará igual a um volume mínimo registrado na estação pluviométrica sobre as bacias hidrográficas do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros, denominada com o código 152 da rede existente no Estado de Minas Gerais que engloba uma série de cinquenta 50 anos (TEIXEIRA SOUZA, 1993). Na verdade, tomar-se-á como base a vazão mínima registrada nesse período.

### 3.8. Estimativa da oferta de água disponível

$$S = SSUP + SRET \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que:

S = oferta total de água disponível;

SSUP = oferta disponível de água superficial;

SRET = oferta disponível de águas de retorno.

### 3.9. Índice de sustentabilidade

É fundamental a criação desse índice, posto ser um dos critérios para avaliar se o funcionamento de um sistema de recursos hídricos se encontra com confiabilidade, vulnerabilidade e capacidade de recuperação (XU *et al.*, 2002). Nesse estudo, será implementado um índice de sustentabilidade (IS) definido como a relação entre um possível déficit de água com respeito à oferta correspondente na mesma região, com os seguintes critérios:

$$IS = \left\{ \begin{array}{l} (S - D) / S \quad \text{se } S > D \\ 0 \quad \text{se } S \leq D \end{array} \right. \quad \text{(Equação 3)}$$

Em que:

D = demanda de água;

S = oferta disponível de água.

Caso o valor de IS seja maior que 0,2, indica-se um baixo ou nenhum estresse na oferta de água, o que implica que a demanda de água é menor ou igual a 80% da oferta potencial de água. Valores menores a 0,2 refletirão condições de vulnerabilidade, o que supõe que a demanda de água é maior que 80% da oferta potencial de água. Valores iguais a zero indicam que a oferta de água é insustentável, o que sugere que a demanda de água é igual ou excede a toda a disponibilidade de recursos hídricos locais.

O Diagrama de estoque e fluxo das bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto representa um modelo de simulação explícita do sistema de Recursos Hídricos das referidas bacias. As equações “time”, expressas como equação diferencial implícitas no Modelo da água do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, encontram-se no ANEXO A de Souza (2008).

- **Estruturas matemáticas implícitas nos modelos**

Segundo Duvoisin (2000), quando se observam a desintegração (variação) de uma substância radioativa, constata-se que o número de desintegrações por unidade de tempo é proporcional à quantidade de substância presente em cada instante. Assim X representa a quantidade de substância presente em cada instante t; a equação diferencial que representa o fenômeno é dada por  $dx/dt = -kx$  (1).

A equação  $dx/dt$  representa a variação instantânea (desintegração) sofrida pela substância e  $k$  representa o coeficiente de proporcionalidade, que é constante dependendo de cada tipo de substância radioativa; portanto na utilização de sistemas quantitativos de modelagem, surgem equações diferenciais, porém para transformar essas equações em linhas de programa, para ser modelada no computador o mais adequado é transformar as equações diferenciais em equações de diferenças.

Ao se analisarem as variações em um modelo simplificado, pode-se observar que a diferença entre as duas medidas sucessivas da substância é proporcional à quantidade de substância existente na primeira medida, isto é:

$$X(t+\Delta t) - X(t) = KX(t) \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

$X(t)$  é a quantidade de substância medida no tempo  $t$ ; e

$X(t+\Delta t)$  é a quantidade medida um tempo depois, ou seja, o tempo varia discretamente.

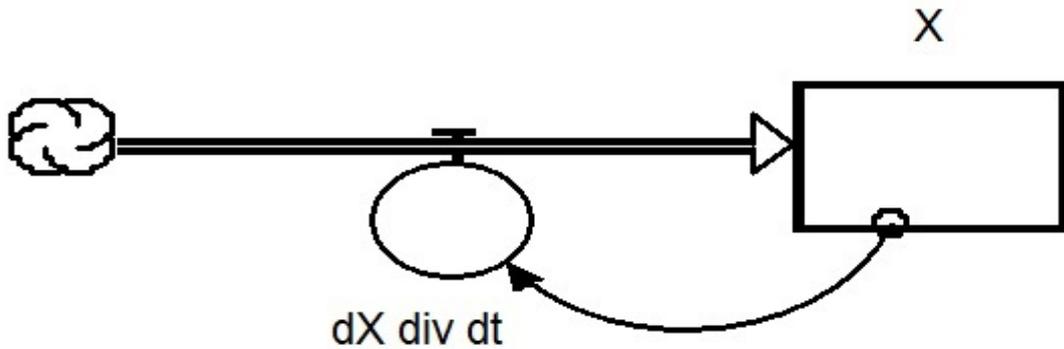
Pode-se observar que as leis de formação dos dois modelos são idênticas, embora em (1) seja uma equação diferencial e em (2) uma equação de diferenças. A analogia ocorre porque a derivada de uma função é definida como o limite de um quociente de diferenças

$$dX/dt = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta X/\Delta t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} [X(t+\Delta t) - X(t)]/\Delta t \quad \text{Equação (5)}$$

e quando  $\Delta t \rightarrow 0$ , o caso discreto (equações de diferenças) aproxima-se de um limite que é o caso contínuo (equações diferenciais). Portanto, um mesmo problema pode ser analisado do ponto de vista das equações diferenciais, ou do ponto de vista computacional, usando-se as equações de diferenças. Para trabalhar com modelagem computacional, descrevemos a equação de diferenças em forma de conjunto:

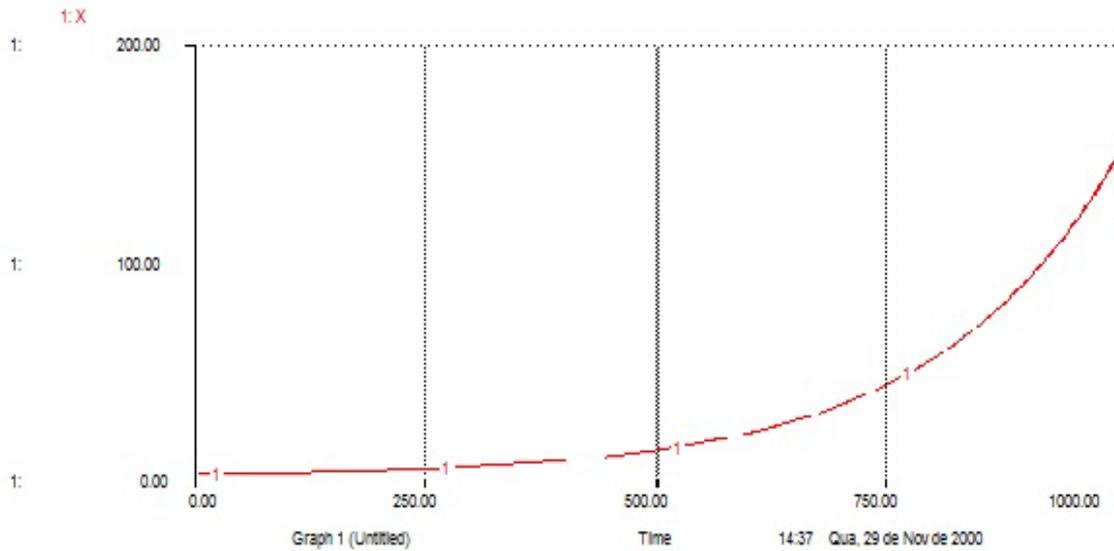
$$\begin{aligned} t &= t + dt \\ dX &= K * X * dt \\ X &= X + dX \end{aligned} \quad \text{Equação (6)}$$

Que se repete de modo iterativo, a partir de certo  $t$  e certo  $x$  iniciais. Esta estrutura é chamada de exponencial e tem a seguinte representação semiquantitativa (Figura 5).



**Figura 5.** Representação semiquantitativa da equação de diferenças de crescimento exponencial. Fonte: Duvoisin (2000).

A representação gráfica é a seguinte (Figura 6):



**Figura 6.** Crescimento exponencial. Fonte: Duvoisin (2000).

A equação diferencial pode ser solucionada analiticamente assim:

$$\int_{x(0)}^{x(t)} [dX/x] = \int_0^t K^* dt \Rightarrow \ln X \Big|_{x(0)}^t = k^* t \Big|_0 \Rightarrow \ln X(t) - \ln X(0) = kt \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln X(t)/X(0) = K^* t \Rightarrow X(t)/X(0) = e^{k^* t} \Rightarrow X(t) = X(0) * e^{k^* t},$$

Cuja representação gráfica é idêntica ao modelo computacional utilizando equações de diferenças.

Outros modelos podem ser estudados, por exemplo: processos lineares ou exponenciais construídas; ou processos que geram equações de segunda ordem; ou ainda processos logísticos de caos; cada um deles podendo ser trabalhado com equações diferenciais ou de diferenças. O Programa STELLA utiliza equações “time”, que se orientam por essa lógica.

## **4. Resultados e discussão**

### **4.1. Validação do modelo matemático**

Os modelos de simulação dinâmica se prestam para a realização de descrições abstratas da realidade, tornando possível a representação de problemas complexos, caracterizados como dinâmicos e não-lineares. Nesses modelos existem relações de retroalimentação ou retardos (“delays”); ou seja, muitas vezes o impacto de uma política não aparece no momento em que é implementada; pode aparecer posteriormente, de forma temporal e, ou, espacialmente distribuído. O objetivo das simulações dos modelos é tornar evidentes as pressuposições conduzidas sobre o mesmo (ORELLANA GONZÁLEZ, 2006).

Sobre esses aspectos, cabe considerar dois importantes conceitos - Cumulatividade e Sinergia. Tais conceitos partem do princípio de que as mudanças ao meio ambiente que são causadas por ações antrópicas em combinação com outras ações do passado, presente ou futuras, podem de alguma forma, potencializar os efeitos ambientais em uma dada região, a partir de processos interativos e sobreposições sucessivas de processos antrópicos (EPE, 2008).

Os efeitos cumulativos são entendidos como aqueles resultantes da simples soma de outros que vão se sobrepondo em diferentes escalas temporais e espaciais por interação, combinação e composição, de tal maneira que os efeitos gerados frequentemente superam a simples soma dos impactos prévios isolados. Já os sinérgicos ocorrem de tal forma que os efeitos gerados a partir dessas interações, combinações e composições frequentemente diferem da simples soma dos impactos prévios isolados (*ibidem*).

A sinergia ocorre, portanto, quando um impacto associado a um determinado recurso natural, tal como os recursos hídricos, potencializa efeitos sobre outros recursos e, ou, aspectos sociais, tais como a biota aquática, a irrigação, a pesca ou a qualidade de vida da população. Por este motivo, neste trabalho, as ações de identificação destes efeitos foram desenvolvidas de forma integrada à atividade anterior, por meio dos dados do trabalho de Latuf (2007); a partir dos cenários propostos nesse estudo, buscando identificar em quais destes cenários as mudanças climáticas e as alterações de uso das classes de solo, que produzirão novas demandas por “Água”, possam provocar impactos de caráter cumulativo e sinérgico.

Assim, para atingir da melhor forma possível esse objetivo, é importante que o comportamento real do sistema esteja reproduzido pelo modelo. Não obstante, como comentado por Grcic; Munitic (2006), ao elaborar um modelo, algumas características de sua dinâmica não são quantificáveis, razão porque os dados qualitativos e empíricos são usados, perdendo então a eficácia de testes de validação quantitativa. Como resultado dessa questão previamente exposta, levanta-se a necessidade de realizar uma validação qualitativa do modelo, procurando estabelecer de maneira prioritária, se este é útil para o objetivo proposto tal como sustentando por Ford (1999).

Para Sterman (2000), os modelos não representam a realidade, razão porque sua veracidade não pode ser constatada: são suscetíveis de falsificação ou refutados de acordo com alguns testes ou teorias. É importante, então, e deve-se tornar prioridade, identificar o modelo que da melhor maneira alcance o objetivo do problema a ser estudado e determinado. Nesse contexto, torna-se prioritário identificar de forma clara e precisa o problema a ser estudado e contextualizá-lo a fim de especificar seus objetivos reais.

De acordo com Forrester (1990), na Dinâmica dos Sistemas a validação dos modelos de simulação se julga de acordo com suas conveniências e utilidade. É preciso confiar em seu comportamento sob circunstâncias limitadas e de acordo com um objetivo específico. Para Ruth; Hannon (1994), o modelo de simulação dinâmica deve somente capturar os fatores essenciais de um sistema real, sendo necessário abstrair os demais fatores. Sua validação deve ser considerada de acordo com a consistência lógica de sua estrutura interna.

Alguns testes e procedimentos são usados a fim de dar ao modelo de simulação dinâmica, maior confiabilidade, além de evidenciar suas limitações. Há de se considerar em qualquer um desses testes: a) a padronização da documentação dos componentes do modelo; e b) a replicação do modelo e da disponibilidade de suas equações para revisões. Entre os que se destacam, podem-se citar (FORRESTER, 1990; FORD, 1999; STERMAN, 2000):

- ✓ Testes de Erros Mecânicos: usado na busca de erros mecânicos da simulação a fim garantir a estabilidade inicial;
- ✓ Teste de Robustez: refere-se às condições extremas e se aplica com o objetivo de se avaliar a consistência do modelo;
- ✓ Teste de Consistência Dimensional: análise dimensional das equações do modelo;
- ✓ Teste de Políticas: É usado para indicar e descobrir formas de mudar o desenvolvimento do sistema;
- ✓ Testes de Sensibilidade: analisa a solidez das políticas por intermédio da variação dos valores dos parâmetros do modelo;
- ✓ Teste do Limite: indica se os limites do modelo e os conceitos que o descrevem, representa de forma apropriada o sistema real sob o estudo.

Neste estudo, buscaram-se representar as inter-relações existentes da mudança das classes de uso do solo e suas influências sobre os fatores climáticos e os ecossistemas aquáticos, nas bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. Por meio de uma análise do comportamento hidrológico, examinou-se se os recursos estão sendo usados de forma sustentável.

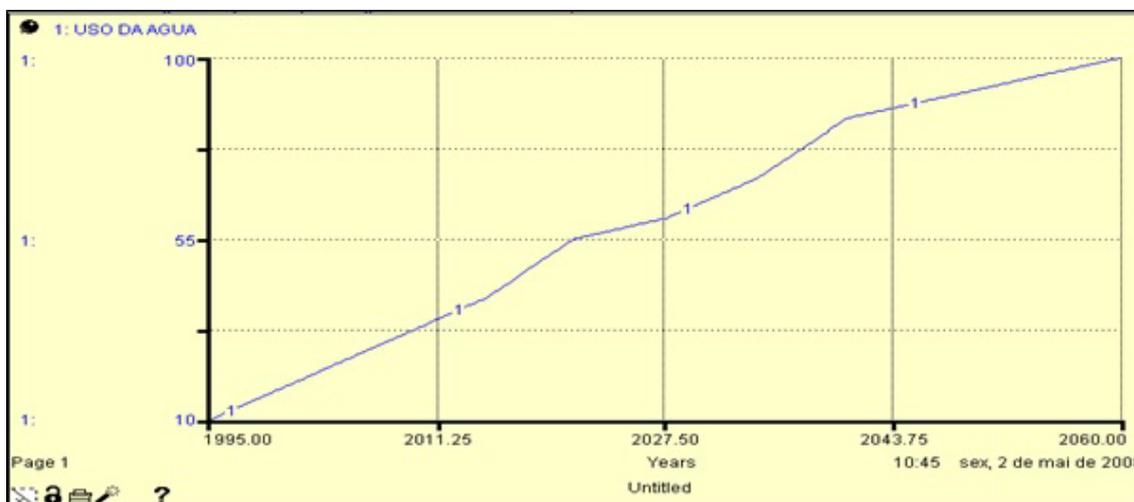
Este sistema é constituído por um conjunto de elementos organizados em torno do objetivo do ajuste e da distribuição da água para tornar possível a vida humana e dos demais componentes ambientais, bem como a produção agropecuária, visando à melhoria da condição socioeconômica regional. Construiu-se o sistema, os elementos-chaves que o compõe foram previamente identificados, e se utilizaram os procedimentos anteriormente mencionados.

Considerou-se que a dinâmica do sistema é determinada pela demanda dos recursos hídricos, para satisfazer às necessidades da população e do setor agropecuário. Esta demanda compreende as necessidades de água nas citadas bacias e repercute de forma direta a sustentabilidade do sistema. Não se incluiu

a demanda do setor industrial, que é muito reduzida. A demanda ambiental será avaliada posteriormente considerando a vazão mínima; ou 20% da vazão média.

Para alimentar o modelo, entretanto, será utilizada a vazão média, por se entender que a bacia já está altamente antropizada e a vazão mínima, que normalmente é utilizada para a concessão de outorga, não representaria de forma adequada as propostas de sustentabilidade sugeridas por este estudo. Esse fato se justifica quando se analisa pelo lado da oferta, como no estudo realizado por Latuf (2007) durante o período de 1985-2000, onde se verificou que a “Precipitação Direta” na bacia e as vazões máxima, média e mínimas vêm sofrendo significativas reduções.

Durante todo o processo de simulação se conhece a quantidade exata de água requerida por cada setor frente à oferta de água disponível, embora só a “Irrigação” tenha merecido destaque e análise particularizada. Tomando como base os dados de 1995, o comportamento das demandas setoriais foi simulado até 2060, cujos resultados estão representados na Figura 7. Tais dados ilustram a quantificação da demanda da bacia, de acordo com os parâmetros especificados para cada uma das atividades nelas desenvolvidas.



**Figura 7.** Simulação do uso da água (em porcentual) no período 1995-2060 para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Fonte: Souza *et al.* (2013).

Analisando a tendência da curva da Figura 7, observa-se que as demandas hídricas estão aumentando na medida em que a população cresce e

que se aumentam as áreas cultivadas. Para se evidenciar o crescimento populacional, o município de Paracatu apresentava uma população de 6.304 habitantes em 1970, passando para 75.216 habitantes (63.014 de população urbana) em 2000 (IBGE, censos de 1970 e 2000).

Dessa forma, caso nenhuma medida regulatória, estruturadora ou indutora de comportamento seja adotada e implementada, observa-se na Figura 7 que no ano de 2011, aproximadamente 35% da água disponível já estará sendo consumida; em 2027, aproximadamente 60%; ou seja, a tendência apontada pela simulação do modelo indica o consumo excessivo do recurso água.

Este resultado é coerente com a lógica de que na medida em que cresce a população e as áreas cultivadas irrigadas se intensifica, maior volume de água é requerido para satisfazer às suas respectivas demandas. Por outro lado, o crescimento populacional que tem estimulado o aumento das áreas de “Cultivo”, vem provocando a redução das áreas de “Cerrado”, como pode ser observado no Quadro 1, tendo como referência os dados de uso do solo da Estação Fluviométrica Fazenda Barra da Água (EFFBE), no período de 1985-2000.

**Quadro 1.** Uso do solo na área de drenagem da EFFBE no período 1985-2000.

Uso do solo	Área (Km <sup>2</sup> )			Variação (%)	Cobertura das classes (%)	
	1985	2000	Diferença	85 a 00	1985	2000
“Cerrado”	635,23	332,55	- 302,68	- 47,65	39,93	20,90
Cultivo	154,68	461,09	+306,41	+198,09	9,72	28,98

Fonte: Latuf (2007).

Observa-se, no Quadro 1 que as áreas de “Cerrado” sofreram uma redução de 302,68Km<sup>2</sup> (-47,65%), enquanto que as áreas de “Cultivo” sofreram um incremento de 306,41 Km<sup>2</sup> (+198,09%) no período 1985-2000. Assim, pode-se esperar que ocorresse ainda maior redução das vazões mínimas; ou seja, compromete a oferta de água necessária para se atender à demanda

ambiental, e o índice de sustentabilidade, provavelmente, apontará a tendência da exaustão do recurso água.

Isso pode ser justificado pelo estudo realizado por Latuf (2007), quando se considerou as diversas classes de uso do solo, tais como “Urbanização” e “Cultivo” - foi verificado que com os seus incrementos se espera uma tendência de aumento das vazões máximas, devido à alta taxa de impermeabilização do solo. Ao mesmo tempo, observou-se que houve redução das vazões mínimas, devido à menor infiltração de água no solo e conseqüente deficiência na realimentação dos aquíferos. Observou-se, ainda, tendência de redução para as vazões médias - devido ao acelerado escoamento superficial nestas áreas, as precipitações foram convertidas em enxurradas.

Há de se considerar, ainda, para agravar essa situação, de acordo com Costa; Botta; Cardille (2003), com a substituição de “Cerrado” ou “Mata” por “Pasto”, diminui a interceptação da água da chuva, o que aumenta o escoamento superficial e diminui a infiltração de água nestas áreas, causando uma redução das vazões média e mínimas e provocando o aumento da vazão máxima. Como agravante, considere-se que “Pasto” não consegue manter a mesma taxa evapotranspirométrica que “Mata”. Como tem um dossel linear, diferentemente de “Mata” e “Cerrado”, a dinâmica do ciclo hidrológico será alterada em face da ausência de movimentos de turbulências dos ventos.

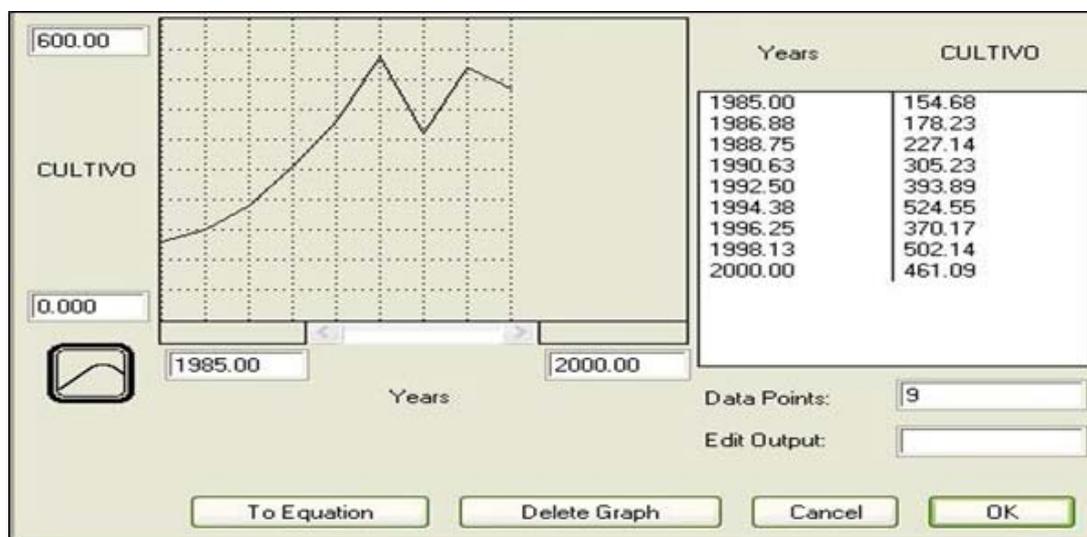
O mesmo pode ser esperado com relação ao uso do solo “Cultivo”: devido a este estar relacionado com uma menor proteção da superfície do solo, principalmente em cenários de mudanças climáticas com elevação de temperatura, possibilitará o aumento do encrostamento superficial e conseqüente aumentos de escoamento e da vazão máxima. Ao contrário, para as vazões média e mínimas, espera-se sua redução.

O processo de validação de um modelo baseado em Dinâmica de Sistemas tem como alvo principal estabelecer a sua validade estrutural com respeito aos objetivos para que ele fosse construído: este é o aspecto determinante. Isto porque a intenção de um estudo conduzido sob essa ótica é servir de base para a avaliação de diferentes estratégias e políticas que permitam melhorar o desempenho do sistema (ORELLANA GONZÁLEZ, 2006).

Contudo, aperfeiçoar o comportamento de um sistema, só tem sentido a partir do momento em que se tem a confiança na estrutura do modelo. Uma vez

que este é construído de forma confiável, devem-se efetuar testes de validação, cuja ênfase deve ser orientada prioritariamente aos padrões da predição, mais do que a resultados precisos, particularmente, quando se trata de modelos projetados para fornecer uma visão de longo prazo do comportamento dos sistemas em estudo (BARLAS, 1996).

Nesse estudo a calibração do modelo foi realizada por intermédio de determinados parâmetros para os quais existiam dados registrados no período 1985-2000. Nesta simulação a dinâmica do crescimento da área cultivada (Figuras 8 e 9) e o crescimento da prática de irrigação (Figura 10).



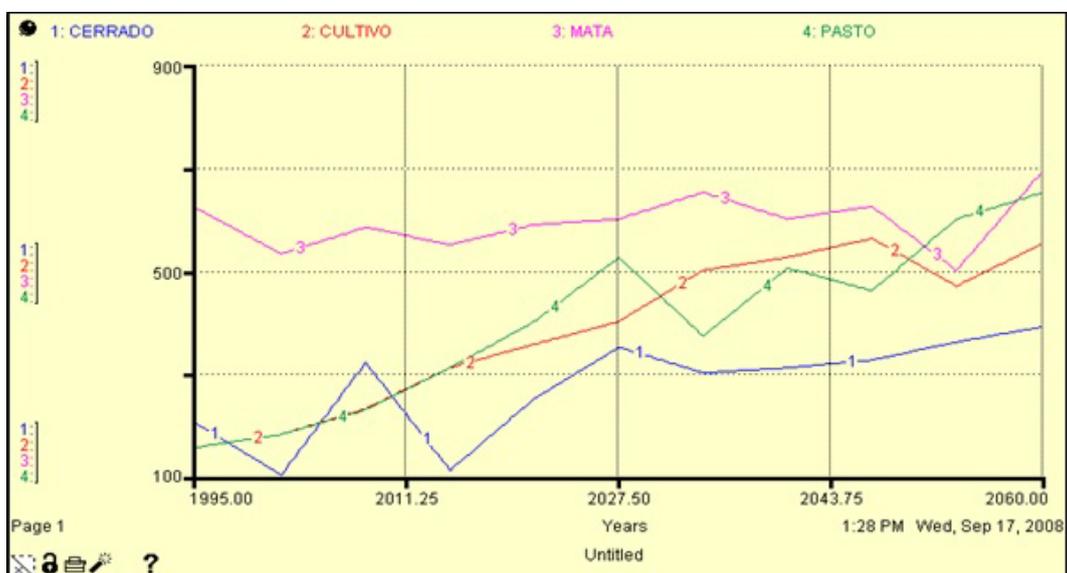
**Figura 8.** Crescimento da área cultivada na área de drenagem da EFFBE (1985-2000). Fonte: Dados compilados Censos Agropecuários do IBGE (1970, 1975, 1980, 1985 e 1996).

Baseado no trabalho de Latuf (2007) foi selecionado para a realização deste trabalho duas “Estações Fluviométricas” localizadas nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, respectivamente a estação Fazenda Barra da Égua (42435000) e Porto dos Poções (42600000). O principal motivo dessa escolha se deve ao fato de que ambas as estações representam as características das bacias onde se inserem: tem a maior área de drenagem; possui maiores conflitos pelo uso da água; e onde ocorreram as modificações mais significativas nas classes de uso do solo. Dessa forma, subsidiará posteriores associações entre modificações do uso do solo e comportamento

hidrológico, devido ao seu maior percentual de cobertura de área de drenagem, além de estarem localizadas no ponto mais inferior de cada uma das bacias; ou seja, traduzem todas as modificações sofridas à montante.

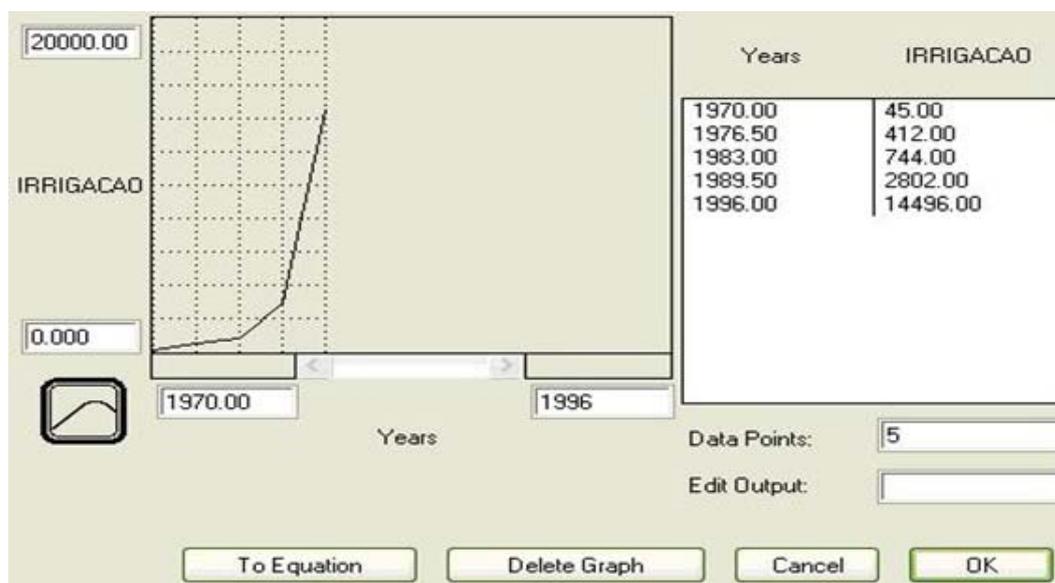
Verifica-se que o comportamento do modelo correspondeu de forma satisfatória aos dados disponíveis. Contudo, é importante assinalar que nenhum modelo pode ser 100% validado. Isso porque as variáveis incluídas não podem ser precisamente quantificadas, e também, devido às suposições feitas sobre o comportamento esperado dos parâmetros avaliados, posto que frequentemente possa diferir do que acontece, de fato, na realidade. Observa-se na Figura 9 a tendência geral de crescimento das áreas cultivadas nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto.

A validação em Dinâmica de Sistemas é uma prática realizada em cada etapa da modelagem, com o propósito de se detectarem falhas nos sistemas construídos. De acordo com Forrester; Senge (1980); e Barlas (1996), entre os procedimentos formais está a aplicação de testes orientados de comportamento estrutural, entre os quais se tem os testes de condições extremas, de sensibilidade e de relacionamento.



**Figura 9.** Simulação para a dinâmica das mudanças das classes de uso do solo nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros rio Preto e do no período 1995-2060. Fonte: Souza *et al.* (2013).

A Figura 10 reflete a tendência crescente de crescimento das áreas irrigadas na bacia hidrográfica do rio Paracatu no período de 1970-1996.



**Figura 10.** Resultados consistidos do crescimento da área irrigada na bacia hidrográfica do rio Paracatu no período 1970-1996. Fonte: Censos Agropecuários do IBGE de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996.

#### 4.2. Etapa de simulação e aplicação do modelo

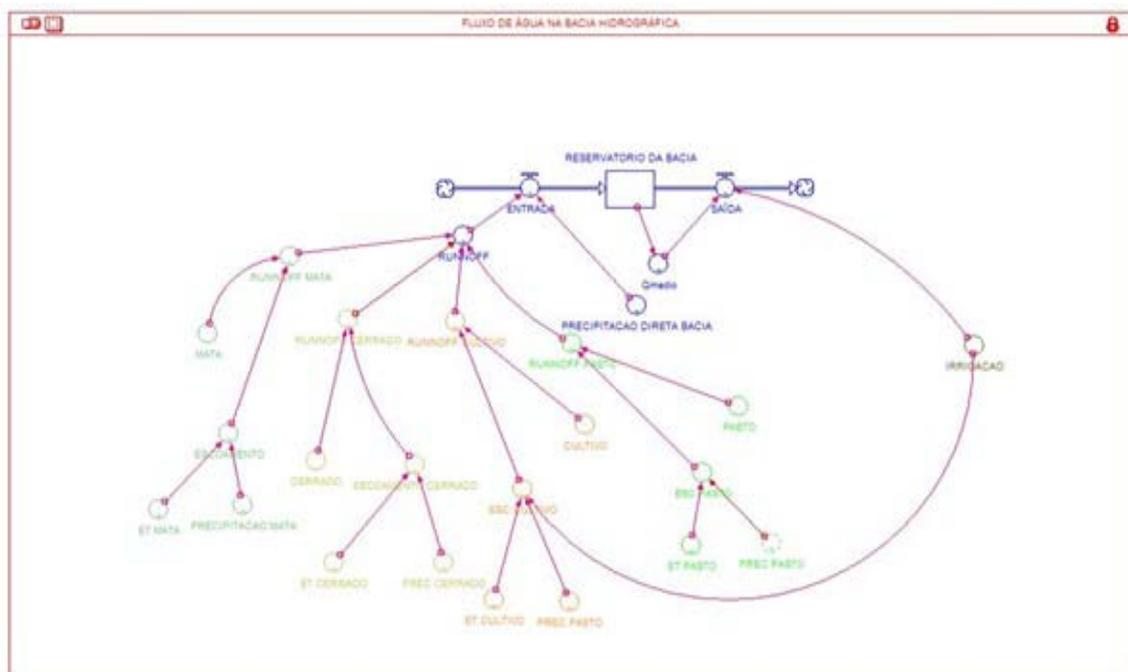
A escala temporal do modelo foi determinada de acordo com a natureza do problema e ao objetivo baseado no qual ele foi desenvolvido. Neste estudo, o objetivo principal foi o de avaliar os impactos e as influências das mudanças do uso do solo sobre os ecossistemas aquáticos, em longo prazo, nas bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, tendo como base de dados a análise do comportamento hidrológico observado no período de 1985-2000 pelo estudo de Latuf (2007).

É necessário já ter uma perspectiva sistêmica dos recursos hídricos no longo prazo. Isso porque se escolherá um futuro, ainda distante e, de fato, apenas quando esse tempo chegar, será possível avaliar se estes recursos estarão sendo usados de maneira sustentável.

O processo de simulação do modelo compreende diferentes cenários de oferta e demanda de água, de acordo com as seguintes especificações:

- ✓ Horizonte temporal: se propõe a um horizonte de 65 simulações. Cada simulação é caracterizada por unidade/ano que determina um horizonte de tempo de 65 anos;
- ✓ Passagem do tempo ou etapa: a passagem do tempo é de uma unidade;
- ✓ Método da integração: se usam equações diferenciais para descrever as relações complexas na dinâmica do sistema, aquelas que são resolvidas por intermédio do método de Euler, que é usado mais frequentemente; e este caracterizou pela adaptação de um fluxo constante durante o passar do tempo ou etapa (STELLA, 2001).

Utilizando-se de uma interface amigável, como a que se apresenta na Figura 11, torna-se fácil a experimentação do sistema. Apresenta-se o modelo representativo dos estoques e fluxos das bacias hidrográficas em estudo. Foi realizada a seleção dos componentes ou “entradas” mais importantes, onde se puderam configurá-los por intermédio dos ícones interativos, razão pela qual se tem um laboratório do sistema que permite simular políticas e cenários, a fim de descobrir novas ideias e a possibilidade da geração de novos questionamentos.



**Figura 11.** Diagrama de estoque e fluxo das bacias hidrográficas do ribeirão Entre RIBEIROS e do rio Preto. Fonte: Souza *et al.* (2013).

O modelo desenvolvido neste estudo foi usado para avaliar opções diferentes da exploração dos recursos hídricos para as bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. Estabeleceram-se diferentes cenários para analisar e avaliar o comportamento das demandas dos setores/atividades econômicos, sociais e ecológicos selecionados: “Cultivo”, “Cerrado”, “Reservatórios”, “Pasto”, “Mata”, “Urbanização”, “Irrigação” e “Precipitação”. Também, foram analisados os efeitos causados por redução ou incremento da oferta de “Água”.

A partir da identificação do sistema em estudo e a definição do problema de forma concisa, precisa e clara, foi escolhido como horizonte de planejamento um período de sessenta e cinco (65) anos (1995-2060). De acordo com Orellana González (2006), o tempo mínimo que é normalmente empregado para a implantação da maioria dos planos de desenvolvimento socioeconômico é de 25-30 anos. Portanto, os resultados desse estudo atendem a esse critério, inclusive analisando um período que ultrapassa os limites exigidos para o planejamento, o que permite uma melhor visão do futuro e facilita o estudo de modelos de gestão estratégica de longo prazo.

A partir dos dados da realidade levantados sobre as referidas bacias, foram elaborados e examinados oito (8) CENÁRIOS (Tabela 1) que compreenderão futuros aumentos de demanda de água, bem como restrições ou aumento da oferta deste recurso, a fim de se avaliar a sustentabilidade do uso do recurso “Água” nessa região:

**CENÁRIO 1** - representa o modelo atual em que se desenvolve o agronegócio. Nele são mantidas todas as tendências atuais de crescimento, de consumo e de oferta de água.

**CENÁRIO 2** - contempla as previsões de mudanças climáticas proposta por Azevedo; Maciel; Pereira (2005), onde se vislumbra um aumento de 1°C na temperatura média do ar e de 6,9% no aumento de precipitação, portanto, aumento da oferta de água, assumindo-se que os demais componentes do modelo não apresentam variações, ou seja, *ceteribus paribus*.

**CENÁRIO 3** - contempla as previsões de mudanças climáticas propostas pelo “Hadley Centre”, o qual sugere uma redução na oferta de água em 20%, devido aos diversos fatores alterados que poderão influenciar no clima.

**Tabela 1.** Cenários propostos e avaliados no presente trabalho.

Cenários	Categoria	Descrição
1	Agronegócio	Agronegócio atual.
2	Mudanças climáticas	6,9% de aumento na precipitação e 1°C na temperatura média do ar (AZEVEDO <i>et al.</i> , 2005), <i>ceteribus paribus</i> .
3	Mudanças climáticas	Oferta de água reduzida em 20% (HADLEY CENTRE, 2008).
4	Mudanças climáticas	Oferta de água aumentada em 25% (Laboratório de Dinâmica dos Fluidos dos Estados Unidos, MASON, 2002); ou aumento da área de “Reservatórios”.
5	Mudanças climáticas	Aumento da temperatura em 1°C e acréscimo da precipitação em 5% (EMBRAPA, 2001).
6	Mudanças climáticas	Aumento da temperatura em 3°C e acréscimo da precipitação em 10% (EMBRAPA, 2001).
7	Mudanças climáticas	Aumento da temperatura em 5,8°C e acréscimo da precipitação em 15% (EMBRAPA, 2001).
8	Incremento da área irrigada	10% de incremento ao ano*.

\* estimativa aproximada baseada na média dos aumentos verificados nas áreas irrigadas levantadas nos Censos Agropecuários de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996, do IBGE, que ocorreram nos municípios que compõem as respectivas bacias em estudo.

Fonte: Souza *et al.* (2013).

**CENÁRIO 4** - contempla as previsões de mudanças climáticas onde a oferta de água seria aumentada em 25%, sugerida pelo Laboratório de Dinâmica dos

Fluidos dos Estados Unidos, *apud* Mason (2002); ou uma elevação da oferta de água em função do aumento das áreas inundadas por “Reservatórios”.

Esse cenário tem um importante significado quando se consideram as alterações de precipitação ocorridas nas bacias, observadas por Latuf (2007). Nesse estudo, verificou-se que a redução das precipitações média diária anual (Pa) e do mês mais chuvoso (Pmc), influenciou na redução das vazões média e máxima. Dessa forma, o aumento das áreas inundadas poderá contribuir para aumentar o tempo de concentração da água na bacia, o que favorecerá a recarga dos aquíferos, aumentando as vazões mínimas e médias, além de reduzir as vazões máximas, contribuindo no controle de enchentes.

Nota-se, ainda, que a precipitação do mês mais seco (Pms) tendo obtido uma tendência de comportamento de elevação, este aumento poderá no futuro representar maiores reduções das vazões mínimas  $Q_7$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ . Isso comprova que o uso consuntivo de água pelo aumento das áreas de “Cultivo” associadas às alterações das classes de uso do solo na área de estudo, têm produzido efeitos sobre o clima e no comportamento do ciclo hidrológico e, conseqüentemente, influenciado nas reduções destas vazões. Daí a importância de se trabalhar esse cenário que poderá ser uma contribuição futura para a regularização das vazões, desde que aliadas a outras práticas conservacionistas e de uso do solo, o que permitiria o crescimento das áreas irrigadas. Cabe considerar, entretanto, que a “Precipitação Direta” na bacia é influenciada, também, por condições externas à bacia em estudo.

**CENÁRIO 5** - contempla as previsões de mudanças climáticas onde ocorreria um aumento da temperatura em 1°C e acréscimo da precipitação em 5%, de acordo com as sugestões da EMBRAPA (2001).

**CENÁRIO 6** - contempla as previsões de mudanças climáticas onde ocorreria um aumento da temperatura em 3°C e acréscimo da precipitação em 10%, de acordo com as sugestões da EMBRAPA (2001).

**CENÁRIO 7** - contempla as previsões de mudanças climáticas onde ocorreria um aumento da temperatura em 5,8°C e acréscimo da precipitação em 15%, de acordo com as sugestões da EMBRAPA (2001).

**CENÁRIO 8** - contempla um incremento das áreas irrigadas em 10% ao ano. Tal taxa de crescimento foi estimada baseada em uma média aproximada dos aumentos verificados nas áreas irrigadas pelos Censos Agropecuários de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996, do IBGE, que ocorreram nos municípios que compõem as respectivas bacias em estudo, como pode ser observado no Quadro 2.

**Quadro 2.** Áreas irrigadas por município das bacias em estudo.

Municípios	Área irrigada (ha)				
	1970	1975	1980	1985	1996
Formosa	39	787	4.169	4.110	1.874
Cabeceiras	0	229	47	15	805
Cabeceira Grande	-	-	-	-	-
Distrito Federal	1.151	2.086	3.812	5.538	12.591
Unai	111	116	624	6.073	16.851
Natalândia	-	-	-	-	-
Dom Bosco	-	-	-	-	-
Bonfinópolis de Minas	0	2	0	217	1.937
Paracatu	45	412	744	2.802	14.496
TOTAL	1.346	3.632	9.396	18.755	48.554
Crescimento (%)		269%	258%	99,60%	258,90%

Fonte: Censos agropecuários 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996.

Como se discutiu anteriormente, o modelo deste trabalho foi elaborado para simular diferentes cenários de disponibilidade de recursos hídricos. Teve o

propósito de identificar, no longo prazo, a sustentabilidade do sistema sob cenários distintos: tanto concernentes ao abastecimento, como também com respeito às necessidades hídricas dos distintos setores socioeconômicos e ambientais incorporados ao modelo.

O modelo também servirá como uma ferramenta de análise dos impactos socioeconômicos e ambientais que poderiam ocasionar diferentes alterações na oferta e demanda no desempenho do sistema. Para isto, foram estabelecidas diferentes suposições sobre a oferta e demanda de água regional, no período que se inicia no ano de 1995 e se estende até o ano de 2060.

O efeito do aumento da irrigação foi incorporado em todos os cenários propostos. Tal preocupação se deve ao fato de que esta atividade tem sido a que mais interfere no aumento da demanda de recursos hídricos das bacias em estudo.

O crescimento das atividades agrícolas regionais tem incorporado, em condição crescente, como foi verificada no período de 1985-2000, a prática da irrigação. Esse cálculo passa a ter significativa importância dada à influência dessa atividade no acréscimo da produção, via aumento de produtividade: podem ser visivelmente notado nos dados das produtividades regionais do referido setor.

Há de se considerar, se bem manejada, futuramente, a prática da irrigação poderia reduzir a pressão sobre as áreas da classe de uso do solo “Cerrado” – fator que mais influenciou na redução das vazões médias e mínimas. Contudo, a prática da irrigação tem servido para o cálculo das demandas hídricas desse setor, para que se possa estimar sua respectiva tendência.

Neste estudo, os setores industriais e agroindustriais não foram avaliados. Isso porque atualmente são pouco significativos na região em estudo, além de não se terem dados precisos sobre os seus volumes de produção. Contudo, de acordo com dados de toxicidade dos recursos hídricos regionais, já se observam problemas relacionados à poluição hídrica. Há de se considerar, que em face ao crescimento agropecuário e populacional que vêm ocorrendo nessa região, espera-se que em um futuro próximo estes setores aumentem a sua participação como resposta aos programas de estímulo à

industrialização via incentivos fiscais, que visam à geração de renda e empregos para atender ao aumento crescente da população. Dessa forma, apesar dessa nova condição que se delineia, em função do baixo consumo de água apresentado por esses setores, optou-se pelas suas não inclusões no processo de modelagem.

Todavia, caso esse crescimento se manifeste, conhecendo a dinâmica que ocorre no modelo e as interferências que estes setores podem provocar, bastaria incorporar os seus dados ao modelo. Agindo dessa forma, espera-se que em um futuro próximo e com os dados da produção industrial e agroindustrial disponível e confiável, se possa calcular de forma confiável as exigências hídricas anuais, por tipo de produto e pela quantidade de produção.

#### 4.3. Cenários elaborados para a bacia hidrográfica do ribeirão Entre Ribeiros

Baseado no trabalho de Latuf (2007) foi selecionado para a realização do estudo dessa bacia a EFFBE - Estação Fluviométrica Fazenda Barra da Égua (42435000). O principal motivo dessa escolha se deve ao fato de que essa estação representa as características da bacia onde se insere. Além do fato de subsidiar posteriores associações entre modificações das classes de uso do solo, mudanças climáticas e comportamento hidrológico, devido ao seu maior percentual de cobertura de área de drenagem (41,15%) e por estar localizada no ponto mais inferior dessa bacia; ou seja, traduz todas as modificações sofridas à montante de onde está instalada. No Quadro 3 podem-se observar os dados de área e porcentagem da EFFBE em relação à área total do estudo.

**Quadro 3.** Porcentagem da área da estação fluviométrica Fazenda Barra da Égua.

Código	Estação Fluviométrica	Bacia	Área total (km <sup>2</sup> )	Área de estudo (%)
42435000	Fazenda Barra da Égua	ribeirão Entre Ribeiros	1.591	41,15

Fonte: Modificado de Latuf (2007).

Observa-se no Quadro 3 que a EFFBE apesar de cobrir apenas 41,15% da área total da bacia em estudo, das duas (2) estações fluviométricas existentes nessa bacia, é a mais representativa. Ou seja, a análise de seus dados será bastante importante para se avaliar o funcionamento dos ecossistemas locais e suas inter-relações; ou seja, nos permitirá conhecer a dinâmica desses sistemas.

É bom observar que o Programa STELLA considera as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área. Sobre essas relações e as possíveis alterações surgidas nessa bacia em estudo, cabe considerar os conceitos de cumulatividade e sinergia. Tais conceitos partem do princípio de que as mudanças ao meio ambiente causadas por ações antrópicas em combinação com outras ações do passado, presente ou futuras, podem de alguma forma, potencializar os efeitos ambientais em uma dada região. Parece que essa condição está se dando nas atuais condições.

De acordo com Costa *et al.* (2003) e Bruijnzeel (1990), *apud* Latuf (2007), com a substituição de “Cerrado” e, ou, “Mata” por “Pasto” e, ou, “Cultivo”, diminui a interceptação da água da chuva, o que leva a aumentar o escoamento superficial e a diminuição da infiltração nestas áreas, causando uma diminuição das vazões médias e mínimas e aumento das vazões máximas.

Neste sentido, com o solo mais exposto, ficará mais susceptível às ações da energia cinética associada às precipitações e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração tenderá a se reduzir. Tal fato acarretará em aumento do escoamento superficial, com redução da alimentação do aquífero, aumentando, desta forma, as vazões máximas e reduzindo as vazões médias e mínimas. Segundo Tucci (1998), caso o solo permaneça protegido das ações de precipitações diretas sobre a sua superfície, o excedente de precipitação que não é evapotranspirado possui melhores condições de se infiltrar e o aquífero terá uma maior recarga, aumentando, neste sentido, as vazões médias e mínimas e reduzindo as vazões máximas.

É bom lembrar que se faz necessário os conhecimentos de quais classes de usos do solo se agregaram às áreas de outras classes para a

análise das contribuições de evapotranspiração/precipitação. Para a EFFBE, Latuf (2007) constatou que o crescimento das áreas das classes de usos do solo “Mata” e “Cultivo” ocorreram, principalmente, em áreas de “Pasto” e “Cerrado”, respectivamente.

Merece destaque a redução das áreas de “Cerrado” nesta área de drenagem. Deve-se ao avanço da fronteira agrícola, posto que a sua redução em 302,68 Km<sup>2</sup> no período 1985-2000, 91,93% desse total se transformaram em áreas de “Cultivo”. A substituição das áreas de “Pasto” (-78,99 Km<sup>2</sup>), 73,88% desse total se converteu em áreas de “Mata”, que nesse período do estudo, cresceu 73,58 Km<sup>2</sup>.

Com relação à classe de uso do solo “Reservatórios”, segundo Rodriguez (2004), não houve a identificação de nenhuma grande barragem para este fim. Há uma barragem de extenso espelho d’água, utilizada para fins de disposição de rejeitos de mineração, localizada dentro dos limites no município de Paracatu/MG. Neste sentido, o aumento identificado para este uso do solo é caracterizado por pequenas barragens provavelmente utilizadas como reservatórios para alimentação de sistemas de irrigação, principalmente, pivô-central.

Ainda, segundo essa mesma autora, evidenciou-se que na bacia do ribeirão Entre Ribeiros há conflitos de disponibilidade de água para atendimento da demanda de seus agentes consumidores. Nesta área de drenagem, 92% da vazão consumida para a estação fluviométrica Fazenda Barra da Égua são para o atendimento da demanda de irrigação. Em outro estudo, Moreira (2005) evidenciou que para a bacia do rio Paracatu, em seu afluente ribeirão Entre Ribeiros, não há disponibilidade de água para atendimento de novas outorgas de concessão de direito de uso da água até 2010.

#### **4.4. Cenário 1: agronegócio atual**

A Dinâmica de Sistemas é usada como uma ferramenta que auxilia o conhecimento da situação existente e seu possível futuro. Isso possibilita visualizar o comportamento do sistema em estudo, no curto, no médio e no longo prazo, identificando-se assim, aqueles elementos-chave que podem servir como pontos de apoio para a aplicação de políticas que permitam

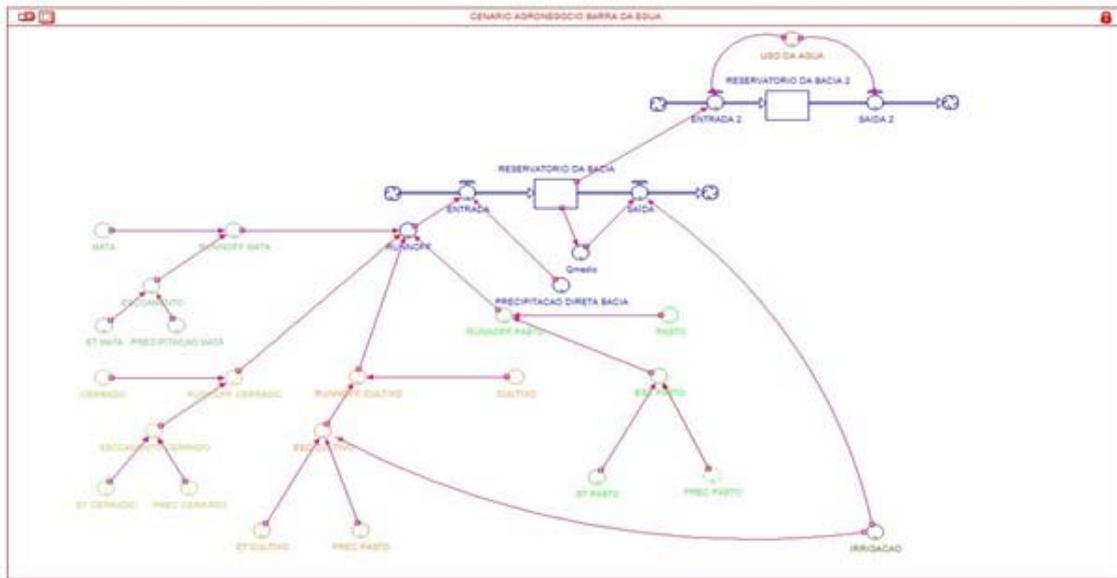
melhorar o sistema, o que auxilia o processo de planejamento do uso dos recursos hídricos.

Esta metodologia permite integrar em um único modelo diferentes perspectivas do uso da água, proporcionar dados sobre o que acontece quando se simulam a implementação de uma determinada política, e também possibilita o manejo de variáveis físicas e sociais dentro do mesmo modelo. A simulação, com variáveis deste tipo, ajuda a determinar impactos físicos e sociais resultantes da execução de políticas de longo prazo.

Dessa forma, a Dinâmica de Sistemas é um enfoque adequado para modelar e simular o comportamento de problemas de recursos hídricos no tempo, permitindo decompô-lo em seus subproblemas. O modelo tem a vantagem de proporcionar informações quantitativas, o que permite analisar vários cenários a fim de escolher a solução mais adequada, sendo que isto se alcança em etapas.

Na primeira etapa se efetuou a simulação do CENÁRIO 1, que compreende o agronegócio atual. Este não considera nenhuma variação nos demais parâmetros no modelo, mantendo-se, portanto, suas tendências atuais. Tal análise é importante posto que serviu de base para estudos posteriores. Na Figura 12 observam-se as relações existentes atualmente no Cenário Agronegócio atual, tendo como parâmetros os dados levantados na EFFBE.

Apesar dos dados acima serem apenas relativos à EFFBE, os parâmetros do CENÁRIO 1 refletem as tendências de crescimento econômico de longo prazo nas bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros. Isto pode ser percebido porque esta estação reflete o mesmo comportamento do uso das classes de solo dos principais parâmetros avaliados, no período entre 1985-2000, que as demais estações fluviométricas monitoradas na referida bacia hidrográfica (LATUF, 2007), como se pode observar no Quadro 4.



**Figura 12.** Modelo de estoque e fluxo da água para o CENÁRIO 1. Fonte: Souza *et al.* (2013).

**Quadro 4.** Significâncias e tendências observadas para o comportamento do uso do solo dos principais parâmetros avaliados, no período 1985-2000, para as estações fluviométricas monitoradas.

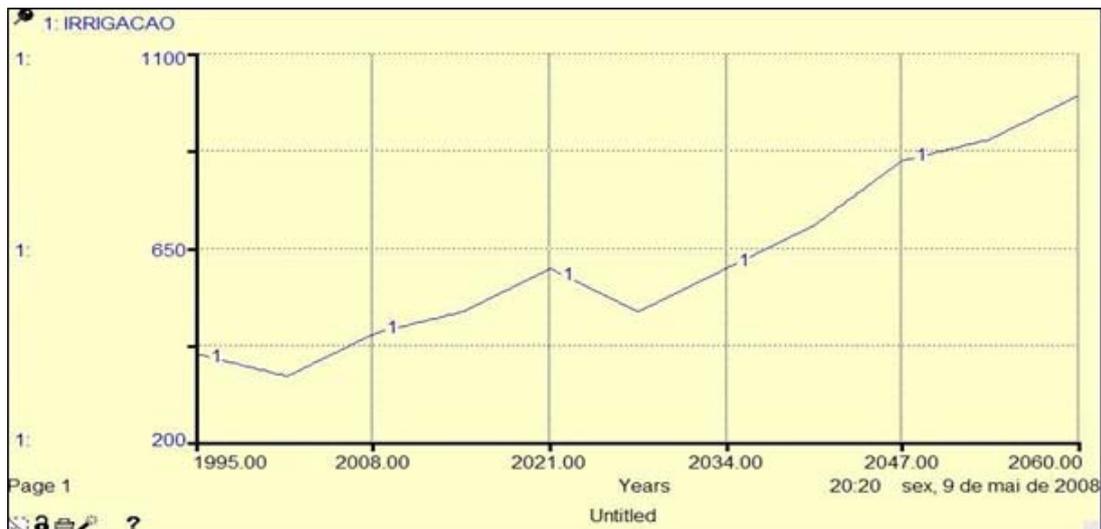
Estações fluviométricas	Significâncias (%) e Tendências (↑↓) ao longo do tempo para as classes de uso do solo					
	Mata	Cerrado	Pasto	Cultivo	Urbano	Reser.*
Fazenda Barra da égua	95,0 ↑	99,8 ↓	75,4 ↓	99,9 ↑	-	78,4 ↑
Fazenda Poções	96,2 ↑	99,4 ↓	68,8 ↓	98,9 ↑	-	58,1 ↑
Fazenda Limeira	58,5 ↓	99,3 ↓	58,4 ↓	99,9 ↑	99,9 ↑	61,4 ↑
Unaí	84,1 ↑	99,0 ↓	66,1 ↓	99,9 ↑	99,9 ↑	60,3 ↑
Santo Antônio do Boqueirão	93,5 ↑	98,9 ↓	74,1 ↓	99,9 ↑	99,9 ↑	54,0 ↑
Fazenda Resfriado	99,8 ↑	90,3 ↓	94,7 ↓	97,9 ↑	-	64,3 ↑
Fazenda Santa Cruz	98,7 ↑	90,3 ↓	71,5 ↓	83,9 ↓	-	30,7 ↑
Porto dos Poções	99,9 ↑	99,9 ↓	69,5 ↑	99,9 ↑	99,9 ↑	64,6 ↑
<b>Média</b>	<b>90,7</b>	<b>97,1</b>	<b>72,3</b>	<b>97,5</b>	<b>99,9</b>	<b>59,0</b>

\*Classe de uso do solo reservatório; - Sem ocorrência; ↑: Crescimento; ↓: Diminuição.

Linhas hachuradas representam estações na bacia do Entre Ribeiros, as demais para a bacia do rio Preto.

Fonte: Latuf (2007).

Uma das vantagens do programa STELLA, a plataforma usada para a simulação do modelo, é que lança os resultados obtidos na forma de tabelas, gráficos ou figuras, como a Figura 13, que indica o comportamento das demandas de água pela irrigação no período analisado nesse estudo (1995-2060) na bacia do ribeirão Entre Ribeiros.



**Figura 13.** Demanda de água para a atividade irrigação ( $\text{mm ano}^{-1}$ ) para a bacia hidrográfica do ribeirão Entre Ribeiros. Fonte: Souza *et al.* (2013).

Considerando-se a demanda de água apenas para o setor “irrigação”, apresentado na Figura 13, no ano de 1995, de toda a oferta de água da bacia, essa atividade demandaria  $400 \text{ mm ano}^{-1}$ . Em função da redução da área cultivada, sofre pequena queda até o ano de 2001, quando volta a apontar tendência de crescimento até o ano de 2021, quando novamente sofre redução; a partir do ano de 2027 a tendência de crescimento acontece até o final do período analisado (2060). Nesse CENÁRIO 1, no ano de 2021 a demanda seria de  $600 \text{ mm ano}^{-1}$ ; em 2047, de  $850 \text{ mm ano}^{-1}$ ; e em 2060,  $1000 \text{ mm ano}^{-1}$ .

Considerando como exemplo o parâmetro “Precipitação do Cerrado”, que é o Bioma da região de estudo, e que a precipitação é a principal entrada de água em uma bacia hidrográfica, ter-se-iam os seguintes valores precipitados nos referidos períodos acima citados, respectivamente:  $990 \text{ mm ano}^{-1}$ ,  $780 \text{ mm ano}^{-1}$ ,  $1000 \text{ mm ano}^{-1}$  e  $600 \text{ mm ano}^{-1}$ . Determinando-se o

índice de sustentabilidade (IS), e se considerando apenas o setor “Irrigação”, têm-se os seguintes resultados (Quadro 5).

**Quadro 5.** Índice de sustentabilidade (IS) considerando apenas os parâmetros “Irrigação” e “Precipitação no “Cerrado”

<b>ANO</b>	<b>DEMANDA (mm ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>OFERTA (mm ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>IS</b>
1995	400	990	0,59
2021	600	780	0,23
2047	850	1.000	0,15
2060	1.000	600	0

Fonte: Souza *et al.* (2013).

Verifica-se nesse CENÁRIO 1, onde se modela o “Agronegócio atual”, que o sistema seria insustentável. Observa-se no ano de 2021, apesar do IS ser de 0,23, significando que o sistema estaria utilizando 77% da oferta potencial de água, já apontaria para uma condição de vulnerabilidade - ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água: nesse cenário ocorre no ano de 2038. No ano de 2047 o IS de 0,15 indica que o sistema já apresenta um forte estresse hídrico, posto estar consumindo 85% da oferta potencial de água. No ano de 2060 o IS é igual a zero; ou seja, a demanda excede toda a disponibilidade dos recursos hídricos locais, o que significa estar ocorrendo a sua depleção por sobre-exploração.

Considerando como exemplo o parâmetro “Precipitação Direta” na bacia, ter-se-iam os seguintes valores precipitados nos referidos períodos acima citados, respectivamente: 1.230 mm ano<sup>-1</sup>, 1.110 mm ano<sup>-1</sup>, 800 mm ano<sup>-1</sup> e 1.000 mm ano<sup>-1</sup>. Determinando-se o índice de sustentabilidade (IS), e se considerando como demandante apenas o setor “Irrigação”, têm-se os seguintes resultados (Quadro 6).

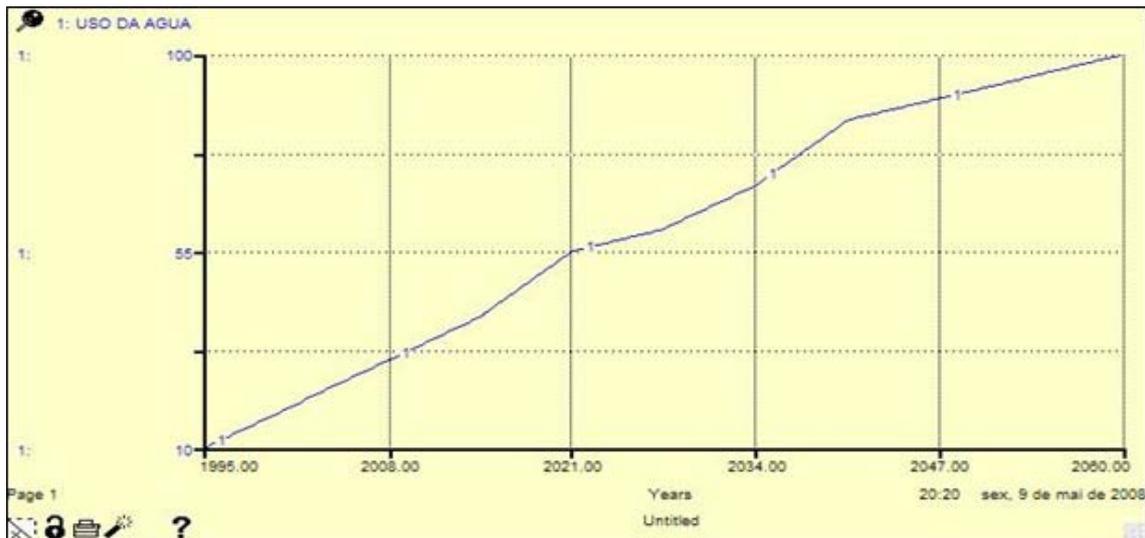
**Quadro 6.** Índice de sustentabilidade (IS) considerando os parâmetros “Irrigação” e “Precipitação Direta”.

<b>ANO</b>	<b>DEMANDA (mm ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>OFERTA (mm ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>IS</b>
1995	400	1.230	0,67
2021	600	1.110	0,46
2047	850	800	0
2060	1.000	1.000	0

Fonte: Souza *et al.* (2013).

Verifica-se assim, no CENÁRIO 1 onde se modela o “Agronegócio atual”, o sistema seria insustentável. Observa-se no ano de 2021, com o IS igual a 0,46, significa que o sistema estaria utilizando 54% da oferta potencial de água, bem acima dos 33% usados no ano de 1995. No ano de 2047 o IS é igual a 0 (zero); ou seja, a demanda excede a toda a disponibilidade de recursos hídricos locais, o que significa estar ocorrendo a sua depleção por sobre-exploração.

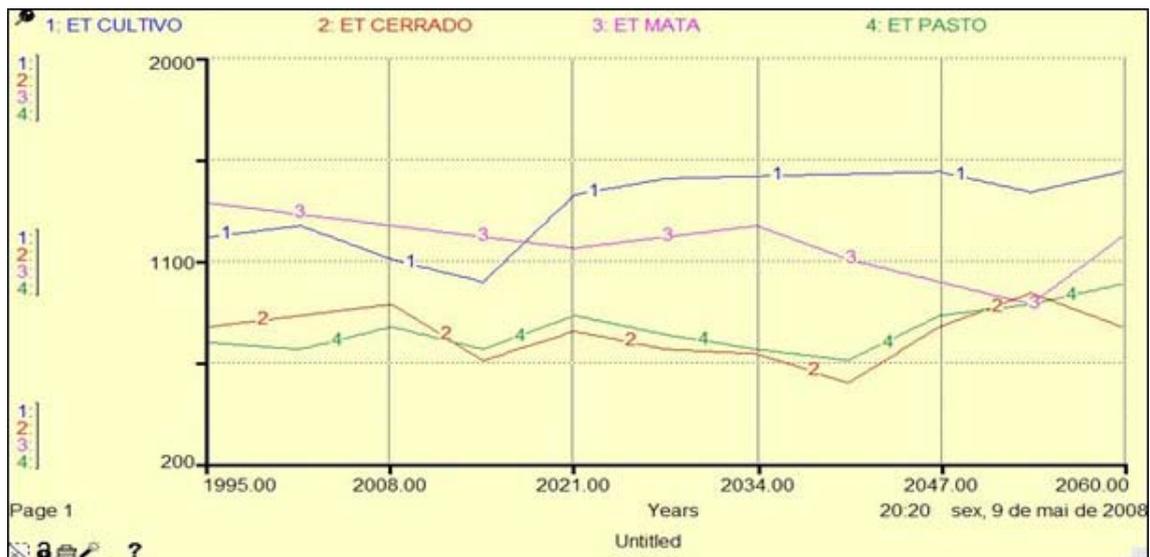
Dessa forma, a insustentabilidade do sistema já estaria confirmada, mesmo se toda a água disponível fosse destinada apenas à atividade de irrigação. Na verdade, a situação seria ainda mais grave posto existir as demais demandas, tais como ambiental, consumo humano e dessedentação animal. Considere-se como agravante à situação atual, o fato de que neste estudo se considerou a vazão média ( $Q_{med}$ ) e não a vazão mínima ( $Q_{7,10}$ ) que é o critério atualmente utilizado na concessão de outorgas no Estado de Minas Gerais; ou seja, no critério atual trabalha-se com valores mais limitados de disponibilidade hídrica. Esse fato pode ser confirmado quando se analisam o uso total de água na bacia, tendo por base os dados da EFFBE (Figura 14).



**Figura 14.** Simulação para o uso da água no período 1995-2060 na bacia do rio Entre Ribeiros. Fonte: Souza *et al.* (2013).

Analisando a Figura 14, observa-se que em 1995 eram consumidos 10% do total de toda a água disponível da bacia. Em 2005 a demanda pelo recurso água já havia se elevado para 25,38%; em 2010, a simulação aponta para um consumo de 33,08%; em 2015, para 41,15%; em 2025, para 58,46%; e em 2039, para uma demanda de 81,54% de toda a água disponível da bacia. Considerando que a condição de vulnerabilidade ocorre quando a demanda de água é superior a 80% da oferta potencial de água, o ano de 2039 aponta para a condição de que o sistema já apresentaria um forte estresse hídrico. Para justificar essa tendência, podem-se observar os dados relativos à evapotranspiração (Figura 15).

De acordo com o estudo de Latuf (2007), no período de 1985-2000, as áreas de “Mata” sofreram um aumento de 11,86%; “Cerrado” uma redução de 47,65%; “Pasto” uma redução de 44,83%; “Cultivo” um aumento de 198,09%; e “Reservatórios” um aumento em sua área de 38,80%. Nesse CENÁRIO 1 verifica-se na Figura 15 que a maior contribuição para a evapotranspiração era a classe de uso do solo “Mata”, no período 1995-2017. Com o aumento das áreas destinadas à “Cultivo”, esse passa a ser o principal contribuinte para a evapotranspiração na área da bacia em estudo.



**Figura 15.** Comportamento da evapotranspiração no período 1995-2060 na bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Fonte: Souza *et al.* (2013).

As áreas de “Cerrado” também apontam uma tendência de redução até o ano de 2040, quando volta a apontar crescimento até o ano de 2053, voltando novamente a decrescer. É bom observar que o Programa STELLA considera as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados de uma determinada área. Dessa forma, quando o modelo aponta para o aumento da contribuição da evapotranspiração do “Cerrado”, está significando que esta classe de uso do solo está sendo substituída por “Cultivo” e, ou, “Mata”, que apresentam maiores taxas de evapotranspiração.

Considerando que a partir do ano de 2053 a contribuição da evapotranspiração do “Cerrado” volta a decrescer, significa que a sua substituição se deu por “Cultivo”, que não conseguiu manter a elevada taxa evapotranspirométrica por condição inerente a essa classe de uso do solo. Caso tivesse sido substituído por “Mata”, a situação seria inversa ao ocorrido. Avaliando a Figura 15 para a evapotranspiração, observaram-se as seguintes variações das categorias de classe de uso do solo em estudo (Quadro 7).

**Quadro 7.** Variação da evapotranspiração no período 1995-2060 para categorias selecionadas de classes de uso do solo no CENÁRIO 1.

<b>Categoria</b>	<b>Pasto</b>	<b>Cultivo</b>	<b>Cerrado</b>	<b>Mata</b>
<b>Variação (%)</b>				
<b>CENÁRIO 1</b>	+ 35,62	+ 24,17	0,0	- 11,11

Fonte: Souza *et al.* (2013).

Analisando o Quadro 7, verifica-se um aumento significativo na taxa de contribuição da evapotranspiração das áreas de “Pasto” e “Cultivo” - o crescimento dessas áreas implicou em redução das áreas de “Cerrado” e “Mata”. Relacionando-o à Figura 15, pode-se afirmar que, sendo as áreas de “Cultivo” as principais responsáveis pela Evapotranspiração nesse cenário, a tendência aponta para a redução da “Precipitação Direta” na bacia, posto que “Cultivo” não consegue manter uma taxa de evapotranspiração aos mesmos níveis que “Mata”.

Tal situação já havia sido observada no trabalho de Latuf (2007), onde os comportamentos das variáveis hidrológicas vazões máxima, média e mínimas, assim como a precipitação anual e a do mês mais chuvoso tiveram tendências gerais de redução ao longo do período analisado (1985-2000), aumentando os períodos de seca. A Figura 16 representa a precipitação na área de drenagem da EFFBE, onde se observa a tendência de redução da “Precipitação Direta” na bacia persistirá até ao final do período analisado (2060).



**Figura 16.** Comportamento da precipitação ( $\text{mm ano}^{-1}$ ) no período 1995-2060. Fonte: Souza *et al.* (2013).

Analisando de forma detalhada a Figura 16, observa-se que no ano de 2008, “Mata” contribuía com um volume de  $1.500 \text{ mm ano}^{-1}$  do volume precipitado na bacia; “Pasto”, com  $998 \text{ mm ano}^{-1}$ ; “Cerrado”, com  $900 \text{ mm ano}^{-1}$ , enquanto que a “Precipitação Direta” na bacia era de  $1.300 \text{ mm ano}^{-1}$ . Ou seja, a “Precipitação Direta” na área da bacia representa uma média da Evapotranspiração de cada uma das coberturas vegetacionais existente, desde que sejam mantidas as demais condições, ou seja, *ceteribus paribus*; cabendo considerar, entretanto, saber existir influências externas que influenciam na precipitação local e regional.

Dessa forma, caso toda a bacia fosse coberta por “Mata”, em função de sua maior capacidade de retenção de água no solo, sua taxa de evapotranspiração seria mais elevada, e provavelmente ter-se-ia um maior volume de chuva na região em estudo, *ceteribus paribus*. Contudo, caso a categoria “Cultivo” continuasse a sofrer aumento de suas áreas irrigadas, como se observou na Figura 16, as taxas de evapotranspiração poderiam ser tão elevadas quanto “Mata”. Para tanto, ter-se-ia de haver disponibilidade de água para irrigação - como foi verificada no Quadro 7, essa disponibilidade não há.

Observa-se, no Quadro 8, que o volume da “Precipitação Direta” na bacia no ano de 1995 correspondia a  $1.230 \text{ mm ano}^{-1}$ ; e no ano de 2060,  $1.000 \text{ mm ano}^{-1}$ ; ou seja, uma redução de 18,70% na “Precipitação Direta” na bacia.

**Quadro 8.** Comportamento da “Precipitação Direta” na bacia para o período 1995-2060 no CENÁRIO 1.

Ano CENÁRIO	1995 (mm ano <sup>-1</sup> )	2060 (mm ano <sup>-1</sup> )	Variação (%)
1	1.230	1.000	- 18,70

Fonte: Souza *et al.* (2013).

Dessa forma, sugere-se que o sistema em estudo tende a exaustão ou depleção de seus recursos hídricos, caso sejam mantidos os mesmos padrões de desenvolvimento e manejo das áreas produtivas. Considerando a ocorrência e o agravamento das condições climáticas, fica imprevisível qual seria o comportamento desse sistema. Por esta questão, serão avaliados cenários considerando os possíveis efeitos de alterações das classes de uso do solo e seus efeitos sobre os recursos hídricos, em cenários com a ocorrência de mudanças climáticas.

Os mesmos procedimentos foram adotados para os demais sete (7) cenários, totalizando os oito (8) cenários estudados. O trabalho completo pode ser encontrado em Souza (2008).

## 5. Considerações finais

- A caracterização das bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto para a elaboração do círculo de causalidade e posteriormente do modelo matemático, foi construída especialmente a partir da seleção de componentes que melhor representassem as condições naturais da bacia, suas potencialidades, seus recursos naturais e as condições socioeconômicas de aproveitamento de tais recursos;
- O modelo apresentou confiabilidade em sua simulação para o período 1995-2060, ao apresentar tendências semelhantes aos dados consolidados do período 1970-2000;

- O modelo matemático de estoque e fluxo da água com o uso do programa STELLA, versão 9.0, permitiu simular modificações de uso do solo nas bacias hidrográficas estudadas;
- A simulação apontou para uma tendência de redução da variável “Precipitação Direta” nas áreas de drenagens das estações fluviométricas avaliadas, Fazenda Barra da Água e Porto dos Poções, respectivamente, referentes às bacias hidrográficas do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, em todos os oito cenários avaliados;
- O comportamento entre as bacias avaliadas foi diferenciado: em cenários de mudanças climáticas a bacia do ribeirão Entre Ribeiros apresenta maiores reduções na “Precipitação Direta” na bacia, provavelmente pelo maior crescimento percentual das áreas de “Cultivo”;
- As variações percentuais da variável “Evapotranspiração” consideraram as inter-relações existentes entre os diversos parâmetros analisados, podendo ser considerada estratégica como indicadora de mudanças de classe de uso do solo e de seus reflexos sobre a precipitação e o comportamento hidrológico;
- A tendência apontada pelo modelo, quando calculado o “Índice de Sustentabilidade” nos cenários estudados, para ambas as bacias hidrográficas, sugere que os sistemas avaliados tendem à exaustão ou à depleção de seus recursos hídricos;
- A substituição de “Cerrado” por outras classes de uso do solo tem sido a principal responsável pela redução das vazões média e mínimas, principalmente quando substituído por “Cultivo” e, ou, “Pasto”;
- A vazão média anual retirada pela irrigação nas bacias do ribeirão Entre ribeiros e do rio Preto apresentaram acentuada tendência de crescimento quando avaliadas na simulação do modelo, sendo o comportamento dessa variável determinado, principalmente, pelo crescimento da área irrigada no período de análise do presente estudo (1995-2060);
- Considerando a importância da irrigação para o aumento de produtividade e geração de emprego e renda estáveis, a ampliação das áreas de reservatórios deve ser estimulada; cabe considerar que não devem ser construídos em rios ou ribeirões. Parece ser a solução definitiva para o

problema relacionado à disponibilidade de água, considerando o fator “quantidade”;

- A concessão de outorgas de direito do uso da água deve, obrigatoriamente, estar associada a um plano de manejo da irrigação e ao uso de sistemas de irrigação poupadores de água;
- O critério generalizado de concessão de outorgas baseado na  $Q_{7,10}$  deve ser reavaliado, considerando as diferenças de comportamentos entre as diversas bacias hidrográficas. Em face do estágio de degradação dos ecossistemas aquáticos, a  $Q_{7,10}$  seria o suficiente, nos dias atuais, na maioria das bacias hidrográficas, para atender simplesmente à demanda ambiental – daí a impossibilidade de usá-la para outros fins. Sugere-se o uso da  $Q_{med}$ ;
- A introdução das atividades silviculturais deverão se dar exclusivamente em áreas de “Pasto”. Contribuirá para o aumento da evapotranspiração e regularização do ciclo hidrológico;
- Relacionado ao tipo de cobertura vegetal, não se deve permitir a substituição de “Cerrado” por qualquer outra classe de uso do solo. O Bioma é atualmente o mais ameaçado de extinção de suas espécies, colocando em risco toda a cadeia trófica. Além disso, as características climáticas da região são fortemente alteradas, como se pôde verificar na simulação do modelo, mesmo quando substituídas por “Mata”;
- O modelo desenvolvido neste trabalho é um valioso instrumento computacional de AIA, configurando-se em uma excelente ferramenta de auxílio aos formuladores de políticas públicas para o planejamento, gestão e monitoramento dos recursos hídricos: para as bacias agora estudadas, como também para outras bacias hidrográficas;
- As diretrizes que deverão ser tomadas no “Gerenciamento dos Recursos Hídricos” nas bacias agora estudadas, também aplicáveis para qualquer outra bacia hidrográfica, correspondem às linhas de ações programáticas que estabelecem formas de atuação e de intervenção sobre processos de agravamento das condições de deterioração da qualidade ambiental. Devem indicar políticas públicas e atividades direcionadas a controlar, monitorar, mitigar ou compensar impactos provocados pelos

aproveitamentos dos recursos hídricos das bacias, dentro de propostas que reflitam os princípios e anseios do “Desenvolvimento Sustentável”.

## 6. Referências Bibliográficas

AZEVEDO, S. V.; MACIEL, L. F. F.; PEREIRA, M. E. **A Bacia do Rio Paracatu, Minas Gerais**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 2005. 9p. Disponível em: [www.futurasgeracoes.com.br](http://www.futurasgeracoes.com.br). Acesso em: 23 nov. 2007.

BARLAS, Y. Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. **System Dynamics Review**, n.12, p.183-210, 1996.

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, n.34, p.4-11, 2003.

DUVOISIN, I. A. **Uma proposta metodológica para o ensino de equações diferenciais utilizando STELLA**. Porto Alegre: Fundação Universidade Federal do Rio Grande/Revista eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental. 2000. 13p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Eds.) **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. 414p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. In: ASSAD, E. D.; CUNHA, G. R. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Universidade Federal de Fitotecnia, v. 9, n. 3, p. 377-385, 2001. (Número especial).

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Avaliação Ambiental Integrada. Disponível em: [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br). Acesso em: 13 set. 2008.

FORD, A. **Modeling the environment**: an introduction to system dynamics modeling of environmental systems. Washington: Island Press, 1999. 401p.

FORRESTER, J. W. **Principles of Systems**. Portland, OR: Productivity Press. 1990.

FORRESTER, J. W.; SENGE, P. M. Tests for building confidence in system dynamics models. In: **System dynamics**. Amsterdam, North-Holland: Legast, Forrester & Lyneis, 1980. 179p.

GRCIC, B.; MUNITIC, A. **System dynamics approach to validation**. Disponível em: <<http://www.efst.hr/gric/b2.html>>. Acesso em: 13 nov. 2006.

**HADLEY CENTRE. Climate prediction and research**. Disponível em: [www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre](http://www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre). Acesso em: 23 abr. 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – Estatísticas do século XX [CD-ROM] (2005). (Rio de Janeiro, RJ: IBGE).

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos Agropecuários**. Brasília: IBGE, 1970, 1975, 1980, 1985 e 1996.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa populacional para 01/07/2005**: considerações. Brasília: IBGE, 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 jan. 2006.

LATUF, M. O. **Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2007.

MASON, C. **Biology of Freshwater Pollution**. New York: Prentice Hall, 2002. 344p.

ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G. **Sostenibilidad de los recursos hídricos en São Miguel do Anta, Minas Gerais**: un enfoque de dinámica de sistemas. Viçosa, MG: UFV, 2006. 104p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, 2006.

RODRIGUEZ, R. D. G. **Metodologia para a Estimativa das Demandas e Disponibilidades Hídricas**: Estudo de Caso da Bacia do Paracatu. Viçosa, MG: UFV/DEA, 2004, 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2004.

RUTH, M.; HANNON, B. **Modeling dynamic economic systems**. New York: Springer-Verlag, 1994. 339p.

SOUZA, M. N. **Degradação Antrópica e Procedimentos de Recuperação Ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v.1000. 376p.

SOUZA, M. N. **Degradação e Recuperação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 371p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SOUZA, M. N. **Dinâmica do uso dos recursos hídricos nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, afluentes do rio Paracatu**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 345p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2008.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais**. Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015, v.5000. 376 p.

SOUZA, M. N. Recuperação ambiental ou recuperação de áreas degradadas: conceitos e procedimentos. p. 11-57. In: SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.133p.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.; SANCHEZ ROMAN, R. M.; SILVA, M. A. A. Dinâmica de sistemas e a modelagem com o uso do programa STELLA dos recursos hídricos da bacia do rio Preto, afluente do rio Paracatu. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.1, n. 1, p.16-42, 2010.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.;

SANCHEZ ROMAN, R. M.; SOUZA, M. A. A. S. Dynamic o systems and the modelling with the use STELLA. **Academic Journals Database**, v. 4, p. 23-37, 2014. Disponível em: <http://www.journaldatabase.org>.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Avaliação do comportamento hidrológico na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, afluente do rio Paracatu, em cenário de mudança climática com o uso do software STELLA. **Engenharia na agricultura**, v.1, p.32-47, 2013.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Avaliação do comportamento hidrológico na bacia do ribeirão entre ribeiros, afluente do rio Paracatu, em cenário de mudança climática com o uso do software STELLA. **Sistema Aberto e Integrado de Informação em Agricultura**, v.107, p.1-3, 2012.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Water resources use dynamics in watersheds of ribeirão Entre Ribeiros and rio Preto, tributaries of the Paracatu river. **Boletim de Ciências Geodésicas** (Impresso), v.17, p.35-46, 2012b.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Dinâmica de sistemas e modelagem dos recursos hídricos da bacia do rio Preto com o uso do programa STELLA. **Engenharia na Agricultura**, v.17, n. 43, p.346-353, 2010b.

STELLA. **Introduction to systems thinking**. NH: High Performance Systems, 2001. 165 p.

STERMAN, J. D. **Business dynamics** – systems thinking and modeling for a complex world. Boston: Irwin MacDraw-Hill, 2000. 982 p.

TEIXEIRA SOUZA, S. M. (Coord.). **Deflúvios superficiais no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Hidrossistemas, 1993. 325p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. UFRGS e ABRH, 1998.

XU, Z. X.; JINNO, K.; KAWAMURA, A.; TAKESAKI, S.; ITO, K. Sustainability analysis for yellow river water resources using the system dynamics approach. **Water Resources Management**, Netherlands, n.16, p.239-261, 2002.

## **Autores**

Maurício Novaes Souza\*

Professor do Instituto Federal do Espírito Santo e do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Campus de Alegre - Caixa Postal 47, CEP: 29500-000, Alegre-ES.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)

## CAPÍTULO 4

---

### **Degradação ambiental pelo fator antrópico: uma breve análise da agropecuária, seus impactos ao meio ambiente e formas de mitigação**

João Otávio da Silva Malaquias, Silvia Aline Bérghamo Xavier, Maria Amélia Bonfante da Silva, Priscilla Moreira Curtis Peixoto, Maurício Novaes Souza, Credigar Gonçalves Moreira, Hilton Moura Neto, Alex Justino Zacarias, César Santos Carvalho, Rodolpho Torezani

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c4>

#### **Resumo**

O objetivo deste estudo foi abordar os impactos resultantes da agropecuária e as possíveis formas de manejo adequado em consonância com a abordagem ecológica e sustentável no setor. O estudo foi desenvolvido por meio de referencial teórico e revisão sistêmica de artigos selecionados por sua importância acadêmica e adesão ao tema pesquisado. A agropecuária é o conjunto das atividades ligadas à agricultura e à pecuária: apresenta relevância para a humanidade e para a economia local e global. Contudo, sérios aspectos e impactos ambientais estão sendo promovidos devido à expansão da agropecuária e a utilização de métodos inapropriados para o cultivo agrícola e criação de animais. A produção agropecuária causa impactos ambientais e sociais, que acabam se refletindo no próprio setor posto serem interconectados e interdependentes. Apesar de vários estudos, pesquisas e relatórios acerca da importância da conservação/preservação ambiental, a forma pela qual é concebida a agropecuária na contemporaneidade ainda continua sendo marcada como uma prática não sustentável em sua totalidade. O desafio de desenvolver a produção agropecuária com sustentabilidade exigirá a adoção de múltiplas estratégias que passam pela geração e difusão de tecnologias ambientalmente adequadas, estruturação de sistemas de informações agroambientais integrados e aplicação de instrumentos econômicos que possam minimizar as externalidades negativas do setor. Portanto, diante da necessidade de produzir alimentos para atender a demanda local e global, e ao mesmo tempo preservar o meio ambiente, é necessário que métodos sustentáveis, por meio de práticas agroecológicas e conservacionistas, sejam implantados na agropecuária por meio de políticas públicas, em parcerias com

o setor produtivo, as empresas e toda a sociedade, de forma a mitigar os impactos ambientais negativos provocados por essa atividade.

**Palavras-chave:** Degradação ambiental. Agropecuária. Práticas agroecológicas. Sustentabilidade.

## 1. Introdução

O conceito de meio ambiente é bastante amplo: deve ser entendido de maneira multidisciplinar e holística, abrangendo a relação direta entre seres vivos e o meio ambiente. Denomina-se “Ecologia” o estudo da relação do homem com a natureza ou a relação homem-natureza. Não há como se fazer análise de forma isolada posto ser interdependentes (BRANCO, 1995; LEITE; AYALA, 2000).

Ainda que a Terra tenha uma gama inconcebível de ecossistemas, *habitats* naturais e espécies – algumas ainda nem identificadas e, ou, descobertas –, a espécie humana se encontra envolvida na maior crise ambiental jamais enfrentada. A relação homem/natureza ao longo dos tempos foi se deteriorando em níveis críticos e, conseqüentemente, vários impactos antrópicos são amplamente visíveis no mundo contemporâneo.

Esse processo de deterioração ambiental se intensifica a partir do final do século XVII e início do século XVIII com o período conhecido por Revolução Industrial, permeando-se e sendo avivado pelos séculos seguintes. Ao longo desse processo as atividades antrópicas influenciaram sistematicamente de maneira negativa o meio ambiente. Em um curto período, os seres humanos remodelaram e degradaram paisagens e *habitats*, suprimiram vegetações, exercendo sucessivas pressões sobre várias espécies – algumas até à extinção –, alterando e causando desequilíbrio nos ecossistemas. Com consequência, entre outras, a elevação das temperaturas globais e a aceleração dos processos relativos às mudanças climáticas. Por conseguinte, são as atividades antrópicas as principais responsáveis pelos processos de degradação do solo e da água (RIPPLE *et al.*, 2017; SOUZA, 2018).

De acordo com Capra (1996), o novo capitalismo global ameaça e destrói as comunidades locais por todo o planeta. Amparado em conceitos de

uma biotecnologia deletéria, invadiu a santidade da vida ao tentar mudar a diversidade em monocultura, a ecologia em engenharia, e transformou a própria vida numa *commodity*. Em decorrência dessa realidade, surgiu nas últimas décadas a preocupação de se desenvolver um novo modelo de produção, de crescimento e de desenvolvimento.

No Brasil, os efeitos dessa agressiva influência são evidentes. Dados do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) divulgados no mês de julho de 2020 apontam um aumento de 64% na degradação da Amazônia Legal Brasileira (ALB); enquanto no Cerrado a supressão da vegetação nativa totalizou 6.484 km<sup>2</sup>. Os dados quantificados são do período de agosto de 2019 a junho de 2020 - a previsão era de aumento significativo até a finalização da referida apuração. Nesse período, foram desmatados 7.540 km<sup>2</sup> de mata nativa: considerado o pior quantitativo em onze (11) anos (INPE, 2019; 2020).

De modo geral, a maior parcela da degradação ambiental está ligada ao fator antrópico. Relacionados à agropecuária, os principais aspectos e processos impactantes são: exploração ilegal e seletiva de madeira; mudança de uso do solo decorrente da expansão acelerada dos extensos monocultivos; aumento significativo da emissão de gases do efeito estufa (GEE) - como externalidades negativas, a poluição do solo e da água (FERREIRA; VENTICINQUE; ALMEIDA, 2005; ARRAES; MARIANO; SIMONASSI, 2012; COSTA; VENZKE, 2017; SOUZA, 2015; 2018; 2021).

Segundo Weid (1997), fazem-se necessárias propostas de políticas públicas que promovam o (a):

- ✓ Valorização regional por meio da difusão dos aspectos culturais, recursos hídricos, riqueza de flora e fauna, ambientes naturais;
- ✓ Fiscalização e denúncia da destruição de recursos, divulgando experiências de êxito de produção sustentável;
- ✓ Intensificação dos trabalhos de educação ambiental;
- ✓ Criação de centros de comercialização de produtos e divulgação de iniciativas de desenvolvimento sustentável;
- ✓ Implantação de ampla reforma agrária, considerando como pilar a sustentabilidade;
- ✓ Promoção da agricultura familiar e adoção de um modelo de produção sustentável;

- ✓ Envolvimento com a academia e desenvolvimento de tecnologia, mediante a criação de banco de dados de experiências de êxito;
- ✓ Valorização dos conhecimentos tradicionais;
- ✓ Maior intercâmbio entre a academia e os agricultores familiares; e
- ✓ Demanda de alternativas às universidades para a incorporação de abordagens alternativas de desenvolvimento; entre outros.

Contudo, apesar de a agropecuária contribuir de forma significativa para os processos de degradação, comprometendo a saúde humana, os recursos naturais e o clima (ADEGBEYE *et al.*, 2020), possui papel fundamental para a segurança alimentar global, visto que a população mundial poderá chegar a nove (9) bilhões de pessoas até 2050 (FAO, 2017).

Novas tecnologias têm sido empregadas para fomentar a crescente demanda. Inovações no cultivo irrigado e sequeiro e o desenvolvimento tecnológico na produção animal têm permitido mais colheitas por ano e reduzido o tempo para terminar os animais ao peso de mercado (FUGLIE, 2018). No entanto, a produção global de alimentos depende intrinsecamente de vários fatores, tais como: clima, temperatura, energia, disponibilidade de água e nutrientes. Esses pontos demonstram não ser uma equação fácil, pois a humanidade depende única e exclusivamente dos recursos naturais para o seu desenvolvimento, de modo que os países em desenvolvimento e subdesenvolvidos estão propensos a sentir com mais forças esses eventos de possível escassez (BALL, 2015).

Nesse contexto, pensar em formas mitigadoras para os impactos ambientais ocasionados pelo fator antrópico na agricultura e na pecuária é de extrema importância para a segurança alimentar global, para o planeta e para o bem-estar das futuras gerações em consonância com várias conferências, protocolos e relatórios oficiais acerca da mitigação de impactos ambientais e desenvolvimento sustentável (TRIGUEIRO *et al.*, 2003; MARTINS; ROMARCO; SOUZA, 2013; MARTINS; SOUZA, 2013).

Este capítulo abordará técnicas e práticas voltadas às atividades agropecuárias buscando conciliar crescimento com desenvolvimento ambiental sustentável, além de alternativas agroecológicas para uma agropecuária menos prejudicial visando a mitigação e a sustentabilidade dos recursos naturais e do sistema socioeconômico.

## **2. Degradação ambiental por meio de práticas agropecuárias**

### **2.1. Degradação ambiental por meio de práticas agrícolas**

O crescimento da população mundial e sua densidade demográfica concentrada nas cidades aumentará consideravelmente a demanda por alimentos ao longo dos anos (BEDDINGTON *et al.*, 2012). Segundo dados da ONU (2019), a população mundial deve crescer em 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, chegando a incrível marca de 9,7 bilhões de pessoas em 2050. Além disso, o relatório concluiu que a expectativa de vida da população mundial está aumentando: em 2050 nove (9) países terão mais da metade do crescimento estimado para a população mundial: Índia, Nigéria, Paquistão, República Democrática do Congo, Etiópia, Tanzânia, Indonésia, Egito e Estados Unidos. Diante destes dados preocupantes, o aumento da produção agropecuária é uma situação impreterível para a segurança alimentar mundial (ONU, 2019; SAATH; FACHINELLO, 2018).

O Brasil, anteriormente o terceiro maior exportador do mundo, fechou o ano de 2019 ao lado dos EUA, como a maior potência agrícola mundial com uma produção recorde de grãos: 240 milhões de toneladas - portanto, um dos principais responsáveis pela segurança alimentar do planeta (FAO, 2017). A partir de 1990 até o ano de 2017, o saldo da balança agropecuária do país aumentou quase dez vezes, tornando esse setor o principal responsável pelo superávit da balança comercial brasileira. Somente o agronegócio em 2019 representou 21% do PIB brasileiro, totalizando R\$ 322 bilhões (IBGE, 2020).

Entretanto, com o aumento das exportações surgiram também novas demandas, tais como: busca crescente por terras agricultáveis; uso mais intensivo de água; e, principalmente, a obrigatoriedade de correção e adubação do solo com o uso de fertilizantes altamente solúveis (KASTNER *et al.*, 2012; WITHERS *et al.*, 2018; SOUZA, 2021).

O uso de fertilizantes foi determinante para o crescimento do setor agropecuário brasileiro. A utilização de agroquímicos nitrogenados é responsável por cerca de 40% da oferta alimentar do planeta. Em contrapartida, o Brasil se tornou um dos maiores consumidores de fertilizantes do mundo, ao ponto da quantidade produzida no mercado interno se tornar incapaz de suprir a demanda local (RATTER, 1997; EMBRAPA, 2020).

Embora a agricultura seja o motor da economia brasileira, seus danos ao

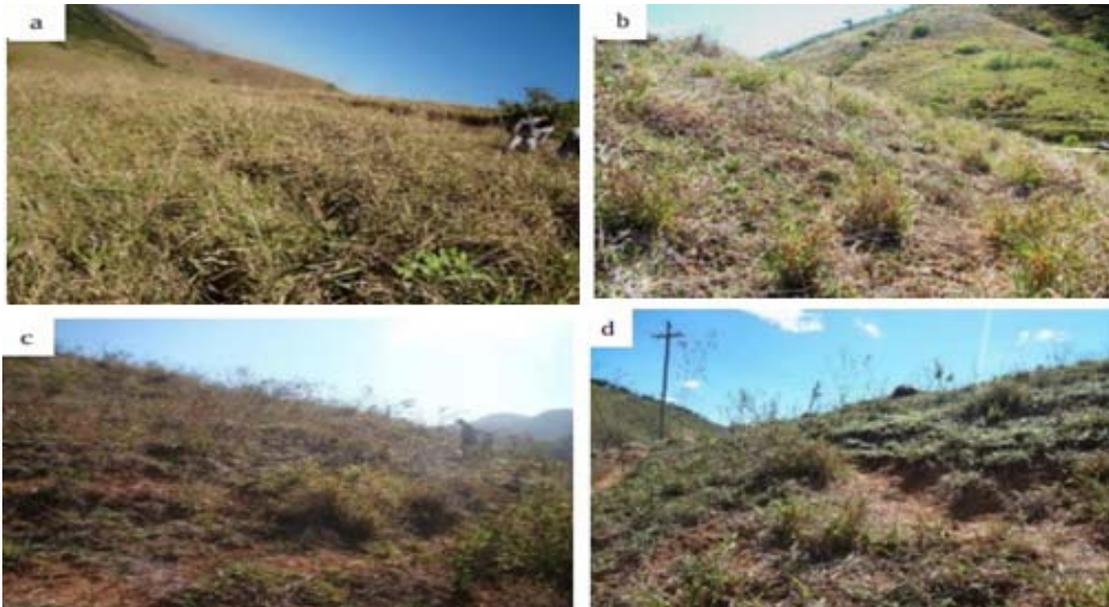
meio ambiente podem ser permanentes e por isso, têm evidenciado a atenção e provocado receio na comunidade científica (EMBRAPA, 2020; IBGE, 2020). As mudanças climáticas, relacionadas predominantemente à emissão de gases do efeito estufa (GEE) causada por fatores antrópicos, tornaram-se sistematicamente objeto de estudos (OLIVEIRA *et al.*, 2013; LAWRENCE; VANDECAR, 2015; ARIAS *et al.*, 2020; LEITE-FILHO; COSTA; FU, 2020; SPERA; WINTER; PARTRIDGE, 2020).

Há um estudo que utilizou o modelo de Pesquisa e Previsão do Tempo para executar simulações climáticas de 15 anos em todo o Brasil com seis cenários de cobertura do solo: (1) antes do desmatamento extensivo; (2) cenário observado em 2016; (3) Cerrado substituído por monocultura (soja); (4) Cerrado substituído por agricultura de dupla safra de monoculturas (soja-milho); (5) leste da Amazônia substituído por monocultura; e (6) leste da Amazônia substituído por agricultura de dupla safra. Ficou demonstrado que em todos os cenários (1-6) a temperatura excedeu o limite crítico para o cultivo do milho e a fração evaporativa diminuiu significativamente. Houve queda de até 8% na produção de milho, dando evidências que o desmatamento alterou o clima no Cerrado brasileiro, prejudicando a produção de safras de sequeiro (SPERA; WINTER; PARTRIDGE, 2020).

Diante destes estudos, como o apresentado no Capítulo III (SOUZA, 2015), evidencia-se que o aumento do desmatamento e a desertificação estariam antagonicamente garantindo a segurança alimentar, uma vez que as culturas voltadas à agropecuária, bem como pastagens, apresentam vulnerabilidade e sensibilidade aos impactos das mudanças climáticas - levam a queda da produção.

Os impactos causados pelo fator antrópico na agricultura estão inclusive relacionados com a poluição do solo, dos corpos hídricos e com os conflitos por terra no Brasil (GODFRAY; GARNETT, 2014; RAJÃO; CARVALHO; MERRY, 2020). O uso da terra para as monoculturas altera diretamente as propriedades hídricas do solo, além do pH, do teor de fósforo (P), a contaminação por compostos nitrogenados e agrotóxicos em corpos d'água superficiais. Processos erosivos e a compactação do solo são corriqueiramente encontrados em áreas de cultivo diminuindo consideravelmente a infiltração da água e, conseqüentemente, a produção. Esses processos serão ainda mais

comuns no futuro se nenhuma atitude for tomada (HUNKE *et al.*, 2015) (Figura 1).



**Figura 1.** Níveis de degradação do solo por práticas agrícolas: a) N1-leve; b) N2-moderado; c) N3-forte; d) N4-muito forte. Fonte: Silva; Felizmino; Oliveira (2015).

O fato é que a agricultura e a pecuária são as principais atividades relacionadas com o uso dos solos e mudanças decorrentes de práticas de manejo inadequadas. Podem levar a um rápido declínio dos estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo, colaborando para o aumento das emissões de GEE para a atmosfera e intensificando o efeito estufa sobre o globo terrestre (SOUZA, 2018).

### 2.2.1. Degradação ambiental pelo uso de agrotóxicos

A intensa utilização de agrotóxicos na agricultura se iniciou nos anos da década de 1950, nos Estados Unidos, com a chamada "Revolução Verde" - teve como objetivo a modernização da agricultura e o aumento de produtividade. No Brasil, esse movimento começou na década de 1960 e, com a inserção do Programa Nacional de Defensivos Agrícolas (PNDA), ganhou estímulo nos anos da década de 1970. O programa associou o uso dessas

substâncias à concessão de créditos agrícolas, sendo o Estado um dos principais incentivadores dessa prática (JOBIM *et al.*, 2010; SIQUEIRA *et al.*, 2013; SOUZA, 2018).

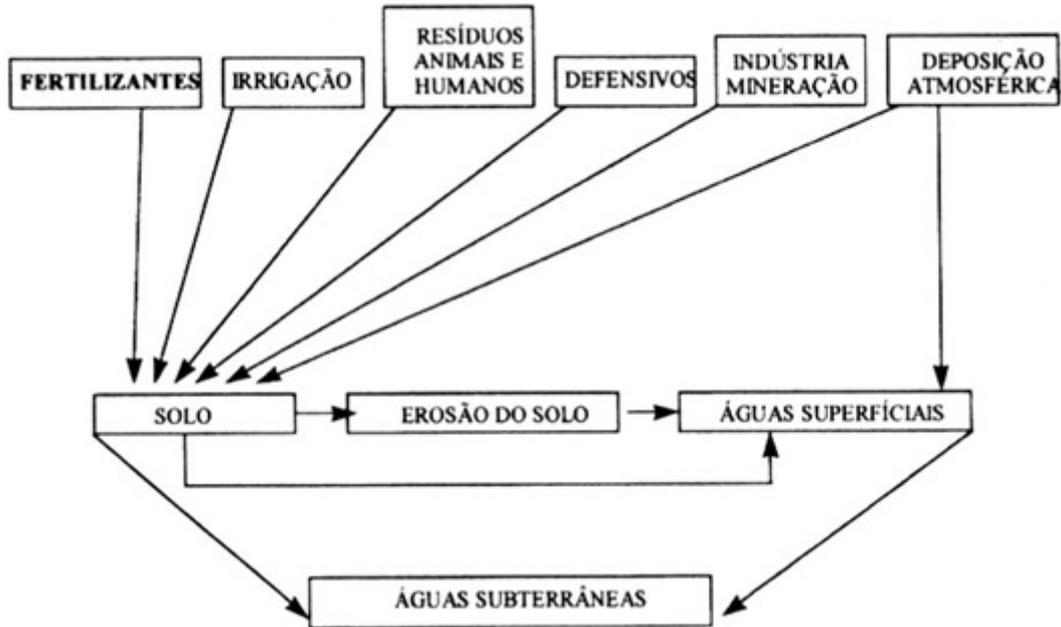
O termo agrotóxico passou a ser utilizado no Brasil a partir da Lei Federal nº 7.802, de 1989, regulamentada pelo Decreto nº 4.074, de 2002 (SANTANA; MOURA; NOGUEIRA, 2016). Trouxe o seguinte conceito: “Compostos de substâncias químicas destinadas ao controle, destruição ou prevenção, direta ou indiretamente, de agentes patogênicos para plantas e animais úteis às pessoas” (BRASIL, 1989).

É inquestionável que a aplicação de agrotóxicos em lavouras aumentou a produtividade agrícola, especialmente por proporcionar maior tempo de estocagem dos alimentos e assegurar a alimentação da população que cresce continuamente. No entanto, o uso dos agrotóxicos deve ser repensado, pois o mesmo requer cuidados a fim de evitar graves danos ao meio ambiente. Isto se deve ao fato de alguns agrotóxicos voláteis poderem ser carregados pelo vento atingindo aves, mamíferos e vários outros microrganismos (SPADOTTO, 2004; SOUZA, 2018; 2021).

De acordo com esses mesmos autores, quando retidos nos locais de aplicações, eles podem ser lixiviados, ou percolados alcançando as superfícies das águas e águas subterrâneas, desencadeando o desequilíbrio ecológico (Figura 2). Geralmente os agrotóxicos são aplicados diretamente nas plantas ou no solo. Quando aplicado sobre as plantas cerca de 50% da dose aplicada têm como destino final o solo atuando como principal receptor e acumulador destes produtos.

Com as transformações ocorridas pela intensa interferência antrópica, os sistemas ambientais vêm sofrendo transformações, originado por causa e natureza diversas. Esse fenômeno é denominado poluição; ou seja, é o resultado indesejável das ações de transformação das características naturais de um ambiente, atribuindo um caráter nocivo a qualquer utilização que se faça do mesmo. A Lei Federal nº 6.938/81 define poluição como “toda alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas que possa constituir prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações e, ainda, possa comprometer a biota e a utilização dos recursos para fins comerciais, industriais e recreativos” (BASTOS; FREITAS, 1999). De acordo com a Figura

2 foi possível observar as várias fontes de poluição do solo e da água – a maior parte delas provenientes da atividade de agropecuária.



**Figura 2.** Diagrama representativo das várias fontes de poluição do solo e da água. Fonte: Singh; Steinnes (1994).

Particularmente relativo ao uso dos agrotóxicos empregados na agropecuária, sabe-se atualmente que são os principais responsáveis pela contaminação do solo e dos recursos hídricos em razão das suas características bioacumuladoras e sua baixa degradação. No solo, essa contaminação atinge os mecanismos biológicos responsáveis pela disponibilidade de nutrientes às plantas. Em ambientes aquáticos, pode ocorrer a contaminação dos recursos hídricos designados ao abastecimento de água potável para a população. Uma das principais consequências na utilização dos agrotóxicos é o risco que eles oferecem a organismos não-alvos, provocando doenças e mortes.

Quando os agrotóxicos são aplicados diretamente no solo podem ser degradados por vias químicas, fotólise ou pela atividade de microrganismos. As moléculas com alta persistência são as moléculas consideradas de baixa taxa de degradação. Podem perdurar no ambiente sem serem modificadas, bem

como podem ser adsorvidas pelas partículas componentes do solo, sofrendo lixiviação<sup>6</sup> e alcançando os lençóis subterrâneos (CONASQ, 2003).

Ambientes aquáticos podem ser contaminados pela aplicação de agrotóxicos por diferentes formas: escoamento superficial, deriva de pulverização e lixiviação, que apresentam sérias ameaças à saúde do ecossistema e do ser humano. Essa exposição pode interferir diretamente em todos os níveis de organização biológica, compreendendo produtores primários, microrganismos, invertebrados ou peixes (SHEFALI *et al.*, 2020).

Os efeitos nos processos produtivos da agricultura familiar de maior importância para a saúde humana e ambiental são as poluições, contaminações ambientais e as intoxicações agudas e crônicas referentes à aplicação de agrotóxicos, uma vez que raramente as práticas agropecuárias são coerentes com as preocupações do impacto ambiental ou expõem de forma objetiva e prática os aspectos relacionados à sustentabilidade (AUGUSTO *et al.*, 2012).

A Figura 3 ilustra quanto à forma de aplicação dos agrotóxicos levando a uma maior exposição do aplicador sem o uso de equipamento de proteção individual (EPI).



**Figura 3.** Aplicação de agrotóxico sem o uso de EPIs. Fonte: SENAR (2019).

---

<sup>6</sup> Lavagem dos nutrientes e compostos presentes no solo pela água de chuva.

### 2.3. Degradação ambiental pela pecuária

Há 12 mil anos os seres humanos se relacionavam com o meio ambiente como extrativistas: caçadores, coletores e forrageiros. Há cerca de 9-10 mil anos, na “Primeira Revolução Agrícola”, as alterações ambientais se intensificaram em decorrência das atividades agrícolas. Mesmo de forma arcaica, nossos ancestrais desmataram florestas iniciando as plantações e a criação de animais, fornecendo indícios da transformação da agricultura e da pecuária. Embora as técnicas utilizadas fossem primitivas e com ausência de ferramentas sofisticadas, nasceu ali a gênese de inúmeros problemas ambientais que se tornaram frequentes no cotidiano (GIGUET-COVEX *et al.*, 2014; STEPHENS *et al.*, 2019; SOUZA, 2021).

No Brasil, grande parte das pastagens encontra-se degradada em função de atividades pecuárias (Figura 4). Ainda assim, estas atividades são de suma importância para o desenvolvimento do país apresentando impacto significativo no Produto Interno Bruto (PIB), sendo, portanto, fundamentais para o desenvolvimento econômico e geração de empregos diretos e indiretos (ANDRADE *et al.*, 2014).



**Figura 4.** Pastagem degradada com agravante: recuperada por procedimentos incorretos.

Segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC), mesmo em meio à crise econômica mundial, o país, no ano de 2019, exportou 1,866 milhão de toneladas de carne, 13,6% acima do ano anterior, alcançando a marca de US\$ 7,65 bilhões, 16,5% a mais em relação a 2018. Estes números representam 8,5% do PIB (R\$ 618,50 bilhões). Vale salientar, que nestes valores estão incluídos desde insumos utilizados na pecuária, como investimentos em melhoramento genético, sanidade animal, nutrição, exportações e vendas para o mercado interno (ABIEC, 2020).

Mesmo diante desse importante protagonismo, a pecuária contribui com 14,5% das emissões globais de GEE com o uso de fertilizantes sintéticos a base de N, o acúmulo e o manejo de esterco nas pastagens, inclusive a manipulação de rações e alimentos ricos em N, que intensificam o quadro. Gases como óxido nitroso ( $N_2O$ ), amônia ( $NH_3$ ) e óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) colaboram para o agravamento do efeito estufa, poluição do ar comprometendo saúde humana. Em corpos hídricos os agravantes são a eutrofização e a acidificação levando a morte de peixes e outros animais marinhos (GALLOWAY *et al.*, 2008; GERBER *et al.*, 2013; SUTTON *et al.*, 2013).

Diante do exposto, técnicas de aprimoramento para o uso da terra na agropecuária que incluam: métodos agroecológicos, manejo sustentável de recursos (água, solo e fertilizantes), recuperação de pastagens e redução na emissão de GEE são alternativas seguras e eficientes para a mitigação dos problemas encontrados (Figura 5).



**Figuras 5.** Desmatamento para a expansão da agropecuária. Fonte: Silva; Felizmino; Oliveira, (2015).

Uwizeye *et al.* (2020) estudaram as emissões de N ao longo das cadeias globais de abastecimento de gado e os resultados demonstraram que o setor pecuário emite 65 milhões de toneladas de N anualmente, isso equivale a um terço das emissões desse elemento pelo fator antrópico: 68% desse montante se refere à produção de ração animal. Por conseguinte, Strassburg *et al.* (2014) explicitam que as pastagens brasileiras precisam aumentar sua produtividade em até 52% para atender à demanda pecuária, agrícola, madeireira e de biocombustível até 2040, levando em consideração a não conversão de novos ecossistemas naturais. Silva *et al.* (2016) afirmaram que a mitigação dos efeitos negativos e o uso sustentável dos recursos naturais tornou-se uma necessidade contínua.

### **3. Alternativas sustentáveis e formas mitigadoras**

As condições éticas que envolvem o desenvolvimento sustentável, a garantia contra o empobrecimento e a conservação do capital natural, são consistentes com: a) Justiça com os socialmente desprovidos (equidade intergeracional); b) Justiça entre as gerações (equidade intergeracional); c) Aversão ao risco; e d) Eficiência econômica (PEARCE; BARBIER; MARKANDIA, 1988; PEARCE; TURNER, 1989).

O cenário econômico crescente e a demanda por alimentos, insumos e derivados produzidos através de grãos são fatores motivadores para novos modelos de uso da terra, sendo, portanto, necessário rever as formas de produção que possibilitem pensar um futuro sustentável aumentando a produção agrícola e limitando os impactos ao meio ambiente por intermédio de ações afirmativas socioambientais que surtam efeito (GUZHA *et al.*, 2017; BRINKMAN *et al.*, 2018).

Nesse contexto, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento lançou em 2010 o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - Plano ABC, que teve como objetivo responder aos compromissos de redução de emissão de gases do efeito estufa no setor agropecuário assumido pelo país.

O plano teve vigência entre 2010 e 2020, composto por sete programas, sendo seis direcionados às tecnologias de mitigação e um à adaptação às

mudanças climáticas. Os seis programas permeavam técnicas para redução, reutilização e recuperação de sistemas pouco produtivos ou degradados de forma a considerar os impactos e as formas mais sustentáveis de se produzir, buscando atingir um padrão ótimo e sem a perda de produção. Algumas técnicas com a Recuperação de Pastagens Degradadas; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs); Sistema Plantio Direto (SPD); demonstraram resultados frente ao cenário habitual (MAPA, 2012; MARTINS; ROMARCO; SOUZA, 2013; MARTINS; SOUZA, 2013).

O Plano ABC apresentou resultados, tais como: recuperação de pastagens degradadas, mais de 4 milhões de hectares foram recuperados com a ajuda do crédito oficial do ABC até 2018; e pelo menos outros 7 milhões foram manejados com fontes diferentes de financiamento ou recursos próprios dos produtores, chegando próximo à meta de 15 milhões de ha. Em relação ao tratamento de dejetos, o programa alcançou 40 milhões de m<sup>3</sup> de dejetos animais tratados, frente à meta de 4,4 milhões (EMBRAPA, 2020).

Em 2017, a fixação de nitrogênio atingiu 10 milhões de hectares, ante a meta de 5,5 milhões. O plantio direto, que visava atingir 8 milhões de hectares, alcançou aproximadamente 13 milhões, superando a meta. A adoção de ILPF atingiu 6 milhões de hectares, ultrapassando em 2 milhões da meta (EMBRAPA, 2020).

Ao fim da vigência de 10 anos do Plano, analisando os resultados obtidos, conclui-se que apesar dos resultados positivos em quase todas as metas, é necessário maior investimento em treinamento de técnicos, extensionistas, elaboradores de projetos e operadores de crédito rural para trabalharem e levarem a tecnologia até o produtor rural, pois esses agentes atuarão desde a contratação do financiamento do Programa ABC até o final da execução do projeto na propriedade rural (EMBRAPA, 2020).

Com relação à “Agroecologia”, há de se considerar que se caracteriza como um movimento sociopolítico de fortalecimento do agricultor em busca de sua identidade e raízes culturais e, principalmente, de sua autonomia, poder de decisão e participação ativa no processo produtivo, favorecendo o local como foco de ação. Além de sustentar o manejo ecologicamente responsável dos recursos, constitui-se em um campo do conhecimento científico que pretende

estudar a atividade agrária, partindo de um enfoque holístico e de uma abordagem sistêmica (CAPORAL; COSTABEBER; PAULUS, 2009).

Para Caporal; Costabeber (2004), a Agroecologia é entendida como um "enfoque científico destinado a apoiar a transição dos atuais modelos de desenvolvimento rural e de agricultura convencionais para estilos de desenvolvimento rural e de agriculturas sustentáveis". Sua prática propicia a obtenção de resultados econômicos favoráveis ao conjunto da sociedade, com uma perspectiva temporal de longo prazo, ou seja, uma agricultura sustentável. Assim sendo, a proposta da Agroecologia é vinculada a um marco político/ideológico estabelecido pela ética.

Diante desse cenário de mudança, torna-se imprescindível a maximização de práticas agrícolas sustentáveis com maior visibilidade e que repercutam um aprimoramento na eficiência no uso do solo, da água, de nutrientes e de fertilizantes, com o objetivo de promover a redução do desperdício, o aumento da produção e o retorno positivo ao meio ambiente e ao sistema socioeconômico.

### **3.1. Recuperação de pastagens degradadas**

A degradação de pastagens ocorre quando a área perde seu potencial de produtividade e a capacidade de se regenerar, alcançando baixos índices de produtividade e perda de vigor e qualidade, ficando susceptível a pragas e doenças, além de não suprir as necessidades alimentares dos animais (OLIVEIRA; CORSI, 2005; MAPA, 2012; SOUZA, 2015).

Segundo Macedo (1999), as principais causas da degradação são: espécie inadequada ao local; má formação inicial causada pela ausência ou mal uso de: práticas de conservação do solo, preparo do solo, correção da acidez e, ou, adubação, sistemas e métodos de plantio e manejo animal na fase de formação; no manejo e práticas culturais: uso de fogo como rotina, métodos, épocas e excesso de roçagens, ausência ou uso inadequado de adubação de manutenção, ocorrência de pragas, doenças e plantas invasoras; no manejo animal; sistemas inapropriados de pastejo, ausência ou aplicação incorreta de práticas de conservação do solo após superpastejo (MACEDO, 1999; SOUZA, 2015; 2018).

Sistematicamente, as pastagens em estágio de degradação passam

despercebidas pelos produtores (Figura 6). Contudo, algumas características podem ser observadas, como a queda da produção de forragem, a redução da área de cobertura, o baixo índice de plantas novas, o aparecimento de espécies invasoras aumentando a competição por nutrientes e, também, o aumento nos processos erosivos (SOARES FILHO, 1993; SOUZA, 2021).



**Figura 6.** Pastagem em estágio avançado de degradação. Fonte: Arquivo pessoal (2016).

A recuperação de pastagens degradadas contribui para reduzir a emissão de GEE e aumenta os estoques de carbono do solo (ERI *et al.*, 2020), possibilitando maior quantidade de serapilheira e de matéria orgânica que exercem importante papel de reservatório de nutrientes (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Algumas estratégias podem ser adotadas na recuperação de pastagens. Para isso é necessário que haja quantidade suficiente de plantas forrageiras: caso contrário, é recomendado que a pastagem seja renovada (CARVALHO, 1993). A recuperação efetiva depende do manejo fisiológico e adequado da forrageira, descanso e ocupação do pasto, da utilização de resíduos de pastejo adequados (Figura 7), da recomposição da fertilidade do solo, além do melhor aproveitamento da água evitando a recompactação do solo (OLIVEIRA; CORSI, 2005). Pastagens recuperadas agregam valor no uso da terra e trazem benefícios para a produção, indicando retorno em biodiversidade e

produtividade substanciais (IVERSEN *et al.*, 2019; WEINERT; WILLIAMS, 2018). Uma alternativa é a integração lavoura-pecuária que também pode ser um meio eficiente, reduzindo os custos na recuperação de pastagens (CARVALHO *et al.*, 2017).



**Figura 7.** Uso de dejetos da suinocultura na recuperação de pastagens: os locais de coloração verdes mais intensos são onde recebeu maior quantidade de dejetos. Fonte: Arquivo pessoal (2016).

A escolha da técnica de recuperação a ser utilizada depende da situação de degradação do solo, vigor e densidade de plantas forrageiras, disponibilidade de tempo e de recursos, considerando-se as condições climáticas da região (CARVALHO *et al.*, 2017). (Figura 8).



**Figura 8.** Recuperação e renovação de pastagens. Fonte: EMBRAPA (2013).

### 3.2. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs)

A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é um sistema de produção heterogêneo caracterizando-se pela integração de atividades agrícolas, pecuárias e, ou, florestais. Este sistema é caracterizado pelo consórcio, rotação, sucessão e diversificação de culturas, buscando estratégias colaborativas sustentáveis entre os componentes de integração (KLUTHCOUSKI *et al.*, 1991; MARTINS; ROMARCO; SOUZA, 2013; MARTINS; SOUZA, 2013).

Os Sistemas Agroflorestais – SAFs fazem o uso e ocupação do solo, numa mesma unidade de manejo, associando espécies lenhosas com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, inclusive culturas agrícolas e forrageiras, proporcionando o enriquecimento das espécies e a interação entre elas (MAPA, 2012; LENZ *et al.*, 2019).

A implementação dos SAFs e IFPL podem ocorrer em diferentes modalidades: Integração-Lavoura-Pecuária (Agropastoril); Lavoura-Pecuária-Floresta (Agrossilvipastoril); Pecuária-Floresta (Silvipastoril); e Lavoura-Floresta (Silviagrícola) (FERNANDES; FINCO, 2014; SULC; FRANZLUEBBERS, 2014) (Figura 9).



**Figura 9.** Animais em sistema de manejo em ILPF Fonte: EMBRAPA (2013).

Assim, cada modelo possui suas particularidades e são escolhidas conforme a finalidade desejada, sendo, portanto, uma alternativa para aumentar a diversificação de espécies e melhorar as condições do solo, à proporção que o monocultivo contínuo pode aumentar a degradação ambiental e reduzir a qualidade do solo (PEZARICO *et al.*, 2013) (Figura 10).

Tanto o SAF quanto o ILPF são importantes aliados na geração de renda no campo e bem-estar social, na adoção de boas práticas agropecuárias e na valorização dos serviços ambientais (BONAUDO *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2018). Além disso, oferecem retorno para o ecossistema na recuperação de áreas degradadas; na manutenção da cobertura vegetal; na conservação de recursos naturais (solo, água, matéria orgânica e agentes biológicos do solo) (PEZARICO *et al.*, 2013; LEMAIRE *et al.*, 2014); no crescimento de agentes polinizadores e controle de pragas e doenças (BOINOT *et al.*, 2019; KAY *et al.*, 2019); fixação do carbono e nitrogênio, redução das emissões de GEE e na reciclagem de nutrientes (TORRES *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2018; ESTEVES *et al.*, 2018).



**Figura 10.** Plantios de SAF com seringueira, cacau e banana; maracujá cultivado entrelinhas de seringueira. Fonte: Bernardes (2008).

### 3.3. Sistema de Plantio Direto (SPD)

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é definido como o conjunto de processos tecnológicos direcionados a revolucionar e explorar sistemas agrícolas produtivos, visando aumentar a produtividade, de modo a reduzir revolvimento do solo (apenas em linha ou cova de semeadura) para preservação de sua capacidade produtiva e minimizando a perda da cobertura.

No geral, o SPD está associado a métodos agrícolas conservacionistas, apesar de também ser utilizado em manejos agroecológicos, pois contribui para a conservação do solo, dos recursos hídricos, maximizando a eficiência da adubação, calagem e da matéria orgânica, reduzindo a erosão, o uso de agroquímicos e GEE para potencializar o custo/benefício e a resistência do solo e outros recursos naturais (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998; KOCHHANN; DENARDIN, 2000; BLANCO-CANQUI; WORTMANN, 2020).

O Plantio Direto manejado em longo prazo apresenta condições biológicas, físicas e químicas favoráveis para o solo e o desenvolvimento de plantas, apresentando maiores teores de matéria orgânica, proteína, respiração, disponibilidade de água, infiltração no solo, além de maiores concentrações de N, nutrientes e pH ideal, indicando melhoria significativa no bem-estar do solo e na produtividade das culturas (NUNES *et al.*, 2018).

Em regiões subúmidas e semiáridas os efeitos do preparo do solo e sequências de culturas sob plantio direto e pastejo nas propriedades do solo e na produtividade de milho, trigo, girassol ou soja, tiveram efeitos positivos no teor de C orgânico do solo na produtividade das culturas e, também, no manejo do solo com plantio direto e a rotação de pastagens (DÍAZ-ZORITA; DUARTE; GROVE, 2002; DU *et al.*, 2017).

Diante da ineficiência dos métodos de produção em larga escala atuais, o SPD surge como uma alternativa sustentável para uma produção mais limpa, eficiente, com lucratividade econômica e baixo impacto ambiental (DANG *et al.*, 2015; YADAV *et al.*, 2020) (Figura 11).



**Figura 11.** Sistema Plantio Direto. Fonte: Acervo FEBRAPDP (2020).

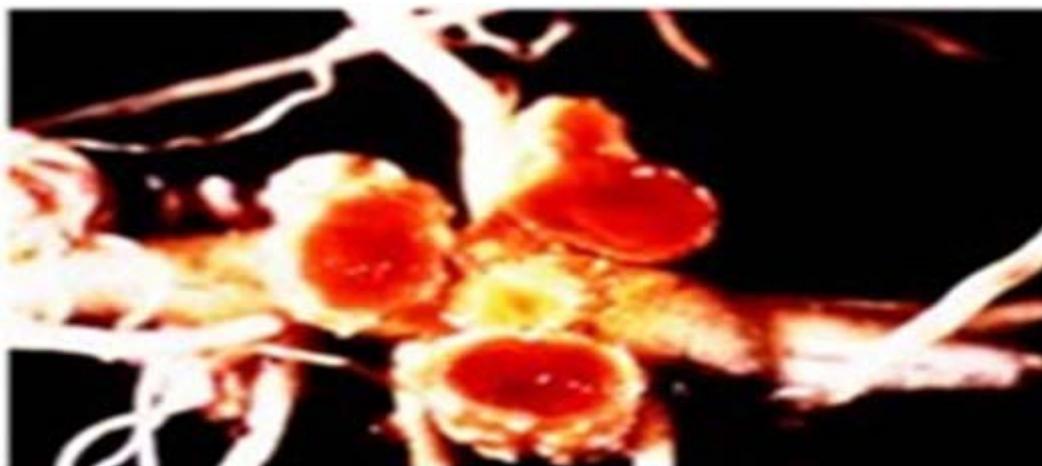
### 3.4. Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

A produção agrícola é dependente de N - é um fator limitante para o cultivo e o desenvolvimento das plantas. Ainda que cerca de 78% da atmosfera seja composta por esse elemento, poucos microrganismos possuem a capacidade de sua conversão em formas assimiláveis para as plantas, ao qual dá-se o nome de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) (HUANG *et al.*, 2016; CARVALHO *et al.*, 2019).

A FBN ocorre nas raízes, especificamente, nos nódulos, por meio de bactérias fixadoras da família Rhizobiaceae (rizóbios) ao qual possuem afinidade simbiótica com espécies de leguminosas, captando o N da atmosfera e o transformando em formas absorvíveis (nitrato e amônia) para as plantas (REJILI *et al.*, 2012; ZHAO *et al.*, 2020).

O uso de FBN é reconhecido pelo aumento da produtividade, elevação da matéria orgânica e por melhorar a fertilidade do solo (KERMAH *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2020). Não obstante, a FBN é uma opção sustentável e economicamente viável para o desenvolvimento de cultivos agrícolas, a fim de reduzir os custos com fertilizantes sintéticos, minimizar os impactos ao meio ambiente e aumentar a eficiência do uso de N<sub>2</sub> (SMITH *et al.*, 2020) (Figura 12).

Esse processo é de extrema importância para o desenvolvimento das plantas, uma vez que o N é componente das cadeias de RNA, DNA e proteínas, atuando diretamente em processos fotossintéticos e no desenvolvimento radicular (GARCIA; CARDOSO; SANTOS, 2013; YUAN *et al.*, 2017).



**Figura 12.** Coloração interna rósea de um nódulo ativo pela presença de leg-hemoglobina. Fonte: Hungria; Campo; Mendes (2001).

### 3.5. Florestas plantadas

O cultivo de florestas plantadas ocorre há mais de cem anos no Brasil, sendo impulsionado nos anos da década de 1970 pelos incentivos fiscais do governo visando o reflorestamento. As principais espécies plantadas no país são Eucalipto, Pinus, Acácia, Seringueira, Teca, Paricá, Cedro, Mogno-Africano e Araucária (SNIF, 2020).

O Brasil ocupa o 9º lugar no ranking mundial dos maiores produtores de madeira serrada do mundo, com cerca de 9,9 milhões de m<sup>3</sup> por ano (FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 2019). Segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), a área total de árvores plantadas totalizou 9,0 milhões de hectares, um aumento de 2,4% em relação a 2018 (8,79 milhões de hectares, considerando o ajuste conforme nova metodologia).

Desse total, a maioria (77%) é representada pelo cultivo de eucalipto, com 6,97 milhões de hectares; e 18% de pinus, com 1,64 milhão de hectares. Essa grande concentração de floresta plantada está nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul, que respondem, respectivamente, por 28%, 17% e 16% do valor que corresponde mais da metade da produção total do Brasil, impulsionadas pelo setor de florestas plantadas (IBGE, 2020).

É importante ressaltar os impactos negativos gerados pela monocultura do eucalipto e do pinus. O povoamento por *Pinus* spp. considerado “extremamente monocultural específico”, impede a instalação de outras formas de vegetação. A deposição de serapilheira de lenta decomposição prejudica a germinação de espécies nativas, transforma ecossistemas abertos em ecossistemas fechados e a perda de biodiversidade (KOCH; HENNKES, 2013).

Entretanto, essa espécie contribui com as formações florestais produtivas. Os reflorestamentos com espécies do gênero *Pinus* também é significativa na conservação do solo, como cultura de longo prazo e como atividade de baixo impacto ambiental (SOUZA; SOUZA; LUCCHESI, 1982).

O eucalipto, quando plantado em grande escala, acelera o processo de desequilíbrio ambiental, tais como: desertificação do clima e do solo, maior exposição do solo à erosão, redução da biodiversidade, especialização da atividade produtiva e transformação da paisagem (BARROS; CAMPOS, 2011). Entretanto, em SAFs o uso do eucalipto para o sombreamento do café tem se

tornado uma prática viável como quebra-vento: o sombreamento melhora a eficiência do uso da radiação e da água (BERNARDES, 2008).

Outro ponto importante sobre o cultivo de florestas é a eficiência no sequestro de carbono em razão do acúmulo de carbono na madeira e o aumento do estoque no solo. Segundo Pulrolnik (2013), a dinâmica da matéria orgânica do solo, por sua vez, é influenciada pelo clima, cobertura florestal, tipo de solo, uso e manejo. Também pode ser considerada como dreno ou fonte de carbono atmosférico. Para que o carbono seja acumulado no solo deverá ocorrer a adição de resíduos vegetais. Já a sua transformação para matéria orgânica e humificação ocorrem por meio de processos físicos, químicos e ações biológicas de microrganismos, fungos e fauna.

No geral, florestas plantadas têm como principal benefício ambiental a redução da derrubada das matas nativas, o reaproveitamento de terras que sofreram intensa degradação por ações antrópicas, o aumento do sequestro de carbono e a proteção do solo e da água (SHIGAEVA; DARR, 2020). Quando implantadas com um bom sistema de manejo e com um eficiente Sistema de Gestão Ambiental, estas culturas funcionam como medidas preventivas e de redução dos impactos das atividades sobre o ecossistema original (Figura 13).



**Figura 13.** Plantio de eucalipto como quebra vento na cultura de café e pinus para a proteção do solo e fonte de renda familiar. Fonte: Bernardes (2008) esquerda. Georgin (2014) direita.

### 3.6. Tratamento de dejetos animais

Um grande empecilho encontrado na pecuária é a destinação final dos dejetos de animais que causam poluição e impactos significativos ao meio ambiente (SHEN *et al.*, 2017). O tratamento adequado dos dejetos é de suma importância, pois se for descartado de maneira inadequada causa impacto direto nos cursos hídricos, no solo e na emissão de GEE, trazendo risco ao meio ambiente e a saúde humana (FERREIRA *et al.*, 2018; KHALIL *et al.*, 2019).

Porém, se for tratado adequadamente, os dejetos podem se tornar um grande aliado para o produtor possibilitando fomentar a renda familiar por meio da geração de energia automotiva, térmica e até mesmo elétrica com a utilização do biogás. Além do mais, a utilização de tecnologias de biodigestão reduzem insumos agroquímicos e podem ser convertidas em fertilizantes, ocasionando, portanto, a queda nas emissões de GEE.

Em regiões com alta incidência no setor pecuário os resultados podem ser ainda mais evidentes (OLIVEIRA *et al.*, 2020), uma vez que dejetos animais, em especial estrume, influenciam no controle de pragas, melhorando o solo, a matéria orgânica, a retenção de água e no apoio a decompositores e redução de CO<sub>2</sub> (SANTOS *et al.*, 2018; ROWEN *et al.*, 2019) (Figura 14 e 15).



**Figura 14.** Tratamentos dos dejetos de animais por meio de biodigestores.

Fonte: AGROEMDIA (2019).



**Figura 15.** Lagoas anaeróbicas recebendo dejetos da suinocultura no IF Sudeste de Minas campus Rio Pomba, MG.

#### **4. Considerações finais**

Devido ao crescimento da população mundial, ocorreu o aumento da demanda global por alimentos e outros serviços. A produção em larga escala na agricultura e a expansão da pecuária tem contribuído com os processos de degradação ambiental. O planeta já demonstra as consequências das ações antrópicas, tais como: aumento da temperatura, derretimento das geleiras, queimadas, desmatamento, escassez da água potável, uso indiscriminado de agrotóxicos/produtos químicos e o aumento da desigualdade social.

Esses aspectos e processos impactantes tendem aumentar: uma vez que não há políticas populacionais efetivas acompanhadas de um planejamento familiar na maioria dos países, principalmente, nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento.

A agropecuária deve atuar em consonância às políticas públicas com o objetivo de buscar ativamente parcerias com diversos atores da sociedade. Deve usar em seus processos de gestão e de pesquisa, os avanços tecnológicos na área de tecnologia da informação de forma a minimizar os efeitos negativos e promoção da qualidade de vida da população.

A sustentabilidade dos recursos naturais deve atender ao respaldo da Constituição Federal de 1988 em seu Art. 225. "Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial

à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Uma política de sustentabilidade deve ser pensada de forma ampla e interdisciplinar: agir localmente e pensar globalmente de acordo com a Agenda 21.

Assim sendo, as questões explanadas nessa pesquisa está longe de uma solução em curto e médio prazo - o tema é amplo e com várias especificidades. O desafio do desenvolvimento sustentável na agropecuária exige adoção de múltiplas estratégias e interdisciplinaridade. As políticas públicas precisam se adequar à nova realidade contemporânea e adotar medidas socioambiental e econômica para a realidade de cada região.

Nesse sentido, é fundamental contar com assistência técnica e informação sobre as práticas e benefícios que possam ser usufruídos de programas, como o Plano ABC, assim como informar aos agricultores a forma mais eficiente de utilizar o financiamento disponível em seu estabelecimento. O produtor será, então, capaz de reduzir os impactos ambientais negativos e suas externalidades, bem como aumentar a produção agropecuária em bases sustentáveis, com a real possibilidade de ampliar os rendimentos provenientes de suas atividades.

## 5. Agradecimentos

Ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) pela contribuição ao meu aprendizado e crescimento.

Ao meu orientador Dr. Maurício Novaes Souza pela dedicação e correção do texto.

Aos docentes que sempre demonstraram engajamento e incentivo aos alunos a persistirem em seus projetos de vida.

Ao Programa de Pós-graduação em Agroecologia e Sustentabilidade, por promover a minha visibilidade em relação aos problemas socioambientais e as possibilidades de mudança.

## 6. Referências bibliográficas

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Perfil da pecuária no Brasil**. BeefREPORT, 50 p., 2020.

ADEGBEYE, M. J. *et al.* Sustainable agriculture options for production, greenhouse gasses and pollution alleviation, and nutrient recycling in emerging and transitional nations - An overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, p. 118-132, 2020.

ANDRADE, R. G. *et al.* Pasture evapotranspiration as indicators of degradation in the Brazilian Savanna: a case study for Alto Tocantins watershed. **Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVI**, v. 9239, p. 92391Z, 2014.

AGRO em DIA. **Com tratamento de dejetos animais, Brasil supera metas na pecuária sustentável**, 2019. Disponível em: <https://agroemdia.com.br/2019/12/20/com-tratamento-de-dejetos-animais-brasil-supera-metas-na-pecuaria-sustentavel>. Acesso em: 24 mar. 2021.

ARIAS, M. E. *et al.* Impacts of climate change and deforestation on hydropower planning in the Brazilian Amazon. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 6, p. 430-436, 2020.

ARRAES, R. de A. E.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n. 1, p. 119-140, 2012.

AUGUSTO, L. G. S.; CARNEIRO, F. F.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A. C. **Dossiê Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde: agrotóxicos, saúde, ambiente e sustentabilidade**. Associação Brasileira de Saúde Coletiva. Rio de Janeiro: ABRASCO, 2012.

BALL, P. Acting on the global food crisis. **The Lancet**, v. 386, n. 10000, p. 1231, 2015.

BARROS, C. J.; CAMPOS, A. (Colab.) **“DESERTO VERDE” – Os impactos do cultivo de eucalipto e pinus no Brasil**. Superintendência Regional do Trabalho e Emprego de Santa Catarina, p.1-25, 2011.

BARTIZ, M. L. C. *et al.* **Sistema Plantio Direto: o passado mais presente do que nunca!** Disponível em: <https://febrapdp.org.br/noticias/904/sistema-plantio-direto-o-passado-mais-presen-te-do-que-nunca>. Acesso em: 19 mar. 2021.

BASTOS, A. C. S.; FREITAS, A. C. Agentes e processos de interferência, degradação e dano ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.17-75.

BEDDINGTON, J. R. *et al.* What Next for Agriculture After Durban? **Science**, v. 335, n. 6066, p. 289-290, 2012.

BERNARDES, M. S. **Sistemas Agroflorestais**. In: XXXIII SECITAP. Jaboticabal: UNESP, Palestra. 2008.

BLANCO-CANQUI, H.; WORTMANN, C. S. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review. **Soil and Tillage Research**, v. 198, p. 104-134, 2020.

BOINOT, S. *et al.* Distribution of overwintering invertebrates in temperate agroforestry systems: Implications for biodiversity conservation and biological control of crop pests. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 285, p. 106-130, 2019.

BONAUDO, T. *et al.* Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 43-51, 2014.

BRANCO, S. M. Conflitos conceituais nos estudos sobre meio ambiente. **Estudos Avançados**, v. 9, n. 23, p. 217-233, 1995.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: **Senado Federal: Centro Gráfico**, 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 02 mar. 2021.

BRASIL. **Lei nº 7802, de 11 de julho de 1989**. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 1989.

BRINKMAN, M. L. J. *et al.* Interregional assessment of socio-economic effects

of sugarcane ethanol production in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 88, p. 347-362, 2018.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia**: alguns conceitos e princípios. Brasília: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A.; PAULUS, G. **Agroecologia**: uma ciência do campo da complexidade. Brasília: MDS/Embrapa, 2009.

CAPRA, F. **The Web of Life**: The New Scientific Understanding of Living Systems. New York: Anchor, 1996. 347p.

CARVALHO, L. R. *et al.* Nodulation and biological nitrogen fixation (BNF) in forage peanut (*Arachis pintoi*) cv. Belmonte subjected to grazing regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 278, p. 96-106, 2019.

CARVALHO, M. M. **Recuperação de pastagens degradadas**. Coronel Pacheco: [s.n.], 1993.

CARVALHO, W. T. V. *et al.* Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **Pubvet**, v. 11, n. 10, p. 1036-1045, 2017.

CONASQ - Comissão Nacional de Segurança Química. 2003. **Perfil nacional da gestão de substâncias químicas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA).

COSTA, T. V. da; VENZKE, T. S. L. Regeneração natural em Mata de Restinga em área de pecuária extensiva no Município de Pelotas, extremo Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 339-347, 2017.

COSTA, M. P. *et al.* A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1460-1471, 2018.

DANG, Y. P. *et al.* Strategic tillage in no-till farming systems in Australia's northern grains-growing regions: II. Implications for agronomy, soil and environment. **Soil and Tillage Research**, v. 152, p. 115-123, 2015.

DÍAZ-ZORITA, M.; DUARTE, G. A.; GROVE, J. H. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. **Soil and Tillage Research**, v. 65, n. 1, p. 1-18,

2002.

DU, Z. *et al.* The effect of no-till on organic C storage in Chinese soils should not be overemphasized: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 236, p. 1-11, 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Trajatória da agricultura brasileira - Uma viagem ao passado para pensar no futuro**, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 10 ago. 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Integração Lavoura-Pecuária: uma proposta de produção sustentável para a região do Cerrado, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/9418/integracao-lavoura-pecuaria-uma-proposta-de-producao-sustentavel-para-a-regiao-do-cerrado>. Acesso em: 17 mar. 2021.

ERI, M. *et al.* Capitalizing on opportunities provided by pasture sudden death to enhance livestock sustainable management in Brazilian Amazonia. **Environmental Development**, v. 33, p. 1074-1099, 2020.

ESTEVES, E. M. M. *et al.* Greenhouse gas emissions related to biodiesel from traditional soybean farming compared to integrated crop-livestock systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 81-92, 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Representante da FAO Brasil apresenta cenário da demanda por alimentos**, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/901168/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

FERNANDES, M. da S.; FINCO, M. V. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária e políticas de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 182-190, 2014.

FERREIRA, A. *et al.* Brazilian poultry activity waste: Destinations and energetic potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 3081-3089, 2018.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v. 19, n.

53, p. 157-166, 2005.

FUGLIE, K. O. Is agricultural productivity slowing? **Global Food Security**, v. 17, p. 73-83, 2018.

GALLOWAY, J. N. *et al.* Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions. **Science**, v. 320, n. 5878, p. 889-892, 2008.

GARCIA, G.; CARDOSO, A. A.; SANTOS, O. A. M. dos. Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1468-1476, 2013.

GEORGIN, J. Plantio de *Pinus elliottii* em pequenas propriedades rurais no norte do Rio Grande do Sul. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v. 14, n. 3, p. 3341-3345, 2014.

GERBER, P. J. *et al.* **Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013.

GIGUET-COVEX, C. *et al.* Long livestock farming history and human landscape shaping revealed by lake sediment DNA. **Nature Communications**, v. 5, n. 3211, p. 1-7, 2014.

GODFRAY, H. C. J.; GARNETT, T. Food security and sustainable intensification. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 369, n. 20120273, p. 6-11, 2014.

GUZHA, A. C. *et al.* Effects of conversion of native cerrado vegetation to pasture on soil hydro-physical properties, evapotranspiration and streamflow on the Amazonian agricultural frontier. **PLoS ONE**, v. 12, n. 6, p. 1-22, 2017.

HUANG, J. *et al.* Responses of soil nitrogen fixation to *Spartina alterniflora* invasion and nitrogen addition in a Chinese salt marsh. **Scientific Reports**, v. 6, p. 1-8, 2016.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, L. C. G. S. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura de soja**, Embrapa Londrina, Circular Técnica, n. 35, p. 15, 2001.

HUNKE, P. *et al.* The Brazilian Cerrado: Assessment of water and soil

degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology**, v. 8, n. 6, p. 1154-1180, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA**, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?=&t=destaques>. Acesso em: 10 ago. 2020.

INPE. **A área de vegetação nativa suprimida no Bioma Cerrado no ano de 2019 foi de 6.484 km<sup>2</sup>**, 2019. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias-obt-inpe/a-area-de-vegetacao-nativa-suprimida-no-bioma-cerrado-no-ano-de-2019-foi-de-6-484-km2>. Acesso em: 3 ago. 2020.

INPE. **Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**, 2020. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 3 ago. 2020.

IVERSEN, E. K. *et al.* Moving (back) to greener pastures? Social benefits and costs of climate forest planting in Norway. **Land Use Policy**, n. 1430, p. 104390, 2019.

JOBIM, P. F. C. *et al.* Existe uma associação entre mortalidade por câncer e uso de agrotóxicos? Uma contribuição ao debate. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 15, p. 277-288, 2010.

KASTNER, T. *et al.* Global changes in diets and the consequences for land requirements for food. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 18, p. 6868-6872, 2012.

KAY, S. *et al.* Agroforestry is paying off – Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. **Ecosystem Services**, v. 36, 2019.

KERMAH, M. *et al.* N<sub>2</sub>-fixation and N contribution by grain legumes under different soil fertility status and cropping systems in the Guinea savanna of northern Ghana. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 261, p. 201-

210, 2018.

KHALIL, M. *et al.* Waste to energy technology: The potential of sustainable biogas production from animal waste in Indonesia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 105, p. 323-331, 2019.

KLUTHCOUSKI, J. *et al.* **Renovação de pastagens de cerrado com arroz: I. Sistema Barreirão**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1991. Disponível em: [http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAP/1907/1/doc\\_33.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAP/1907/1/doc_33.pdf). Acesso em: 12 maio 2019.

KOCH, M. M.; HENKES, J. A. A interferência das plantações de pinus spp nos ecossistemas dos Campos de Cima da Serra, RS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 64-91, 2013.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e Manejo do Sistema Plantio Direto**. 1ª Edição ed. Passo Fundo/RS: Embrapa Trigo, 2000.

LAWRENCE, D.; VANDECAR, K. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 1, p. 27-36, 2015.

LEITE-FILHO, A. T.; COSTA, M. H.; FU, R. The southern Amazon rainy season: The role of deforestation and its interactions with large-scale mechanisms. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 4, 2020.

LEITE, J. R. M.; AYALA, P. DE A. A transdisciplinaridade do direito ambiental e a sua equidade intergeracional. **Sequência: Estudos Jurídicos e Políticos**, v. 21, n. 41, p. 113-136, 2000.

LEMAIRE, G. *et al.* Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 4–8, 2014.

LENZ, A. M. *et al.* Expansion of eucalyptus energy plantations under a Livestock-Forestry Integration scenario for agroindustries in Western Paraná, Brazil. **Ecological Indicators**, v. 98, n. October 2018, p. 39-48, 2019.

MACEDO, C. M. Degradação de pastagens: conceitos e métodos de recuperação. Simpósio sobre sustentabilidade da pecuária de leite no Brasil. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPGL, 1999.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – PLANO ABCMapa**, 2012. Brasília/DF: [s.n.]. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2020.

MARTINS, M. C.; SOUZA, M. N. Uma análise das variáveis do desenvolvimento rural sustentável no uso da Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF) em municípios da Zona da Mata de Minas Gerais. Multifuncionalidades sustentáveis no campo: **Agricultura, pecuária e florestas**, v.5, p.10-15, 2013. Disponível em: <http://www.simbras-as.com.br>.

MARTINS, M. C.; ROMARCO, M. L.; SOUZA, M. N. Uma análise da implantação da integração lavoura pecuária floresta (ILPF) na microrregião de Viçosa, Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural da UFV**, v. 4, p. 154-163, 2013.

NUNES, M. R. *et al.* No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. **Geoderma**, v. 328, p. 30-43, 2018.

OLIVEIRA, A. C. L. de *et al.* Evaluation of Brazilian potential for generating electricity through animal manure and sewage. **Biomass and Bioenergy**, v. 139, p. 105-113, 2020.

OLIVEIRA, L. J. C. *et al.* Large-scale expansion of agriculture in Amazonia may be a no-win scenario. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 2, p. 21-24, 2013.

OLIVEIRA, O. C. de. *et al.* Chemical and biological indicators of decline/degradation of Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, n. 2, p. 289-300, 2004.

OLIVEIRA, P. P. A.; CORSI, M. **Recuperação de pastagens degradadas para sistemas intensivos de produção de bovinos Circular Técnica-Embrapa**, 2005. São Carlos, SP: [s.n.]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPPSE/15659/1/Circular38.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2020

ONU. Organização das Nações Unidas. **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU**, 2019. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/83427-populacao-mundial-deve-chegar-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu#:~:text=17%20Junho%202019>. Acesso em: 6 ago. 2020.

PEARCE, D. W.; BARBIER, E.; MARKANDIA, A. **Sustainable development and cost-benefit analysis**. London: London Environmental Economics Center, 1988. 425p.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of natural resources and the environment**. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1989. 378p.

PULROLNIK, K. **O estoque de carbono no solo em floresta de eucalipto e ILPF**. 2013. Disponível em: <https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/5-o-estoque-de-carbono-no-solo-em-floresta-de-euca/>. Acesso em: 15 mar. 2019.

PURSER, R. E. From global management to global appreciation: a transformative epistemology for a perspective world. **Organization & Environment**, v. 10, n. 4, p.361-383, 1997.

PEZARICO, C. R. *et al.* Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. Revista de Ciências Agrárias - **Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

PLANO ABC. **Adoção e mitigação de Gases de Efeitos Estufa pelas tecnologias do Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas**. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-em-numeros/arquivos/Resumo\\_daadooemitigaodegasesdeefeitosestufapelastecnologiasdoPlanoABCPerodo2010a2018nov.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-em-numeros/arquivos/Resumo_daadooemitigaodegasesdeefeitosestufapelastecnologiasdoPlanoABCPerodo2010a2018nov.pdf). Acesso em: 02 mar. 2021.

PLANO ABC. **Agricultura de baixo carbono faz 10 anos**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/57277971/agricultura-de-baixo-carbono--plano-abc-faz-10-anos>. Acesso em: 03 mar. 2021.

RAJÃO, R.; CARVALHO, E. B. DE; MERRY, F. Appropriations, conflicts and

subversions: the social construction of the Brazilian Forest Code. Tapuya: **Latin American Science, Technology and Society**, p. 1-20, 2020.

RATTER, J. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, n. 3, p. 223-230, 1997.

REJILI, M. *et al.* Symbiotic nitrogen fixation of wild legumes in Tunisia: Soil fertility dynamics, field nodulation and nodules effectiveness. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 157, p. 60-69, 2012.

RIPPLE, W. J. *et al.* World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. **BioScience**, v. 67, n. 12, p. 1026-1028, 2017.

ROWEN, E.; TOOKER, J. F.; BLUBAUGH, C. K. Managing fertility with animal waste to promote arthropod pest suppression. **Biological Control**, v. 134, p. 130-140, 2019.

SAATH, K. C. de O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 2, p. 195-212, 2018.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema Plantio Direto - 500 perguntas, 500 respostas**. 1ª edição ed. Brasília/DF: Embrapa-SPI; Dourados: Embrapa-CPAO, 1998.

SANTANA, V. S.; MOURA, M. C. P.; NOGUEIRA, F. F. e. Mortalidade por intoxicação ocupacional relacionada a agrotóxicos, 2000-2009, Brasil. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 47, n. 3, p. 598-606, 2013.

SANTOS, I. F. S. dos. *et al.* Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 131, p. 54-63, abr. 2018.

SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Por que a produção de alimentos depende tanto de agrotóxicos?** 2019. Disponível em: <http://www2.senar.com.br/Noticias/Detalhe/12415>. Acesso em: 19 abr. 2021.

SILVA, D. D. E; FELIZMINO, F. T. A.; OLIVEIRA, M. G. Avaliação da degradação ambiental a partir da prática da cultura do feijão no município de Tavares, PB. **Revista HOLOS**, v. 8, p.148-165, 2015.

SILVA, R. de O. *et al.* Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 5, p. 493-497, 2016.

SINGH, B. R.; STEINNES, E. Soil and water contamination by heavy metals. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Eds.). **Soil processes and water quality: advances in soil science**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1994. p.233-271.

SIQUEIRA, D. F. de. *et al.* Análise da exposição de trabalhadores rurais a agrotóxicos. **Revista Brasileira em Promoção da Saúde**, v. 26, n. 2, p. 182-191, 2013.

SHEN, Y. *et al.* An environmental friendly animal waste disposal process with ammonia recovery and energy production: Experimental study and economic analysis. **Waste Management**, v. 68, p. 636-645, 2017.

SHIGAEVA, J.; DARR, D. On the socio-economic importance of natural and planted walnut (*Juglans regia* L.) forests in the Silk Road countries: A systematic review. **Forest Policy and Economics**, v. 118, p. 102-133, 2020.

SMITH, J. *et al.* Potential yield challenges to scale-up of zero budget natural farming. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 3, p. 247-252, 2020.

SNIF. Sistema Nacional de Informações Florestais. **As Florestas Plantadas**. Disponível em: <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/florestas-plantadas/405-as-florestas-plantadas?modal=1&tipo=tableau>. Acesso em: 21 ago. 2020.

SOARES FILHO, C. V. Tratamentos físico-mecânicos, correção e adubação para recuperação de pastagens. Encontro sobre recuperação de pastagens. **Anais...** Nova Odessa/SP: IZ, 1993

SOUZA, M. N. **Degradação Antrópica e Procedimentos de Recuperação Ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v.1000. 376p.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais**. Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015, v. 5000. 376 p.

SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021. 133p.

SOUZA, M. L. P.; SOUZA, D. M. P.; LUCCHESI, L. A. C. Retenção de água em duas unidades de solos sob floresta de *Pinus elliottii* e campo nativo. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 4, p. 17-22, 1982.

SPADOTTO, C. A. *et al.* **Monitoramento do Risco Ambiental de Agrotóxicos**: princípios e recomendações. (Documentos 42) Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente, 2004. 29 p.

SPERA, S. A.; WINTER, J. M.; PARTRIDGE, T. F. Brazilian maize yields negatively affected by climate after land clearing. **Nature Sustainability**, v. 4, 2020.

STEPHENS, L. *et al.* Archaeological assessment reveals Earth's early transformation through land use. **Science**, v. 365, n. 6456, p. 897-902, 2019.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* No When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 84-97, 2014.

SULC, R. M.; FRANZLUEBBERS, A. J. Exploring integrated crop-livestock systems in different ecoregions of the United States. **European Journal of Agronomy**, v. 57, n. 2013, p. 21–30, 2014.

SUTTON, M. A. *et al.* Towards a climate-dependent paradigm of ammonia emission and deposition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, n. 1621, p. 201-216, 2013.

TORRES, C. M. M. E. *et al.* Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 79, p. 235, 2014.

TRIGUEIRO, A. (org.). **Meio ambiente no século 21**. 4. ed. Editora Sextante. Rio de Janeiro, 2003, p. 367.

UWIZEYE, A. *et al.* Nitrogen emissions along global livestock supply chains. **Nature Food**, v. 1, p. 1-10, 2020.

WEID, J. M. **A promoção do desenvolvimento rural sustentável e o papel do movimento sindical dos trabalhadores e trabalhadora rurais:**

Comentários e subsídios ao documento base para o VII Congresso Nacional dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais. Brasília: Contag, 1997.

WEINERT, J. R.; WILLIAMS, C. A. Recovery of Pasture Forage Production Following Winter Rest in Continuous and Rotational Horse Grazing Systems. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 70, p. 32-37, 2018.

WITHERS, P. J. A. *et al.* Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2018.

XU, H. *et al.* Soil nitrogen concentration mediates the relationship between leguminous trees and neighbor diversity in tropical forests. **Communications Biology**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2020.

YADAV, G. S. *et al.* No-till and mulching enhance energy use efficiency and reduce carbon footprint of a direct-seeded upland rice production system. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, p. 122-129, 2020.

YUAN, S. L. *et al.* RNA-Seq analysis of nodule development at five different developmental stages of soybean (*Glycine max*) inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* strain 113-2. **Scientific Reports**, v. 7, n. February, p. 1-14, 2017.

ZHAO, Y. *et al.* Effect of root interaction on nodulation and nitrogen fixation ability of alfalfa in the simulated alfalfa/triticale intercropping in pots. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020.

## **Autores**

João Otávio da Silva Malaquias, Silvia Aline Bérghamo Xavier, Maria Amélia Bonfante da Silva, Priscilla Moreira Curtis Peixoto, Maurício Novaes Souza\*, Credigar Gonçalves Moreira, Hilton Moura Neto, Alex Justino Zacarias, César Santos Carvalho, Rodolpho Torezani

Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500- 000, Alegre-ES, Brasil.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)

---

## Práticas de conservação de solo e água com ênfase nas “barraginhas”

Vinícius de Freitas Mateus, Adriana Silva Florindo, Bruno Fazolo Repposi, César Santos Carvalho, Cristiano de Oliveira, João Otávio da Silva Malaquias, Leticia Bremide Leal, Jéssica Martins dos Reis, Ricardo Garcia Lima, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c5>

### Resumo

A água e o solo são recursos naturais finitos. São fundamentais para a manutenção da vida no planeta: logo, o manejo adequado desse recurso é de extrema e vital importância. A utilização dos recursos naturais de forma negligenciada vem gerando impactos e externalidades negativas principalmente relacionadas à ausência de práticas conservacionistas nas atividades agropecuárias: causam tanto a perda de solo quanto alterações na dinâmica dos corpos hídricos. No estado do Espírito Santo, para cada seis (6) ha cultivados, tem-se aproximadamente 1 ha degradado. Sendo assim, a utilização do solo deve ser feita a partir de prévio planejamento para que seja possível obter a desejada conservação e o aproveitamento das águas da chuva, visando a redução das perdas por escoamento superficial e do solo por erosão. Para isso, utilizam-se as técnicas de manejo e conservação do solo e da água, que se dividem em práticas edáficas, vegetativas e mecânicas. O presente trabalho tem por objetivo descrever de forma simplificada tais técnicas, com ênfase nas “barraginhas”. Para que se obtenha sucesso nos procedimentos de conservação de solo e água, são recomendadas práticas conservacionistas voltadas à redução do transporte das partículas do solo e que favoreçam o aumento da infiltração de água no perfil do solo. Faz-se necessário reduzir o escoamento superficial e as perdas de água, trabalhando a rugosidade e a permeabilidade do terreno, buscando a redução no volume e na velocidade das águas de enxurradas. As barraginhas se enquadram nessas práticas mecânicas: podem ter formato circular, semicirculares ou retangulares. Devem ser posicionados estrategicamente no caminho das águas em locais de conformação côncavas nas lavouras e nas pastagens, bem como em margens de estradas. Desta forma, aumenta-se o tempo de concentração da água nos agroecossistemas, favorecendo a infiltração da água no solo para a recarga

dos aquíferos. Apresentam-se com diâmetro médio de 16 m e 1,8 m de profundidade média.

**Palavras-chave:** Degradação ambiental. Conservação do solo e da água. Práticas conservacionistas. Barraginhas.

## 1. Introdução

A água é fundamental para a vida de todo ser vivo: o manejo consciente deste recurso é de extrema importância. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2020), o Brasil tem 12% de toda água potável do mundo; no entanto, mesmo com toda essa abundância não é um bem inesgotável. Além disso, nem todos têm acesso igual à água: o abastecimento é prejudicado em virtude das variações climáticas ao longo do ano e, ou, inadequações resultantes de limitações socioeconômicas.

O solo exerce papel tão importante quanto à água: por ser meio de seu armazenamento e indispensável ao crescimento e desenvolvimento vegetal. É imprescindível para a produção de alimentos, garantindo a segurança alimentar para população e, conseqüentemente, para a vida no planeta (COELHO *et al.*, 2014). Sendo um recurso tão importante dentro do ecossistema terrestre, o mesmo sofre as mais variadas formas de degradação, dentre elas aquelas provocadas pela erosão hídrica, que apresenta maior destaque degradador em decorrência do uso e manejo inadequados do solo (SILVA *et al.*, 1999; SOUZA, 2015).

A erosão hídrica pode ser definida como a desagregação e transporte de solo por meio da água. Basicamente é composta por quatro (4) etapas: erosão laminar, erosão em sulco, ravina e voçoroca - um processo sequencial e gradativo (CARVALHO; DINIZ, 2007; SOUZA, 2018).

PRUSKI (2003) descreve o processo de erosão: com o início do período das chuvas, parte do volume precipitado é interceptada pela vegetação e parte atinge a superfície do solo, provocando o umedecimento de seus agregados e reduzindo suas forças coesivas. Com a continuidade da ação das chuvas pode ocorrer a desintegração dos aglomerados (*splash*), com conseqüente desprendimento das partículas menores. A quantidade de solo desestruturado

umenta com a intensidade da precipitação e com a velocidade e o tamanho das gotas de chuva.

Dos processos que interferem no ciclo hidrológico, o escoamento superficial (ES) é considerado uma das mais importantes, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento das águas superficiais e a proteção do solo contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento (VILLELA, 1990 *apud* PRUSKI, 2003).

O fato é que a utilização dos recursos naturais de maneira imprudente tem provocado impacto e trazido consequências desastrosas para o meio ambiente: as florestas têm sido destruídas, a paisagem alterada, grandes extensões de terras em função da mudança de uso do solo perderam a fertilidade pela erosão decorrente da remoção da vegetação original provocando a perda dos nutrientes, parte da fauna foi dizimada e as fontes de água foram sendo reduzidas (BENNETT, 1939; SOUZA, 2015).

Os principais fatores que geram alterações no ciclo hidrológico são as mudanças de uso do solo, seguidas pela introdução de atividades agropecuárias sem o devido uso de práticas conservacionistas. Ocorre a compactação dos solos e erosão, atuando diretamente na taxa de infiltração, conseqüentemente, elevando as perdas por escoamento superficial: resulta na diminuição do abastecimento dos lençóis freáticos e na redução na reserva de água subterrânea (FAO, 2011; SOUZA, 2015).

Em estudo realizado pela Cedagro (2012), foi possível verificar no estado do Espírito Santo em torno de 400 mil ha de áreas degradadas, correspondendo a aproximadamente 17% de toda área cultivada; ou seja, para cada seis (6) ha cultivados, tem-se aproximadamente um (1) ha degradado.

Dessa forma, a utilização do solo deve ser feita com o devido planejamento, para que seja possível obter o maior aproveitamento da água da chuva, reduzindo as perdas por escoamento superficial e fornecendo condições para que ocorra a sua infiltração e abastecimento dos lençóis freáticos: o livre e o confinado (artesiano). Além de garantir o suprimento de água para as culturas, as criações e as comunidades, tem o caráter preventivo com relação à erosão, às inundações e ao assoreamento dos corpos hídricos (ZONTA *et al.*, 2012).

Cabe considerar que no ano 106 d.C, os nabateos já produziam alimentos no deserto de Neguev (com precipitação média anual de 100 a 150 mm), utilizando sistemas de captação de água superficial concentrada em tabuleiros nas partes baixas dos terrenos (EVERANI, 1968).

Mediante a todos os malefícios gerados pelas atividades antrópicas, torna-se necessário traçar estratégias para recuperar as condições produtivas de nossos solos e auxiliar na retenção de água visando a recarga dos aquíferos. Para isso, podem-se utilizar as técnicas de manejo e conservação de solo e água, que é definida por Baruqui (1981) e Souza (2018), como a prática de se utilizar a terra, dentro dos limites de praticabilidade econômica, de acordo com suas potencialidades e necessidades, mantendo-a permanentemente produtiva, sem a possibilidade do surgimento de processos que conduzam à sua degradação.

Atualmente, tem-se o conhecimento de variadas práticas edáficas, vegetativas e mecânicas. Assim, o presente estudo tem por objetivo descrever de forma simplificada tais práticas, com destaque às “barraginhas”.

## 2. Práticas Conservacionistas

Para a obtenção de sucesso nos procedimentos de conservação do solo e da água são recomendadas algumas práticas conservacionistas. Estão fundamentadas em três vertentes principais (MORGAN, 2005):

- ✓ A primeira se baseia na cobertura vegetal do solo com intuito de evitar o transporte das partículas que o compõe e conseqüentemente reduzir a sua degradação;
- ✓ A segunda trabalha com a infiltração de água no solo, buscando reduzir o escoamento superficial e as perdas de água e solo;
- ✓ Por fim, a terceira vertente trabalha a rugosidade do terreno, que tem por objetivo reduzir o volume e velocidade do escoamento superficial e conter partículas de solo advindas do processo erosivo.

Ou seja, são atividades que buscam manter ou maximizar a capacidade produtiva do solo; além disso, visam a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo (BAHIA *et al.*, 1976; BESEN, 2018). De maneira geral as

técnicas de manejo e conservação do solo e da água são divididas em três (3) grupos de práticas: a) edáficas; b) vegetativas; e c) mecânicas.

## **2.1. Práticas Edáficas**

Essas tecnologias são utilizadas para melhorar a fertilidade e as condições morfológicas do solo na fase de plantio e condução da lavoura, possibilitando um crescimento rápido e sadio das plantas, promovendo maior cobertura e proteção do solo na ocorrência de precipitações.

Estas práticas desempenham papel importante na melhoria da fertilidade do solo; no entanto, não se pode considerar somente este fator para conter os processos erosivos. Queimadas, por exemplo, contribuem para destruição da matéria orgânica ou a sua perda via águas do escoamento superficial (BERTONI, 2008; SOUZA, 2015).

### **2.1.1. Resíduos vegetais**

Nesse contexto, o controle de queimadas é de grande importância - apesar da sua praticidade e facilidade na limpeza de áreas, o uso dessa técnica deve ser evitada. Ao utilizar este procedimento ocorre a queima da matéria orgânica e a volatilização do nitrogênio, conseqüentemente empobrecendo o solo. Com a utilização frequente das queimadas o solo se torna cada vez mais seco, compactado e pobre em nutrientes, acarretando processos de degradação (ZONTA *et al.*, 2012).

Além disso, uma das maiores fontes de emissão de poluentes na atmosfera terrestre são as queimadas envolvendo biomassa (CRUTZEN; ANDREAE, 1990; CARVALHO *et al.*, 2010). Ito; Penner (2004) relatam que anualmente são lançadas 2.290 toneladas de gás carbônico na atmosfera advindos da combustão de biomassa.

Em relação as práticas de limpeza do solo, ressalta-se a importância da não queima dos resíduos vegetais. A cobertura do solo, proporcionada pelos resíduos culturais deixados na superfície, tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica: promove a dissipação da energia cinética das gotas da chuva, diminuindo a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial, aumentando a infiltração de água. Ainda atua na redução da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, reduz o potencial

erosivo da enxurrada (SLONEKER; MOLDENHAUER, 1977; COGO *et al.*, 1984; ZHOU *et al.*, 2002).

### **2.1.2. Adubação verde**

A adubação verde é uma prática bastante difundida nos dias atuais. Consiste basicamente no cultivo de espécies específicas para a sua incorporação ou cobertura do solo, ou ainda a incorporação de restos culturais e vegetação espontânea. Dessa forma promove a recomposição da matéria orgânica ao solo de maneira eficiente e com baixo custo. Este processo promove melhorias nos parâmetros físicos do solo e ainda estimula os processos químicos e biológicos (ZONTA *et al.*, 2012; NASCIMENTO; JAEGGI; SOUZA, 2017).

De acordo com Verдум *et al.* (2016), a adubação verde tem o propósito de fornecer nitrogênio (N) e elementos que possam favorecer o desenvolvimento de espécies com interesse comercial. Preconiza-se a utilização de fabáceas: este grupo de plantas, além de promover a fixação biológica de N, tem boa produção de massa verde e seca. De acordo com Nascimento; Jaeggi; Souza (2017), esta prática tem como maior vantagem a aplicabilidade em solos com qualquer textura: melhora as suas características físicas e químicas, promovendo a estabilidade dos solos e a melhor nutrição das culturas. Dessa forma, ameniza os problemas erosivos por promoverem a retenção da água da chuva.

Além disso, a adubação verde, consorciada ou em sucessão de culturas, tem sido sugerida como prática para manutenção ou elevação do teor de matéria orgânica no solo (GONÇALVES; CERETTA, 1999) (Figura 1).



**Figura 1.** Coqueiral consorciado com milho e adubação verde com crotalária.  
Fonte: Arquivo pessoal (2019).

### 2.1.3. Rotação de culturas

Outra prática importante é a rotação de culturas: consiste em alternar espécies vegetais, dentro de uma mesma área e no mesmo período agrícola, ao longo de anos de cultivo. As plantas de cobertura servem para formação da palhada na superfície do solo, culminando na redução de gastos com fertilizantes nitrogenados e herbicidas (MUZILLI *et al.*, 1983; AITA *et al.*, 1994).

Visando a melhoria da fertilidade do solo, faz-se necessário a reposição de nutrientes perdidos por processos erosivos ou extraídos pelas culturas. Neste caso, este procedimento se faz necessário para que o solo se mantenha em boas condições para o desenvolvimento das plantas, mantendo sua proteção natural contra erosão. Podem ser utilizados adubos de origem orgânica ou sintética, podendo ser aplicados de maneiras diversas. Podem-se citar o esterco de curral, compostos, granulados, farelados, entre outros.

No caso dos adubos de origem orgânica, ainda tem-se como vantagem a melhoria das condições físicas do solo. Além da adubação, a calagem é de grande importância, sendo o procedimento utilizado em solos com pH abaixo do ideal para o desenvolvimento das culturas: em condições de acidez a absorção dos nutrientes é comprometida (ZONTA *et al.*, 2012; VERDUM *et al.* 2016; CAMPOS *et al.*, 2018).

Cabe considerar que cultivar plantas nas entressafras das culturas que produzam grande quantidade de palhada e possuam potencial alelopático, na forma de adubação verde com poáceas e fabáceas, é crucial para o manejo das plantas espontâneas na agricultura orgânica e, ou, agroecológica. Além disso, protege o solo dos efeitos deletérios da incidência solar e das precipitações sobre o solo sem cobertura (SOUZA; REZENDE, 2014; SOUZA, 2021).

#### **2.1.4. Sistema de plantio direto (SPD)**

Prática edáfica muito utilizada nos dias atuais (Figura 2). Contudo, sem a utilização de herbicidas é um dos grandes desafios da atualidade para a pesquisa em agroecologia. A implantação de rotação de culturas com grande produção de matéria vegetal para cobrir o solo, na forma de adubação verde com gramíneas e leguminosas, apresenta-se como uma das opções para solucionar tal problema (SOUZA; RESENDE, 2014).



**Figura 2.** Plantio direto de arroz sequeiro. Fonte: Grupo Cultivar (2020).

O SPD se fundamenta no não revolvimento e na cobertura permanente do solo; e na rotação de culturas. Sua utilização é de vital importância para a agricultura: é possível se evitar perdas causadas pela erosão que, além do solo, carrega para os cursos d'água, adubos e defensivos agrícolas,

constituindo-se em fonte de poluição secundária e de degradação dos rios e outros mananciais.

## 2.2. Práticas Vegetativas

São práticas que tem o intuito de proteger o solo contra o impacto das precipitações, utilizando-se da vegetação para cumprir essa função de proteção (CATI, 2014). Podem-se utilizar vários procedimentos com esse propósito, dentre eles, o florestamento e o reflorestamento. Em solos pobres e descobertos, contribuem na sua proteção e dos recursos hídricos, além da geração de receita na propriedade. Em terrenos com declividade acentuada e nos topos de morros, o reflorestamento é o mais recomendado: além de ser uma questão legal por ser uma APP, promove a proteção do solo, contribui para a redução da erosão e favorece as zonas de recarga de aquíferos.

### 2.2.1. Integração Lavoura-pecuária-floresta

Se for bem planejado e manejado, seguindo a legislação e um plano de manejo, a técnica da Integração Lavoura-pecuária-floresta (ILPF), pode ser utilizada como fonte de madeira, carvão ou celulose, gerando renda para o produtor (Figura 3).



**Figura 3.** Plantio de espécie florestal em consórcio com milho. Fonte: EMBRAPA (2015).

Na atividade pecuária é sabido que pastagem mal manejada propicia os processos erosivos. Nesse contexto existem duas formas de manejo: a) a utilização de piquetes, respeitando o número de animais de acordo com a capacidade de suporte da área; e b) a integração lavoura-pecuária (ILP) (ZONTA *et al.*, 2012; MARTINS; ROMARCO; SOUZA, 2013; MARTINS; SOUZA, 2013) (Figura 4).



**Figura 4.** Sistema silvipastoril implantado a partir de ILP. Fonte: EMBRAPA (2015).

Atualmente, com a inserção de um componente florestal, o termo utilizado se refere à integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), sendo conceituado por Balbino *et al.* (2011), Martins; Romarco; Souza (2013) e Martins; Souza (2013) como uma estratégia que busca a sustentabilidade produtiva, integrando componentes agrícolas, pecuários e florestais, buscando melhorias no agroecossistema, atuando na adequação ambiental, social e econômica (Figura 5).

### **2.2.2. Cultivos em contorno**

Os cultivos em contorno são desenvolvidos em curva de nível, estabelecendo sua linha de plantio ou semeadura transversalmente à

declividade da área. Esta técnica se apresenta mais eficiente em locais que possuam declividade de até 3 graus e ainda apresenta boa proteção contra chuvas de intensidade média e baixa, principalmente em locais de relevo ondulado. Tem maior eficiência em locais de pouco declive com pouco comprimento de rampa (Figura 6).



**Figura 5.** Sistema ILPF - propriedade localizada no Município de Porto Firme, MG. Fonte: Martins; Romarco; Souza (2013).

Os cordões de vegetação permanente seguem o princípio do plantio em curvas de nível. No entanto, são plantados de forma intercalada no entorno da cultura principal, reduzindo a velocidade da água. As plantas selecionadas para esta técnica devem: ser de ciclo longo; apresentar bom volume de raízes e desenvolvimento rápido da parte aérea; não devem ser invasoras, hospedeiro de pragas e doenças que possam atacar a cultura; e ainda, se possível, apresentar valor comercial ou de utilidade na propriedade.



**Figura 6.** Cultivo em contorno. Fonte: López-Falcón (2015).

### 2.2.3. Cultivo em faixas

É realizado em curva de nível, diferindo-se dos exemplos anteriores na utilização de espécies agrícolas, sendo cultivadas em faixas alternadas (Figura 7). Geralmente são utilizadas plantas de boa cobertura com espécies de maior exposição do solo, apresentando basicamente as mesmas vantagens das técnicas anteriores (VERDUM *et al.*, 2016).



**Figura 7.** Cultivo em faixas. Fonte: Avendaño (2017).

Em cultivos perenes, a capina das plantas daninhas deve ser evitado: devem ser realizadas roçadas, mantendo sempre atenção com a sua frequência para que não ocorra prejuízo para a cultura principal (Figura 8). O objetivo é que o solo seja mantido coberto e protegido das precipitações: facilita a infiltração de água e mantém o solo úmido. No caso de necessidade da utilização de capinas, o ideal é que sejam realizadas em faixa, sempre mantendo uma ou duas faixas com vegetação à montante daquela capinada (ZACARIAS *et al.*, 2019).

Um dos prejuízos gerados por solos desnudos é a decomposição acelerada da matéria orgânica devido à incidência solar direta que promove a elevação da temperatura. Como consequência imediata, a redução da atividade biológica e o favorecimento dos processos erosivos. Nessa mesma linha de raciocínio é possível utilizar restos vegetais ou palhadas - promove o aumento da agregação das partículas do solo e da macroporosidade em virtude da elevada atividade biológica. Além disso, funciona como barreira física contra a força da água (ZONTA *et al.*, 2012; ZACARIAS *et al.*, 2019). De acordo com Raij *et al.* (1993), 53% das perdas de solo e 57% das perdas de água, podem ser evitadas utilizando-se cobertura morta.



**Figura 8.** Lavoura de café recém-implantada na Fazenda do Sistema APRomero, Serra da Canastra, MG. Fonte: Arquivo pessoal (2019).

#### 2.2.4. Rotação de culturas

Franchini *et al.* (2011) definem a rotação de culturas como a alternância de diferentes espécies agrícolas de forma ordenada, em uma determinada janela temporal, ou seja, dentro de um determinado ciclo; no caso da sucessão, as espécies são ordenadas de maneira que permaneçam na área por tempo indeterminado (permacultura): cada cultura é estabelecida num período do ano, sendo técnicas utilizadas de forma isolada ou associadas.

Geralmente, utilizam-se leguminosas para adubação verde em função da fixação biológica de nitrogênio: ocorre quando estão em associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium*. Sua incorporação ou trinchagem<sup>7</sup>, no início da floração (para evitar a multiplicação da espécie e reduzir o risco de se transformar em invasora), apresenta decomposição mais rápida, pois evita que a planta se torne fibrosa com material celulósico e lignoso (PRIMAVESI, 1984).

#### 2.2.5. Quebra-ventos ou cortinas de árvores

Prática vegetativa que deve ser usada contra os efeitos negativos dos ventos. Quebra-ventos ou cortinas de árvores são estruturas vegetais criadas pelo homem tendo por base os conhecimentos científicos e biológicos, destinadas a reduzir os danos causados pelos ventos e materiais por estes transportados (Figura 9).



**Figura 9.** Silvicultura como quebra vento na agricultura. Fonte: Sistema de Integração Silvicultura (2020).

<sup>7</sup> Cortar em pedaços ou fatias com o uso de trinchas sendo semi-incorporadas ao solo.

Ventos fortes podem carregar gotas de chuva, partículas de solo, neve ou granizo. Podem impactar os vegetais causando rupturas, quebras, abrasões, esmerilhamentos, entre outros. Esses efeitos são danosos às espécies vegetais: das hortaliças às árvores de grande porte, podendo ser tombadas ou irremediavelmente danificadas. Sobre flores, frutos, caules, hortaliças, podem ser danosos e afetar a competitividade do negócio ou mesmo de toda uma região. Esses efeitos, além dos danos físicos à vegetação, quando constantes e prolongados, podem causar a sua morte e, inclusive, desencadear processos regionais de desertificação (FOELKEL, 2016).

### **2.3. Práticas Mecânicas**

Tem como objetivo evitar o escoamento da água da chuva, as enxurradas, conduzindo o excesso de água por meio de terraços ou valetas, para locais protegidos com vegetação, bacias de retenção, onde será armazenada até sua infiltração, evaporação ou ser utilizada para dessedentação animal.

São estratégias utilizadas para reduzir a velocidade do escoamento da água no solo por meio de estruturas artificiais. Geram interferência direta nos estágios mais avançados dos processos erosivos, atuando de forma a impedir que a massa de água alcance energia suficiente para carrear partículas do solo (ZONTA *et al.*, 2012).

#### **2.3.1. Terraceamento**

Uma das técnicas bem difundidas é o terraceamento (Figura 10). O terraço é constituído por um dique e um canal construído no sentido transversal à declividade do terreno em intervalos dimensionados de maneira que o escoamento superficial (ES) seja controlado. O cálculo para construção é baseado nas características do terreno, tais como a declividade, o tipo, o uso e o manejo do solo e a precipitação local, levando em consideração a intensidade e o tempo de duração das chuvas. Além de conter a água do ES facilitando sua infiltração, também tem a função de reter as partículas de solo carregadas pela água, diminuindo as perdas de solo e reduzindo o assoreamento dos cursos de água (VERDUM *et al.*, 2016).

No entanto, não deve ser aplicado em regiões de solo raso, pedregoso,

arenoso, bem como em áreas com subsolo adensado ou com declividade acentuada. Para elevar a eficiência do terraceamento, outras técnicas conservacionistas devem ser combinadas, tais como plantio em curva de nível, manutenção da cobertura do solo, controle de queimadas e a rotação de culturas. Outro ponto importante é o planejamento quanto à construção de forma correta e eficiente, pois o custo de implantação é elevado (ZONTA *et al.*, 2012).



**Figura 10.** Terraceamento em áreas cultivadas. Fonte: Pena (2017).

A construção de pequenos terraços nas entrelinhas de culturas perenes é denominada “embaciamento”. Tem como vantagem a possibilidade da mecanização e a facilidade na utilização de carreadores quando comparado aos terraços (CATI, 2014) (Figura 11).



**Figura 11.** Terraceamento com curvas de nível. Fonte: Mundo da Educação (2017).

Os canais escoadouros (Figura 12) são estruturas rasas e largas, com declive moderado, construídos em locais resistentes à erosão (CATI, 2014). Tem a função de drenagem superficial, sendo normalmente estabilizado por vegetação natural ou artificial, podendo estar associados aos terraços ou pequenas barraginhas. Assim, coletam o excesso de água e partículas de solo proveniente dos processos erosivos. São construídos de maneira que a depressão natural do terreno seja aproveitada com secção trapezoidal ou parabólica.



**Figura 12.** Canais em plantio de berinjela. Fonte: Freepik (2019).

Em caso de fluxo contínuo estes canais não devem ser utilizados, pois a vegetação pode ser afetada pela presença constante da água, comprometendo a estabilidade do canal (Figura 13). A espécie a ser utilizada na estabilização dos canais deve ser tolerante às variações de temperatura, aos períodos prolongados de seca, além de suportar submersões periódicas. Ainda, deve apresentar rápido estabelecimento, com baixa capacidade de se tornar uma espécie invasora; porém, mantendo-se efetiva no melhor revestimento possível de solo. Não devem ser construídos de maneira que ocorra descarga de água diretamente para estradas, açudes, taludes e nos cursos de água, evitando processos erosivos e instabilidade em áreas adjacentes (VERDUM *et al.*, 2016).



**Figura 13.** Canal escoadouro. Fonte: Adaptado de Ferrarezi (2009).

### **3. Estudo de Caso: “Barraginhas”**

Além das práticas citadas anteriormente, tem-se as barraginhas, destacando-se ao longo dos anos. De acordo com Barros; Ribeiro (2009), em virtude do desmatamento ocorrido nas últimas décadas para a implantação de lavouras e pastagens, o solo vem sofrendo compactação ao longo desse processo. Como consequência, sofre processos erosivos que geram a perda de sua camada fértil, reduzindo a infiltração de água no solo.

Para amenizar esse processo, a Embrapa Milho e Sorgo desenvolveu o “Projeto Barraginhas” (Figura 14): basicamente são miniaçudes ou pequenos barramentos posicionados estrategicamente no caminho das enxurradas em lavouras, pastagens e beiras de estradas, permitindo a infiltração da água no solo. Apresentam-se em formato de prato ou meia lua, com diâmetro médio de 16 metros e 1,8 metros de profundidade média (BARROS *et al.*, 2013; LANDAU *et al.*, 2013) (Esquema para projetar barraginha: Anexo no final do Capítulo).

O projeto tem-se difundido em todo país. Entre os anos de 1998 e 2013 foram implantadas 50.566 barraginhas, a maior parte concentrada na Região Sudeste (40.976 em Minas Gerais); seguida pela Região Nordeste (7.700 no Piauí, 750 no Ceará, 140 em Sergipe); a Região Norte (700 no Tocantins) e Centro-Oeste (150 em Goiás e 150 no Mato Grosso) (LANDAU *et al.*, 2013).



**Figura 14.** Barraginha em área de pastagem. Fonte: Embrapa sorgo e milho (1998).

Posteriormente à etapa inicial da implantação das barraginhas, no formato circular ou semicircular, foi desenvolvido o formato retangular (coxinho) (Figura 15). As barraginhas retangulares são construídas em curva de nível e

indicadas para áreas com inclinação entre 12% e 20% (BARROS, Informação pessoal, EMBRAPA, 2019).

No dia 11 de outubro de 2018, o Governo do Estado do Espírito Santo por meio da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (SEAMA), assinou termo de cooperação técnica para a realização da transferência de tecnologia de “Barraginhas”. No ano de 2019, o Governo do Estado do ES implantou o projeto, “Capacitação, transferência de tecnologia e implantação do projeto Barraginhas da Embrapa em Microbacias no Estado do Espírito Santo”. Tem como objetivo geral possibilitar a transferência e disponibilização da tecnologia social “Barraginhas” por meio de ações de capacitações, adoção e multiplicação da tecnologia em microbacias do Estado. A implantação do projeto será em fazendas do Incaper - Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural, e estabelecimentos rurais localizados em microbacias que serão determinadas durante a execução do projeto. Serão priorizadas áreas que tenham apresentado problemas de abastecimento durante a estiagem ocorrida nos anos de 2015 e 2016, de acordo com as resoluções publicadas pela AGERH no período. O projeto vem sendo desenvolvido pelo Incaper (INCAPER, 2019).



**Figura 15.** Barraginha em formato retangular (coxinhos). Fonte: César S. Carvalho (2020); Solimar S. M. Gonçalves/Vinicius de F. Mateus (2019).

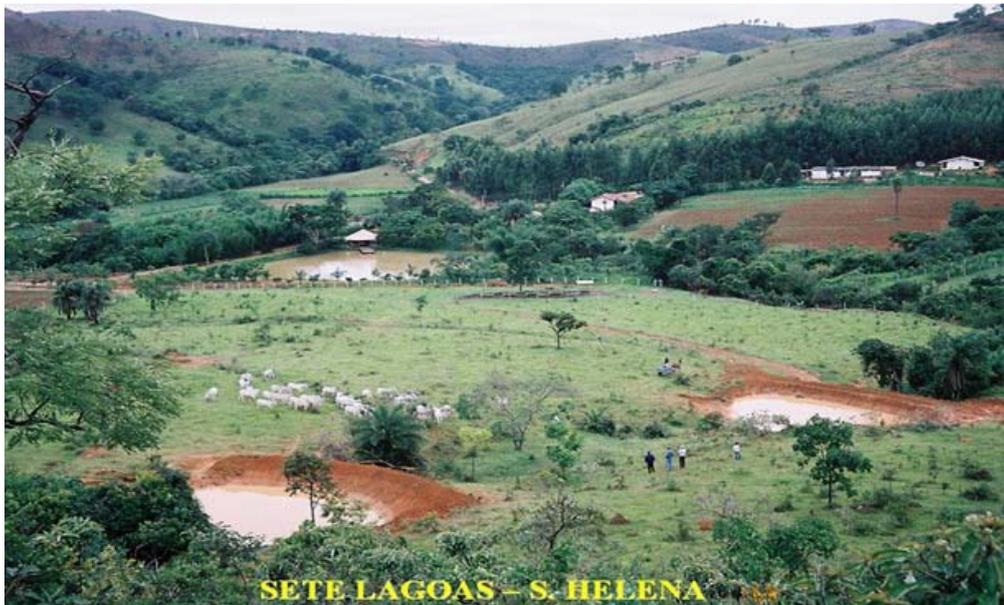
Esse mesmo modelo de “Cochinhos” pode ser usado com dupla finalidade: contenção de águas de chuva e disposição de efluentes em lavouras (Figura 16).



**Figura 16.** Infiltração de efluentes por percolação em “Cochinhos”. Fonte: Arquivo pessoal (2007).

Um fator chave para implantação das barraginhas é o produtor rural: sendo conhecedor dos locais de enxurrada em sua propriedade, deve ter total entendimento do projeto para que possa auxiliar o técnico na escolha dos melhores locais para implantação das barraginhas (BARROS, 2008).

É importante levar em consideração alguns pontos importantes antes da sua instalação (Figura 17). Barros *et al.* (2013) recomendam que seja selecionado local com até 12% de declividade, fora de áreas de preservação permanente (APP), de cursos de água perene, de grotas em “V” com barrancos muito profundos, fora de voçorocas; a área deve permitir acesso a maquinário para construção. Esses mesmos autores ainda recomendam que, em solos arenosos, o diâmetro deve ser aumentado para até 20 metros.



**Figura 17.** Barragem em área de pastagem na fazenda Santa Helena, Sete Lagoas, MG. Fonte: EMBRAPA (2016).

A infiltração da água por meio das barragens abastece os lençóis freáticos. Como consequência, mantêm as nascentes perenizadas, maximizando o aproveitamento da chuva, amenizando veranicos, enchentes e enxurradas (BARROS, 2008). Além desses benefícios, no entorno das barragens ocorre formação de uma franja úmida crescente, onde é possível cultivar algumas espécies de ciclo curto (Figura 18).



**Figura 18.** Franja úmida permitindo o cultivo do feijão safrinha, Sete Lagoas, MG. Fonte: EMBRAPA (2016).

Barros (2006) relata que em janeiro de 2006 ocorreram 35 dias de estiagem na região Central de Minas Gerais e 60 dias no Norte de Minas e Vale do Jequitinhonha: comprometeu praticamente toda a produção agrícola. No entanto, nas franjas úmidas das barraginhas do semiárido, na comunidade de Cansanção, o plantio de milho e feijão de agricultores familiares não sofreu déficit hídrico, garantindo a safra nesse período (Figura 19).



**Figura 19.** Demonstração das franjas úmidas formadas abaixo das barraginhas. Fonte: EMBRAPA (2016).

O mesmo autor relata que na mesma comunidade, na propriedade da Sra. Rosa, após a implantação de 3 barraginhas, a mesma supriu a necessidade hídrica de 20 famílias com água de boa qualidade de sua cacimba. Além disso, efetuou plantio de duas espigas de milho (Figura 20), fora da época da época ideal para o plantio, numa área de aproximadamente 1500 m<sup>2</sup> dividindo o local em 6 partes e irrigando uma por dia. Ao final do ciclo colheu 1200 espigas.



**Figura 20.** Milho produzido sob a franja úmida e o outro sob *stress* hídrico. Fonte: EMBRAPA (2016).

Mesmo em regiões com precipitação razoável a tecnologia social barraginhas é uma ferramenta fundamental para sustentabilidade da agricultura familiar. Ainda que com boas precipitações, são insuficientes devido à sua má distribuição ao longo do ano. As barraginhas, em conjunto com o lago de múltiplo uso, têm contribuído para geração de alimento, emprego e renda, contribuindo diretamente para a permanência do homem no campo e, em alguns casos, promovendo o seu retorno (BARROS; RIBEIRO, 2009; BARROS *et al.*, 2013).

Segundo Oliveira Filho; John (2018), o projeto barraginhas é ecologicamente sustentável, pois por meio do mesmo se verifica transformação positiva do meio ambiente. Acresce o capital natural e dinamiza a economia local: como consequência, melhora a qualidade de vida do produtor rural. Ainda, segundo esses mesmos autores, o projeto é um exemplo bem-sucedido da cooperação entre instituições governamentais, governo e sociedade civil.

Além das barraginhas, os lagos de múltiplo uso podem ser utilizados como tecnologia complementar nas propriedades: uma forma de armazenamento superficial de água. Podem ser utilizados com várias finalidades e garante a sustentabilidade hídrica para o produtor (Figura 21).



**Figura 21.** Lago de múltiplos usos em propriedade. Fonte: EMBRAPA (2016).

Esse sistema é de baixo custo. Utiliza lona plástica para impermeabilização, sendo construído basicamente em 3 padrões: a) o primeiro com formato circular - 30 m de diâmetro e 2 m de profundidade com capacidade de armazenamento de 600 m<sup>3</sup>; b) o segundo, também circular, 14 m de diâmetro e 1,2 m de profundidade, com capacidade de armazenamento de 100 m<sup>3</sup>; e c) o terceiro, com formato oval de 12 m x 7 m e 1 m de profundidade, armazenando 25 m<sup>3</sup> (BARROS *et al.*, 2013).

Outra prática de grande importância no meio rural é a locação adequada das estradas rurais. Bertolini *et al.* (1993) advertem que devem ser dimensionadas e configuradas de tal forma que atendam, em longo prazo, as demandas de tráfego e possibilitem o acesso às áreas cultivadas nas diversas estações do ano, sob as mais adversas condições climáticas.

Além disso, ajuízam que alguns requisitos devem ser observados para a preservação ambiental. Há de se proteger e conduzir as águas de tal modo que haja diminuição da degradação pelo excessivo assoreamento de rios e cursos de águas e pela contaminação por produtos químicos arrastados pela erosão (Figura 22).



**Figura 22.** Erosão em estradas rurais. Fonte: Gerson Tavares da Mota (2020).

Bacias de retenção, também conhecida como “lagoas molhadas”, são projetadas para interceptar um volume de escoamento de águas pluviais e para fornecer armazenamento e tratamento deste volume de enxurrada. A água pode ultrapassar o nível da bacia com o escoamento dos eventos subsequentes. Sua finalidade principal é a de transformar fluxos de águas superficiais em reserva de água subterrânea. Também, para remover os poluentes por meio de mecanismos como a filtração, adsorção e conversão biológica (SOUZA, 2014).

### **3.1. Cordão de pedra e barragem de contenção de sedimentos**

Essa prática é mais adaptada para pequenas áreas que possuem pedras aflorando à superfície em área próxima do local a ser protegido. A construção consiste na abertura de um canal, em nível, aonde as pedras vão sendo empilhadas formando uma barreira à ação das enxurradas.

Os cordões de pedras forçam a deposição de sedimentos, induzem o aumento da profundidade, a infiltração e o armazenamento da água no solo (Figura 23). São soluções ambientais relacionadas ao **manejo do solo e da água** em atividades produtivas, voltados para a prática de criação de pequenos animais em propriedades localizadas em regiões que sofrem constantemente déficits hídricos. Nesses locais, os resultados têm evidenciado a melhoria da renda das famílias e a **sustentabilidade** do empreendimento.

A barragem de contenção de sedimento e a instalação dos cordões de pedra possibilitam promover a recuperação do solo, abrigando nutrientes e passando a receber nova vegetação a partir da infiltração e armazenamento da água no solo. Deste modo, a vegetação e o solo se recuperaram com a técnica do “Inóculo de Serapilheira” - consiste na atuação em áreas pouco antropizadas buscar locais que contenham sementes e propágulos vegetativos de ervas, arbusto e árvores, além de bactérias, fungos, algas, protozoários, vermes, insetos, ácaros e de outras espécies que vivem no solo - vão propiciar o desenvolvimento da atividade microbiana do solo e repovoar a área com plantas superiores. A barragem de contenção evita a entrada de dejetos e assoreamento nos açudes quando chove e revitaliza o solo.



**Figura 23.** Barragem de contenção de sedimentos e cordões de pedras. Fonte: Agência EcoNordeste (2020).

#### **4. Considerações finais**

Dentre os benefícios proporcionados pelo Sistema Barraginhas está a contenção do avanço da degradação do solo provocada pelas enxurradas, as quais provocam erosões laminares e sulcadas, e arrastam sedimentos (solo e material orgânico) para os cursos d'água, empobrecendo o solo e comprometendo os recursos hídricos da propriedade.

- Ao conter as enxurradas, as barraginhas reduzem a erosão, o assoreamento e amenizam as enchentes;
- Ao “colher” a água da chuva, essas barraginhas proporcionam condições para que a água nelas represada se infiltre no solo, recarregando o lençol freático. Depois que a água se infiltra por completo, o lençol freático tem seu volume aumentado e a barraginha está pronta para receber as águas das próximas chuvas. Esse processo se repetirá sucessivamente em todo o ciclo chuvoso. Com isso, surgem minadouros e cacimbas, e os mananciais mantenedores das nascentes e os córregos se revitalizarão;
- As barraginhas umedecem as baixadas, proporcionando uma agricultura segura e alimentos de qualidade, além de gerar emprego e renda;
- Aumento da disponibilidade de água para irrigação, abastecimento humano e consumo animal; e
- Melhoria da sustentabilidade das propriedades rurais;

Por meio deste trabalho é possível concluir que se tem conhecimento de inúmeras técnicas de manejo e conservação de solo e água. No entanto, é necessário que a cultura da população, em especial os agricultores, seja trabalhada de forma que sejam demonstrados todos os benefícios que a aplicação de tais técnicas pode proporcionar, com objetivo de tornar as propriedades rurais unidades básicas de conservação de solo e água.

As premissas baseadas nas melhorias sociais, ambientais e econômicas devem ser trabalhadas de maneira conjunta para que todo processo voltado à preservação seja mais bem enfatizado e compreendido.

## 5. Agradecimentos

A Deus, às nossas famílias, ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), ao Professor Dr. Maurício Novaes Souza.

## 6. Referências Bibliográficas

AVENDAÑO, D. **Alternativas dentro del sistema**. Disponível em: [http://alternativasdentro\\_delsistema.blogspot.com/2017/05/cultivos-multiples-policultivos.html](http://alternativasdentro_delsistema.blogspot.com/2017/05/cultivos-multiples-policultivos.html). Acesso em: 20 fev. 2021.

BAHIA, V. G.; GUEDES, G. A.; CURI, N. **Conservação e manejo do solo**.

Lavras, ESAL, 1976. 152p.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)**. Brasília: Embrapa, 2011. 130p.

BARROS, L. C. Amenização de veranicos através da captação de água de chuvas por barraginhas, garantindo safras na agricultura familiar, em Minas Novas, MG. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo, Congresso Nacional de Milho e sorgo, 26. Belo Horizonte. **Anais...** ABMS, Sete Lagoas, 2006.

BARROS, L. C. Captação e uso de água, na propriedade, para múltiplos fins. In: ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. cap. 11, p. 487-506.

BARROS, L. C. *et al.* **Integração entre Barraginhas e lagos de múltiplo uso: o aproveitamento eficiente da água de chuva para o desenvolvimento rural**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sogro, 2013. 11 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 177).

BARROS, L. C.; RIBEIRO, P. E. A. **Barraginhas: água de chuva para todos**. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 49 p. (ABC da agricultura familiar, 21).

BARROS, L. C. **Informação pessoal**. EMBRAPA, 2019.

BARUQUI, A. M. Conservação do solo. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 7, n. 80, p. 26-39, 1981.

BENNETT, H. H. **Soil conservation**. New York: McGraw-Hill, 1939. 993p.

BERTOLINI, B. **Controle de erosão em estradas rurais**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. 37 p. (Boletim Técnico, 207)

BERTONI, J. **Conservação do solo**. São Paulo: ícone, 2008. – Edição 6

BESEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; MONTEIRO, A. N. T. R.; IWASAKI, G. S.; PIVA, J. T. Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no

Brasil. Santa Catarina, **Scientia Agropecuária**, v. 9, n. 3, jul./set., 2018.

CAMPOS, S. de A.; LANA, R. de P.; GALVÃO, J. C. C.; COELHO, S. P.; TROGELLO, E.; TAVARES, V. B.; SOUZA, M. N.; VELOSO, C. M. Uso de cama aviária na produção de milho e qualidade da silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, p. 373-387, 2018.

CARVALHO J. C. de; DINIZ N. C. **Cartilha Erosão**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2007. 34 p.

CARVALHO, J. A., VERAS, C. A. G., ALVARADO, E. C., SANDBERG, D. V., LEITE, S. J., GIELOW, R., RABELO, E. R. C., SANTOS, J. C. Under-story fire propagation and tree mortality on adjacent areas to an Amazonian deforestation fire. **International Journal of Wildland Fire**, v. 19, n. 6, p. 795-799, 2010.

CATI. Comissão Técnica de Conservação do Solo. **Boas Práticas em Conservação do Solo e da Água**. Coordenado por Mário Ivo Drugowich, Campinas, CATI 2014. 38 p. (Manual Técnico, 81).

CEDAGRO. Centro de Desenvolvimento do Agronegócio. **Levantamento de áreas agrícolas degradadas no estado do Espírito Santo**. Vitória, ES: Cedagro, 2012. 63 p.

COELHO, M. R.; FONTANA, A.; SANTOS, H. G. dos; PEREZ, D. V. **O solo e a sustentabilidade agrícola no Brasil**: um enfoque pedológico. Boletim Informativo da SBCS, p. 30-37, 2014.

CRUTZEN, P. J., ANDREAE, M. O. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. **Science**, v. 250, n. 1669-1678, 1990.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A.; DENARDIN, N.D.; WIETHOLTER, S. **Diretrizes do Sistema Plantio Direto no contexto da agricultura conservacionista**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 15p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 141). Disponível em: [https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/969148/1/documentos\\_online141.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/969148/1/documentos_online141.pdf). Acesso em: 01 jul. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. CORDOVAL, L. **Tecnologias sociais**. Sorgo e milho, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA Sorgo e milho, 2015. CORDOVAL, L. **Construção de barraginhas**. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2482206/barraginhas-e-lagos-mantem-agua-o-ano-todo>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA Sorgo e milho. CORDOVAL, L. **Barraginhas e seus benefícios**. Sete Lagoas, MG, 2016. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/38576935/barraginhas-e-seus-beneficios-sao-tema-de-exposicao-no-shopping-sete-lagoas>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, Sorgo e milho, 2018. **Barraginhas e lago de uso múltiplo**. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2482206/barraginhas-e-lagos-mantem-agua-o-ano-todo>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Práticas de Conservação de Solo e Água**. Circular Técnica, Campina Grande, PB. 2012. Disponível em: [https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500\\_perguntas\\_sistema\\_plantio\\_direto.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500_perguntas_sistema_plantio_direto.pdf). Acesso em: 20 mar. 2020.

EVENARI, M., *et al.* Runoff farming in the deserto I. Experimental layout. **Agronomy Journal**, v. 60, p. 29-32, 1968.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk**. Rome and Earthscan, London, 2011. 285 p.

FERRAREZI, R. S. **Uso, ocupação e conservação do solo**. Campinas: Conplant, 2009. 89 p.

FOELKEL, C. **Quebra-ventos e cortinas de árvores**. Disponível em: <http://www.celso>

foelkel.com.br/pinus/Pinus47\_Quebras\_Ventos\_Cortinas\_Arvores.pdf. Acesso em: 24 mar. 2021.

FRANCHINI, J. C.; DA COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52p. (Embrapa Soja. Documentos, 327).

FREEPIK, 2019. **Canais de irrigação de berinjela**. Disponível em: [https://br.freepik.com/fotos-premium/o-plantio-de-mudas-de-berinjela-e-regado-por-canais-de-irrigacao\\_10995736.htm](https://br.freepik.com/fotos-premium/o-plantio-de-mudas-de-berinjela-e-regado-por-canais-de-irrigacao_10995736.htm).

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 23, p. 307-313, 1999.

Governo do Estado do Espírito Santo: **Projeto Barraginhas começa a ser implementado no Espírito Santo**. Disponível em: <<https://www.es.gov.br/Noticia/projeto-barraginhas-comeca-a-ser-implementado-no-espírito-santo>>. Acesso em: 28 jul. 2020.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL- INCAPER. **Transferência e disponibilização da tecnologia social “Barraginhas”**. Documento nº 279.

LANDAU, E. C. *et al.* **Abrangência geográfica do projeto Barraginhas no Brasil**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 45 p.

LÓPEZ-FALCÓN, R.; ESPINOZA, F. **Degradación y manejo sostenible de suelos de sabana**. 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/301893728\\_Degradacion\\_y\\_manejo\\_sostenible\\_de\\_suelos\\_de\\_sabana](https://www.researchgate.net/publication/301893728_Degradacion_y_manejo_sostenible_de_suelos_de_sabana)>. Acesso em: 19 nov. 2020.

MARTINS, M. C.; ROMARCO, M. L.; SOUZA, M. N. Uma análise da implantação da integração lavoura pecuária floresta (ILPF) na microrregião de Viçosa, Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural da UFV**, v.4, p.154-163, 2013.

MARTINS, M. C.; SOUZA, M. N. Uma análise das variáveis do desenvolvimento rural sustentável no uso da Integração Lavoura Pecuária e Floresta (ILPF) em municípios da Zona da Mata de Minas Gerais. Multifuncionalidades sustentáveis no campo: **Agricultura, pecuária e florestas**, v.5, p.10-15, 2013. Disponível em: <http://www.simbras-as.com.br>.

MIEVILLE, A.; GRANIER, C.; LIOUSSE, C.; GUILLAUME, B.; MOUILLOT, F.; LAMARQUE, J. F.; GRÉGOIRE, J. M.; PÉTRON, G. Emission of gases and particles from biomass burning during the 20<sup>th</sup> century using satellite data and a historical reconstruction. **Atmospheric Environment**, v. 44, p. 1469-1477, 2010.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Água**. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo hidrologico](https://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico)>. Acesso em: 28 jul. 2020.

MIRANDA, H. S.; SILVA, E. P. R.; MIRANDA, A. C. Comportamento do fogo – Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga. SIMPÓSIO IMPACTO DAS QUEIMADAS SOBRE OS ECOSISTEMAS E MUDANÇAS GLOBAIS. **Anais....** Brasília: UNB, 1997. p. 1-10.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**, 3.ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005. 304 p.

MUNDO DA EDUCAÇÃO, 2017. **Agricultura e jardinagem**. Blog Mundo Escola. Disponível em <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/agricultura-jardinagem.htm>.

MUZILLI, O. *et al.* Adubação nitrogenada em milho no Paraná. III. Influência da recuperação do solo com adubação verde de inverno nas respostas a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 23-27, 1983b.

NASCIMENTO, M. R.; JAEGGI, M. E. P. C.; SOUZA, M. N. Efeito da adubação verde na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Revista UniVap**, v.22, p.698-713, 2017.

OLIVEIRA FILHO, RODRIGUES, E. de; JOHN, N. S. Sustentabilidade ambiental e desenvolvimento regional: um olhar para o projeto barraginha na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 4, n. 3, p. 715-732, Junho 2018. Edição Especial.

PENA, R. F. A. **Terraceamento**. Blog Brasil Escola. 2017. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/terraceamento.htm>. Acesso em: 22 maio 2021.

PRIMAVESI, A. (1984) **Manejo ecológico do solo**: a agricultura em regiões tropicais. 6 edição. São Paulo, Nobel,

PRUSKI, F.F. **Análises de precipitações extremas e de escoamento superficial para áreas agrícolas da região do Paraná. 1990. 109 f.** Trabalho de conclusão de tese (“Magister Scientie” em Drenagem Superficial e Escoamento Superficial), Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; BRANDAO, V. S. **Infiltração da água no solo**: manejo de solos, percolação da umidade dos solos. Viçosa: Editora UFV, 2003, 98 p.

RAIJ, B. Van; LOMBARDI NETO, F.; SARTINI, H. J.; KHUN NETO, J.; MOURA, J. C. de; DRUGOWICH, M. I.; CORSI, M.; CASTRO, O. M. de; BERTON, R. S. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas, SP: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993, v. 3. 102 p.

RIBEIRO, G. A.; MARTINS, M. C. Incêndios Florestais. **Eucaliptocultura no Brasil**: Silvicultura, manejo e ambiência. Suprema Gráfica e Editora Ltda. Viçosa, MG. 2014. 551 p.

SALES, A. **Ações de Convivência com o Semiárido oferecem soluções para desertificação – Eco Nordeste**. Disponível em: [www.agenciaeconordeste.com.br](http://www.agenciaeconordeste.com.br). Acesso em: 20 fev. 2021.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; FERREIRA, D. F. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de Latossolos

brasileiros. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2287-2299, 1999.

SLONEKER, L. L.; MOLDENHAUER, W. C. Measuring amounts of crop residue remaining after tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 32, p. 231-236, 1977.

SOUZA, F. P. **Monitoramento e modelagem hidrológica da sub-bacia do Lago Paranoá - Brasília/DF - e avaliação de bacias de retenção**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM-165/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139 p.

SOUZA, M. N. **Degradação Antrópica e Procedimentos de Recuperação Ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v.1000. 376 p.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais**. Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015, v.5000. 376 p.

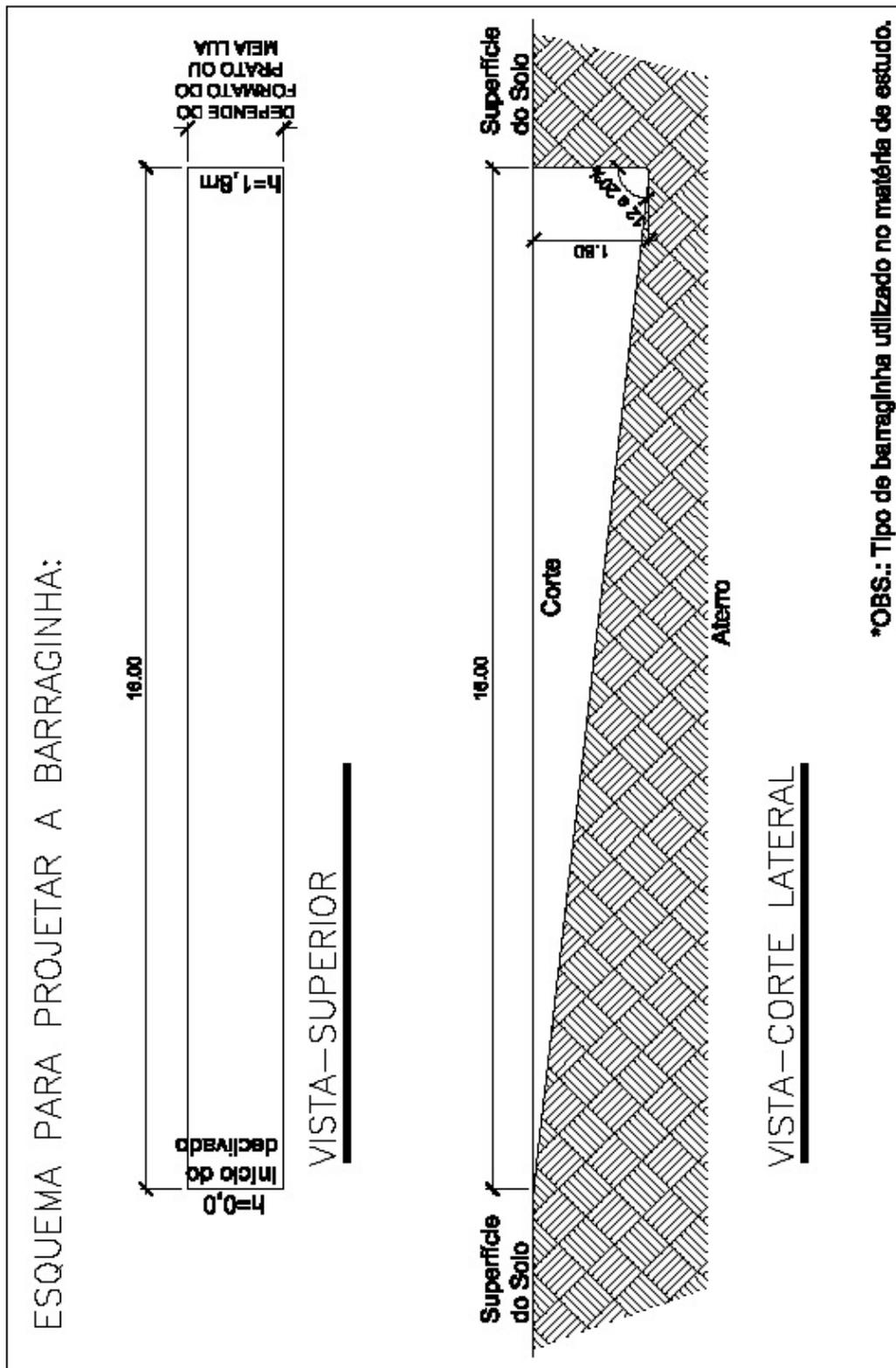
VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016. 50 p.

VILELA, L. *et al.* **Benefícios da integração entre lavoura e pecuária**. Embrapa Cerrados, 2001.6p.

ZACARIAS, A. J.; PEREIRA, I. M.; SOUZA, M. N.; LIMA, W. L.; RANGEL, O. J. P. Efeito de adubos verdes em consórcio com cafeeiro e sua viabilidade econômica. **Resumos...** I Encontro Anual de Agroecologia e Qualidade de Vida do Ifes campus de Alegre. Pôster e apresentação oral. 2019.

ZONTA, J. H. *et al.* **Práticas de Conservação de Solo e Água**. Circular técnica 133, Embrapa. Campina Grande, PB, Setembro, 24 p. 2012.

ANEXO



Fonte: Adriana Florindo, 2021.

## **Autores**

Vinícius de Freitas Mateus, Adriana Silva Florindo, Bruno Fazolo Repposi, César Santos Carvalho, Cristiano de Oliveira, João Otávio da Silva Malaquias, Leticia Bremide Leal, Jéssica Martins dos Reis, Ricardo Garcia Lima, Maurício Novaes Souza

Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500- 000, Alegre-ES, Brasil.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)

## CAPÍTULO 6

---

### **Microrganismos simbiotes: fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas**

Francielle Santana de Oliveira, Jéssica Delesposte Destefani, Letícia Rigo Tavares, José Carlos Venâncio da Páschoa, Aline Marchiori Crespo, Otávio Pereira Araujo, Priscilla Moreira Curtis Peixoto, Camila Barbiero Siqueira, Lucas Henrique Cortat, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c6>

#### **Resumo**

O nitrogênio ( $N_2$ ) apresenta-se na atmosfera na forma gasosa, em concentração de 78%; contudo, é um dos nutrientes mais limitantes para as variadas formas de vida do planeta. No solo, o nitrogênio (N) encontra-se na forma orgânica, com apenas 2% disponível em forma de amônio ( $NH_4^+$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ), sendo que sua entrada no sistema solo-planta se dá principalmente pelo processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) e pela adubação nitrogenada, as quais facilitam a utilização deste elemento pelas plantas. As bactérias fixadoras, rizóbios ou diazotróficas, em associação com as plantas leguminosas, favorecem a conversão do N atmosférico em amônia ( $NH_3$ ), permitindo, assim, a assimilação do N pelas plantas. As plantas leguminosas também agem como fitorremediadoras, absorvendo, imobilizando ou removendo metais pesados, a fim de que atuem de forma menos agressiva ao meio ambiente. Visando mitigar a degradação do solo e dos recursos naturais na atividade agropecuária, técnicas vêm sendo empregadas objetivando a recuperação de áreas degradadas, dentre as quais se podem citar o uso das bactérias fixadoras de nitrogênio. Essas bactérias são promotoras do crescimento vegetal, pois estimulam o crescimento da planta por meio de efeitos biofertilizantes e bioestimulantes, que aumentam a resistência às doenças e ao estresse, sendo uma alternativa para o manejo sustentável dos solos. Nesse sentido, esse capítulo aborda técnicas de utilização de bactérias diazotróficas simbióticas e como estas podem ser consideradas componentes fundamentais à disponibilização de nutrientes e à recuperação de pastagens degradadas ao proporcionar um maior acúmulo de nitrogênio na biomassa do solo e auxiliar na mitigação de elementos tóxicos ao solo.

**Palavras-chave:** Bactérias diazotróficas. Fitorremediação. Biofertilizantes. Bioestimulantes.

## 1. Introdução

O nitrogênio (N) é um nutriente que possui importante função como integrante da molécula de clorofila, sendo essencial para o crescimento das plantas: é parte de cada célula viva, constituindo moléculas de proteína, enzimas, ácidos nucleicos e citocromos (BÜLL, 1993). Na atmosfera se apresenta em sua forma gasosa ( $N_2$ ), em concentrações de 78%; entretanto, é um dos nutrientes mais limitantes às diversas formas de vida do planeta (COSTA NETO, 2016). Contudo, no solo, encontra-se em sua forma orgânica, com apenas 2% disponível em forma de amônio ( $NH_4^+$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ), sendo que sua entrada no sistema solo-planta ocorre principalmente pelo processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) e pela adubação nitrogenada, as quais facilitam a utilização deste elemento pelas plantas (MENEZES, 2019).

Atualmente, os adubos químicos representam uma das principais fontes de nitrogênio utilizada nos sistemas de produção agrícolas, sendo a ureia e o sulfato de amônio os fertilizantes nitrogenados mais usados pelos agricultores. Todavia, uma vez que estes fertilizantes estão sujeitos às perdas por lixiviação, escoamento superficial, volatilização da amônia (ureia) ou imobilização na biomassa microbiana (ALVA *et al.*, 2005), o uso das bactérias diazotróficas se apresenta como uma alternativa à diminuição ou até à substituição destes fertilizantes nas culturas agrícolas (LIMA *et al.*, 2017).

As bactérias diazotróficas fixadoras de N ou rizóbios pertencem ao gênero *Rhizobium* e habitam os solos, atuando como fixadoras de N, através da conversão do  $N_2$  em amônia ( $NH_3$ ), o que permite a assimilação do N pelas plantas (SILVA, 2010). Este processo somente é possível com a simbiose ou relação de mutualismo destas bactérias com plantas leguminosas, em que são formados nódulos nas raízes (MOREIRA *et al.*, 2010), os quais abrigam os rizóbios - que por sua vez, além de executarem a fixação do nitrogênio atmosférico (SPRENT; ARDLEY; JAMES, 2017), favorecendo o crescimento vegetal (APONTE *et al.*, 2017); atuam também como agentes de controle biológico (CIPRIANO; PATRÍCIO; FREITAS, 2013; SANTOS, 2016).

A família das fabáceas constitui um grupo com elevada capacidade de adubação verde ao solo, pois absorve grandes quantidades de nitrogênio em seus tecidos vegetais, disponibilizando-o às plantas (ESPINDOLA *et al.*, 2005).

Apresenta resultados satisfatórios na recuperação de solos degradados (NOGUEIRA *et al.*, 2012) e melhora a qualidade dos solos pobres (FÁVERO; LOVO; MENDONÇA, 2008), atuando na proteção física, conseqüentemente favorecendo a infiltração da água e mantendo a umidade, além de controlar as amplitudes térmicas nos solos (DANTAS *et al.*, 2019).

Outro benefício importante dessa simbiose a ser citado, é a sua capacidade de fitorremediação, imobilizando, removendo ou absorvendo os compostos tóxicos dos metais pesados na estrutura vegetal, de modo que estes ajam de forma menos agressiva ao meio ambiente (ELIAS; BALDANI; BERBARA, 2018; RODRIGUES; ORLANDELLIB, 2018).

Neste sentido, esse capítulo aborda a aplicação de técnicas utilizando bactérias diazotróficas simbióticas e como estas podem ser consideradas componentes fundamentais à disponibilização de nutrientes, bem como à recuperação de pastagens degradadas ao proporcionar um maior acúmulo de nitrogênio na biomassa do solo e auxiliar na mitigação de elementos tóxicos ao solo.

## **2. Bactérias diazotróficas e a contribuição em pastagens degradadas**

No Brasil, estima-se que 50% das áreas de pastagens estejam degradadas (MACEDO *et al.*, 2014). Dada essa condição, tendo em vista a forte demanda do setor agropecuário em relação a tecnologias sustentáveis, a Embrapa Agrobiologia vem atuando nesse assunto a partir de duas linhas de pesquisa: uso de microrganismos para promoção de crescimento de diferentes forrageiras e utilização de práticas que estimulem o aumento dos níveis de matéria orgânica do solo, a partir da introdução de leguminosas. Apesar de serem importantes para os sistemas agropecuários no país, dos 200 milhões de hectares existentes, considera-se que cerca de 130 milhões estejam degradadas, necessitando de alguma intervenção para reverter o estado em que se encontram (EMBRAPA, 2020).

Os principais fatores de degradação dos solos das pastagens estão ligados à ação antrópica, à degradação da cobertura vegetal e ao manejo incorreto, os quais contribuem com as mudanças dos fatores físicos, químicos e biológicos do solo, tal como a diminuição da disponibilidade dos nutrientes

devido à mineralização da matéria orgânica do solo (COSTA *et al.*, 2015) (Figura 1).



**Figura 1.** Áreas degradadas por pastagens. Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Todavia, para alcançar resultados positivos na recuperação de pastagens degradadas é fundamental saber escolher as espécies de plantas forrageiras que serão utilizadas. Na Figura 2 observa-se uma área de pastagem degradada no IF Sudeste de Minas - Campus Rio Pomba sendo preparada para testar diferentes gramíneas e adubações.



**Figura 2.** Pastagem degradada no IF Sudeste de Minas campus Rio Pomba. Fonte: Arquivo pessoal (2013).

As gramíneas se adaptam às diferentes condições edafoclimáticas (Figura 3), sendo importantes na nutrição do solo, proteção e recuperação de áreas degradadas (FABRICE *et al.*, 2015). Já as leguminosas, por sua vez, apresentam um desempenho favorável associadas com as bactérias fixadoras de N, se comparadas com outras famílias de vegetais (FREITAS *et al.*, 2010). De acordo com Longo *et al.* (2011) e Jack; Braz; Martuscello (2013), as leguminosas se destacam como espécies de grande potencial para inserção em áreas com pouca ou nenhuma resiliência, por apresentarem fácil adaptabilidade aos solos, fixação biológica de nitrogênio atmosférico no solo, tolerância às variações edafoclimáticas, maior produção de biomassa seca e rápido crescimento vegetativo.



**Figura 3.** Área de pastagem recuperada no IF Sudeste de Minas campus Rio Pomba. Fonte: Arquivo pessoal (2011).

O nitrogênio é indispensável ao desenvolvimento vegetal, sendo constituinte de uma variedade de biomoléculas atuando nos compostos orgânicos que constituem a estrutura da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013). Um dos principais fatores que afeta o crescimento e a persistência de gramíneas nos trópicos, aumentando assim a degradação das pastagens, é a deficiência de nitrogênio no solo. Há de se considerar, entretanto, que os fertilizantes nitrogenados oneram muito os custos de produção: com a demanda por

alimentos crescente, tem-se enfatizado a necessidade de alternativas sustentáveis, tal como a fixação biológica de nitrogênio.

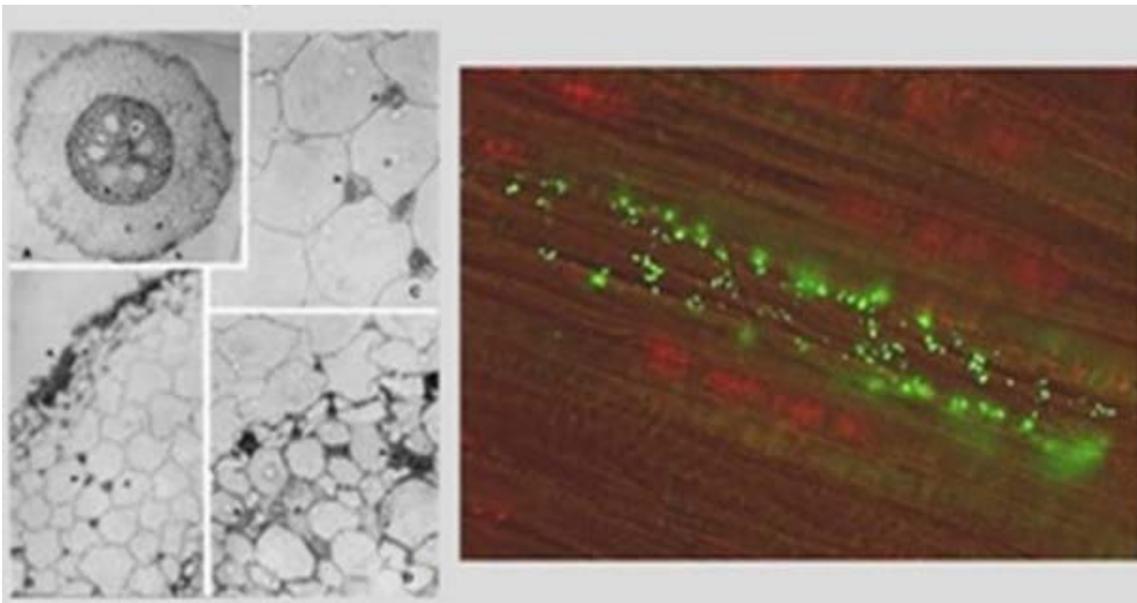
Assim, fazem-se necessárias pesquisas com Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) em gramíneas forrageiras, principalmente sobre diversidade de bactérias diazotróficas associadas a essas plantas, para que novas bactérias possam ser descobertas, assim como seu potencial de FBN. As bactérias fixadoras de nitrogênio são promotoras do crescimento vegetal, estimulando o crescimento da planta por meio de efeitos biofertilizantes e bioestimulantes, os quais aumentam a resistência a doenças e ao estresse (STURZ; NOWAK, 2000), apresentando-se, assim, como uma alternativa para o manejo sustentável dos solos (GLIESSMAN, 2001).

A utilização de efluentes da suinocultura tem apresentado bons resultados na recuperação de pastagens. A Figura 4 apresenta uma pastagem que recebeu doses diferenciadas de efluentes da Suinocultura em Ponte Nova, MG. Observa-se a tonalidade verde-escuro dos locais que receberam maior volume do efluente. A tonalidade mais escura das gramíneas evidencia o efeito do N para o desenvolvimento das gramíneas.



**Figura 4.** Diferentes tonalidades de gramínea em função do volume de efluente aplicado. Fonte: Arquivo pessoal (2013).

Nesse contexto, visando mitigar a degradação do solo e dos recursos naturais na atividade agropecuária, diversas técnicas vêm sendo empregadas objetivando a recuperação de áreas degradadas, com a utilização de bactérias fixadoras de nitrogênio. A fixação de N é de grande importância para os tecidos vegetais, pois na falta desse nutriente ocorre a redução da produção, efeitos na síntese de proteínas e fotossíntese, acarretando prejuízos agrícolas (LOPES *et al.*, 2013; SKONIESKI *et al.*, 2017). Além disso, a fixação biológica do nitrogênio por bactérias diazotróficas (Figura 5) é uma estratégia de manejo que vem ganhando destaque: apresenta-se como uma alternativa viável para reduzir o uso de adubação com fertilizantes nitrogenados, além de apresentar baixo custo econômico (SANDINI *et al.* 2011).



**Figura 5.** Bactérias diazotróficas. Fonte: EMBRAPA (2020).

Existem diversas culturas que são beneficiadas com a inoculação das bactérias. Sampaio (2013) analisando a inoculação de estirpes na cultura do milho observou melhor desenvolvimento e altos índices de produção em comparação com as plantas não inoculadas. Outros autores acharam resultados semelhantes ao uso da inoculação dos esporos das bactérias em culturas da região do semiárido, obtendo resultados significativos em até 40% nas culturas de maracujá e sorgo (SILVA *et al.*, 2015).

Hungria *et al.* (2010) e Vogel *et al.* (2013) estudando a eficiência da inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense*, em milho, trigo e arroz, destacaram o aumento significativo no acúmulo de matéria seca, altura, taxa de germinação e nas raízes, beneficiando maior acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, a produtividade final nos plantios.

Entretanto, são diversos os fatores que interferem na colonização das bactérias, os quais podem interferir no insucesso da sua utilização. A escolha da estirpe bacteriana é importante para o desenvolvimento da inoculação (HUNGRIA *et al.*, 2010), uma vez que algumas estirpes possuem especificidade para leguminosas, sendo comum encontrar bactérias fixadoras bem desenvolvidas em uma determinada leguminosa e em outra observar menor nodulação e fixação de N<sub>2</sub> (FRANCO; FARIA, 1997).

Outros fatores que podem interferir negativamente no desenvolvimento bacteriano são baixas concentrações de potássio (K) e altas temperaturas no solo (HUNGRIA; VARGAS, 2000), provocando a redução da população de bactérias fixadoras, o tamanho dos nódulos e a capacidade de fixação de N (ARAUJO; GUALTER, 2017). A textura do solo, a espécie vegetal, assim como o ciclo da cultura implantada, também pode influenciar no uso do inoculante (FREITAS *et al.*, 2019).

Norris (1969) observou que algumas espécies florestais coletadas em solos argilosos não apresentavam nódulos, diferentemente de espécies cultivadas em solos arenosos; Schultz *et al.* (2016) avaliando uma plantação de cana-de-açúcar com duas variedades distintas, em dois diferentes tipos de solo, em um período de três anos consecutivos sob três tratamentos (sem adubação, sem adubação com inoculação e apenas com adubação de 120kg de nitrogênio ha<sup>-1</sup>), averiguaram que a inoculação beneficiou a produção apenas em uma das cultivares e em solo menos argiloso.

Quanto a espécie vegetal, plantas do gênero *Stylosanthes* associadas às bactérias do gênero *Rhizobium* são muito difundidas nas pastagens brasileiras devido as suas vantagens, tais como o crescimento rápido, a elevada produção de biomassa, a boa resistência às condições adversas, a abundância de sementes e o fácil cultivo, tornando-a uma ótima escolha em programas de recuperação de áreas degradadas (XINGFENG *et al.*, 2010). Em sistemas silvipastoris as leguminosas são comumente empregadas por

apresentarem maior produção de serapilheira, e se adaptarem facilmente às condições ambientais e físicoquímicas do solo (ACENÓLAZA *et al.*, 2010).

Desta forma, justifica-se a utilização das bactérias fixadoras de N com objetivo de auxiliar no restabelecimento de pastagens degradadas, fornecendo condições de equilíbrio e sustentabilidade ao ecossistema. A adoção desta prática por produtores rurais visa recuperar a fertilidade do solo e a qualidade das pastagens, com a crescente diminuição da dependência por adubações nitrogenadas.

### **3. Bactérias diazotróficas fitorremediadoras**

As atividades agrícolas constituem uma das principais fontes não pontuais de poluição por metais. Neste ramo, o uso de agroquímicos sintéticos se destaca muitas das vezes, por possuírem resíduos de metais pesados em sua composição (Pb, Al, Cd, Cu, Fe, Zn, Ni, Mn, Cr). Quando usados em cultivos, esses produtos podem afetar os solos e também alcançar os corpos hídricos via água de chuva ou mesmo de irrigação, ou indiretamente através da percolação no solo, alcançando aos lençóis freáticos (ARIAS *et al.*, 2007).

Por meio de outras atividades antrópicas, tais como práticas de mineração e deposição de resíduos urbanos e, ou, industriais, os metais pesados também são incorporados ao solo. A extração mineral, por exemplo, produz grandes quantidades de rejeitos, podendo-se destacar o manganês (Mn), que em grandes concentrações no solo pode causar toxidez e alterações nos vegetais (YANG *et al.*, 2015). Neste sentido, a busca por alternativas que minimizem este tipo de impacto tem se tornado uma preocupação ambiental constante.

Como estratégia favorável para lidar com os efeitos dos metais pesados no sistema solo-planta, o uso de algumas espécies vegetais limita a absorção desses elementos do solo, impedindo a sua entrada através do sistema radicular (VIEHWEGER, 2014). De acordo com Ojuederie; Babalola (2017), as plantas possuem mecanismos que lhes conferem adaptabilidade ao estresse aos metais pesados, absorvendo e transportando pelas suas raízes e retendo nas fibras do caule, raiz e folhas a fração disponível do elemento no solo. Cabe ressaltar que as formas de fitorremediação dos metais tóxicos são: fitoestimulação, fitoextração, fitovolatilização, fitoestabilização (RAHMAN *et al.*,

2016). Contudo, neste trabalho dar-se-á ênfase ao uso exclusivo da fitorremediação.

A fitorremediação se caracteriza pela utilização de plantas que possuem capacidade de absorção de contaminantes do substrato, promovendo a descontaminação de solos e águas contaminadas por metais pesados (AMADO; CHAVES FILHO, 2015), principalmente por Pb, Ni, Zn, Cu, Se e Cs (BRAUN *et al.*, 2020). Alguns desses metais se apresentam como fundamentais ao desenvolvimento das plantas; entretanto, outros elementos não possuem função específica, sendo tóxicos em qualquer concentração no solo (TAVARES, 2013).

A vantagem do uso dessa técnica está atrelada ao seu baixo custo e a facilidade no monitoramento das plantas, podendo ser implementada em áreas de grande extensão, estimulando a diversidade dos organismos de solo (VASCONCELLOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012). Na recuperação de áreas degradadas por mineração, as plantas leguminosas demonstram potencial fitorremediador quando inoculadas com microrganismos fixadores: essa associação promove fixação de nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>), e uma grande incorporação de N ao solo (MENDES FILHO *et al.*, 2010; GARCIA *et al.*, 2016). De acordo com Souza (2018), o processo de revegetação ficará facilitado e a recuperação autossustentada.

A associação de plantas com bactérias diazotróficas fixadoras de nitrogênio tem promovido estudos sobre seu uso da fitorremediação de metais pesados no solo (CAMARGO; BISPO; SENE, 2015). Elias, Baldani e Berbara (2018), em experimento com *poáceas* (ou plantas da família Poaceae), afirmaram que a *Brachiaria decumbens* pode ser utilizada na recuperação de áreas contaminadas, devido à compatibilidade que apresenta quando em associação a essas bactérias. Já em estudo com leguminosas inoculadas com rizóbios no estado de Minas Gerais em áreas degradadas, Chaer *et al.* (2011) relataram sucesso na revegetação em áreas contaminadas por hematita.

Conforme exposto, a fitorremediação pode ser favorecida tanto por espécies de interesse agrônômico, quanto silvicultural, facilitando a implantação das culturas em áreas extensivas de produção (Tabela 1).

**Tabela 1.** Plantas que apresentam potencial fitorremediador de metais pesados.

Plantas	Autores	Poluentes	Resultado
Feijão de corda ( <i>Vigna unguiculata</i> L.)	CHANDRA <i>et al.</i> , 2010; GONÇALVES <i>et al.</i> , 2014	Cr, Cd, Ni, Pb	Potencial fitorremediador
Mamona ( <i>Ricinus communis</i> L.)	ANDREAZZA e CAMARGO, 2011	Cu	Potencial de fitoacumulação
Capim-mombaça ( <i>Panicum maximum</i> )	SILVA, 2012; OLATUNJI <i>et al.</i> , 2014	Cd, Co, Cu, Fe, Mi e Pb	Potencial para bioacumulação para todos os metais
Camará ( <i>Lantana câmara</i> )	SILVA, 2012; ALARIBE e AGAMUTHU, 2015	Pb	Potencial para fitorremediação
Crotalaria ( <i>Crotalaria spectabilis</i> )	LINDINO; TOMCZAK; GONÇALVES JUNIOR, 2012	Pb e Cd	Fitorremediação de Pb na parte aérea
Vetiver ( <i>Vetiveria zizanioides</i> L.), Feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> L.); Singônio ( <i>Syngonium angustatum</i> ); Embaúba ( <i>Cecropia</i> sp.); Orelha de elefante ( <i>Alocasia macrorrhiza</i> ) e Girassol ( <i>Helianthus annuus</i> )	BATISTA, 2013	Pb	Potencial fitorremediador
Amendoim ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	LIMA <i>et al.</i> , 2013	Cd e Pb	Potencial fitorremediador
<i>Brachiaria decumbens</i> , <i>Brassica juncea</i>	MARTINEZ; CRUVINEL; BARATTO, 2013	Cr, Ni, Pb e Zn	Potencial fitorremediador
Angico-vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> ) Bracatinga ( <i>Mimosa</i>	SILVA <i>et al.</i> , 2015	Cu	Elevada tolerância e potencial fitorremediador

<i>scabrella</i> )			
Crisântemo ( <i>Dendranthema grandiflora</i> Tzevelev)	MENEGAES, 2017	Cu	Potencial fitorremediador
Paricá ( <i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex. Ducke)	NOGUEIRA <i>et al.</i> , 2019	Cd	Potencial fitorremediador do sistema radicular

Fonte: elaborada pelos autores.

O *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke, o Paricá, é uma espécie nativa da Amazônia, bem difundida em projetos de reflorestamento, representando área de cultivo de 90 mil hectares no Brasil (GOMES *et al.*, 2019). Nogueira *et al.* (2019) estudando esta espécie, averiguaram que ela pode ser benéfica à fitorremediação, pois foi capaz de acumular cádmio em suas raízes, de forma que age immobilizando os contaminantes no solo por meio de atividades enzimáticas antioxidantes e compartimentalização do elemento com íons dos tecidos vegetais (LIANG *et al.*, 2015; GARG; SINGH, 2018).

Conforme exposto, a fitorremediação pode ser favorecida tanto por espécies de interesse agrônomo, quanto silvicultural, facilitando a implantação das culturas em áreas extensivas de produção. Pode se tornar ainda mais interessante e vantajosa quando utilizada em associação com plantas que reúnem capacidade remediadora às características desejáveis do ponto de vista agrônomo e agrossilviculturais, como rápido crescimento, fácil controle, propagação ou erradicação. Além disso, é importante citar que essa prática também é benéfica ao ecossistema, apresentando baixa interferência no mesmo e prevenindo erosão do solo e perdas por lixiviação via escoamento das águas superficiais.

#### 4. Adubação verde e fixação de nitrogênio

As atividades agrícolas ao longo do tempo vêm colaborando com a intensificação da degradação dos solos e a perda da fertilidade, principalmente pela implantação de monocultivos, que adotam manejos incorretos, como a substituição da cobertura do solo e outras práticas que podem levar a exaustão

da fertilidade, porosidade e capacidade de armazenamento de água (MOURA; LACERDA; RAMOS, 2013). Diante deste contexto, a recuperação desses sistemas se torna de grande importância para produção e manutenção do agroecossistema (SOUZA, 2018; BENEDETTI, 2019).

Para isso, considera-se fundamental a prática de atividades que proporcionem a nutrição ao solo, como a fixação biológica de nitrogênio, bem como o uso de fertilizantes de fácil disponibilidade ao produtor rural (CAMARGO *et al.*, 2012). O uso de leguminosas tem sido visto como opção promissora para a recuperação de áreas degradadas, sendo importante para atividades agrônomicas e silviculturais, por auxiliar na incorporação do nitrogênio no solo, proporcionar cobertura ao solo e apresentar pouca dependência de insumos externos (MOURÃO; KARAM; SILVA, 2011).

De acordo com Calegari (2008), o solo com cobertura vegetal possui maior proteção física. Proporciona, dentre outros benefícios, a diminuição da sua temperatura, causando menor estresse às plantas, visto que em solos com temperaturas acima de 33°C, elas possuem menor capacidade de absorção de água e nutrientes devido às maiores perdas por evapotranspiração.

O consórcio na implantação de cobertura do solo (Figura 6) é uma técnica promissora na melhoria da produtividade das culturas de interesse (XAVIER *et al.*, 2013). Além de melhorar a capacidade produtiva, a presença de leguminosas permite a fixação simbiótica de nitrogênio (DUCHENE; VIAN; CELETTE, 2017), sendo a capacidade de simbiose com bactérias fixadoras de N o principal benefício decorrente dessas espécies como cobertura verde do solo (SAGRILO *et al.*, 2009). As diversificações das espécies implantadas aumentam a produção de biomassa, possibilitando a menor perda de solo por lixiviação e processos erosivos, sendo significativa na manutenção dos nutrientes (KAHMEN *et al.*, 2006).

Sousa *et al.* (2016), em estudos utilizando feijão-de-porco como adubo verde, no município de Viçosa-MG, averiguaram que o uso dessa planta no pré-plantio aporta consideráveis quantidades de N por meio da sua fixação ao agroecossistema, aumentando a produtividade do próximo cultivo. Gallo *et al.* (2015), na região do Mato Grosso do Sul, observaram índices consideráveis de aporte de N no solo devido o cultivo de feijão comum em consórcio com feijão-de-porco e a crotalária, resultando em maior produção de grãos. Xavier *et al.*

(2013) ressaltaram que o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L) e a crotalária (*Crotalaria juncea* L.), são as leguminosas que mais se destacam no consórcio, apresentando alto volume de produção de biomassa e, conseqüentemente, cobertura do solo e a fixação de N via simbiose.



**Figura 6.** Uso de milho + crotalária como planta de cobertura de solo: INCAPER - Domingos Martins, ES Fonte: Crespo (2021).

Sabe-se que a agricultura familiar tem papel fundamental na produção agrícola, sendo a principal responsável pelo abastecimento de alimentos ao mercado interno. Entretanto, nem todos os produtores utilizam as práticas conservacionistas voltada aos princípios agroecológicos (BARBOSA; MATTOS; FERREIRA, 2015; ARAÚJO *et al.*, 2018). Sendo assim, as práticas agroecológicas por intermédio dos adubos verdes, atuam como opções para maior produção aliada à qualidade do solo e da planta, além do aumento da produtividade e maior diversificação, causando impacto positivo na renda do produtor (BARBOSA JÚNIOR *et al.*, 2017).

Na Tabela 2 são apresentadas as principais espécies para utilização como adubo verde. Dentre as espécies relacionadas estão a *Crotalaria juncea*, o guandu, o feijão-de-porco e a mucuna preta e cinza. O trigo, sorgo e milho são favoráveis ao complemento e diversidade da renda do produtor, além de

beneficiar o solo com a produção de biomassa e de haver a possibilidade de incorporar nitrogênio.

**Tabela 2.** Principais espécies para utilização na adubação verde

Nome Comum	Nome Científico	Família Botânica	Massa verde (t ha <sup>-1</sup> )	Massa seca (t ha <sup>-1</sup> )	Relação C/N	N fixado (kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Crotalária júncea	<i>Crotalaria Juncea</i>	Leguminos a	21 a 60	10 a 15	17 a 19	150 a 450
Crotalária spectabilis	<i>Crotalaria spectabilis</i>	Leguminos a	20 a 30	04 a 06	--	60 a 120
Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	Leguminos a	22 a 40	05 a 08	10 a 16	49 a 190
Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	Leguminos a	22 a 90	02 a 12	15 a 22	37 a 280
Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i>	Gramínea	20 a 40	08 a 12	30 a 43	--
Milho	<i>Zea mays</i>	Gramínea	20 a 30	06	50 a 54	--
Mucuna-anã	<i>Mucuna deeringiana</i>	Leguminos a	10 a 20	02 a 04	12 a 20	50 a 100
Mucuna-preta	<i>Mucuna atemima</i>	Leguminos a	29 a 50	06 a 09	12 a 21	120 a 210
Mucuna-cinza	<i>Mucuna cinérea</i>	Leguminos a	25 a 50	05 a 08	10 a 22	120 a 210
Sorgo	<i>Sorghum spp</i>	Gramínea	28 a 56	01 a 10	--	--
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	Leguminos a	10 a 14	1,5 a 04	--	--
Ervilhaca	<i>Vicia sativa</i>	Leguminos a	05 a 10	02 a 03	22	--

Fonte: Adaptado de Wutke; Ambrosano (2007).

Souza *et al.* (2018) avaliaram algumas espécies viáveis para fins de adubação verde na região Serrana do Espírito Santo, tais como: milheto, *Crotalaria juncea* e *Crotalaria ochroleuca*. Constataram o maior incremento de biomassa, beneficiando a formação e manutenção de camada protetora no sistema plantio direto, além de teores de N maiores. Contudo, ressaltaram a necessidade de adequar a escolha das espécies aos diagnósticos das áreas e às peculiaridades de cada espécie.

Crespo (2021), na avaliação de produtividade de matéria verde e seca das plantas de cobertura (SC – Sistema convencional sem palha; SO – Sistema orgânico sem palha; G – SPD orgânico com palha de gramínea; L – SPD orgânico com palha de leguminosa; G + L – SPD orgânico com palha de gramínea + leguminosa), observou-se que para o peso verde houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos, sendo que o tratamento G+L (SPD orgânico com palha de gramínea + leguminosa) foi superior ao tratamento L (SPD orgânico com palha de leguminosa), mas não diferenciou de G (SPD orgânico com palha de gramínea). Para peso seco, no entanto, não foram observadas diferenças entre os tratamentos estudados (Tabela 3).

**Tabela 3.** Médias das características peso verde e peso seco das plantas de cobertura

Tratamento	Peso Verde (kg/ha)		Peso Seco (kg/ha)	
<b>L</b>	31.566,7	b	9.417,3	a
<b>G + L</b>	50.466,7	a	12.372,6	a
<b>G</b>	42.666,7	ab	11.282,7	a
<b>Média</b>	41.566,7		11.024,2	
<b>CV (%)</b>	28,47		24,44	

\* Médias seguidas de uma mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. G – SPD orgânico com palha de gramínea; L – SPD orgânico com palha de leguminosa; G + L – SPD orgânico com palha de gramínea + leguminosa.

Fonte: Crespo (2021).

Nesse sentido, considerando os desafios apresentados, o uso de plantas de cobertura passa por geração de conhecimentos e adaptação local. Têm potencial de utilização em rotação de culturas para a produção de biomassa e cobertura de solo, beneficiando o produtor rural e diversificando o sistema de produção. Também apresenta como benefícios a produção de matéria orgânica, aumento do número de microrganismos simbiotes e das taxas de nutrientes nas camadas do solo.

#### **4.1. Adubação verde na agroecologia**

Dentre os recursos naturais, o solo é uma das estruturas mais atingidas pela ação antrópica devido ao manejo inadequado, práticas agrícolas irregulares, pastejo intensivo e desmatamento, que provocam alterações nos ecossistemas e modificam os fluxos naturais (SPAROVEK *et al.*, 2010), tornando necessário a adesão às práticas agrícolas que visem à sustentabilidade e à diminuição da degradação das áreas (CAVALCANTE *et al.*, 2012).

A adubação verde é uma técnica que consiste na utilização da biomassa vegetal das plantas cultivadas no local, ou provenientes de outra localidade, com a finalidade de proteger e auxiliar na fertilidade do solo (CALEGARI *et al.*, 1993; BATISTA *et al.*, 2013), além de contribuir com a melhoria das qualidades físicas, químicas e biológicas do solo (NASCIMENTO *et al.*, 2005).

Ademais, o uso dessa técnica permite melhor proteção da superfície, protegendo contra lixiviação e processos erosivos (MACHADO; NASS; MACHADO, 2011), proporcionando por meio do incremento da biomassa radicular e foliar, a introdução de microrganismos (SILVA *et al.*, 2014; WUTKE *et al.*, 2014). Incorporar o nitrogênio atmosférico ao solo induz o menor aparecimento de plantas espontâneas e insetos considerados pragas, bem como fitonematoides (CARVALHO *et al.*, 2014), e conseqüentemente favorece melhorias na produção e qualidade dos alimentos (MONTEIRO *et al.*, 2018).

O uso dos princípios agroecológicos no desenvolvimento agrícola é uma alternativa sustentável para a conservação dos solos, adotando práticas que auxiliam na fertilidade e proteção dos mesmos, como a compostagem e a adubação verde. Essas técnicas são mais naturais e menos agressivas se

comparadas ao modelo de produção convencional (SOUZA, 2018; FORMENTINI, 2019).

Entretanto, para a implantação dessa técnica a escolha da espécie é de fundamental importância, visto que cada espécie possui características particulares, como fixação de nitrogênio, maior produção de biomassa e maior cobertura do solo - fatores estes que resultam na melhoria do sistema (BARRADAS, 2010).

O Sistema Plantio Direto (SPD) se apresenta como uma ferramenta eficiente na conservação do solo e da água. Entretanto, a impossibilidade de utilização de herbicidas na sua implantação em agricultura orgânica é um dos grandes desafios da atualidade para a pesquisa. Diante deste contexto, apresenta-se como opção para sanar este problema a implantação de rotação de culturas com plantas que apresentem alta produção de matéria vegetal para cobrir o solo, na forma de adubação verde com gramíneas e leguminosas (CRESPO, 2021).

As espécies mais utilizadas para essa destinação são as leguminosas (*Fabaceae*) e gramíneas (*Poaceae*), visto que estas apresentam relações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, sendo favorável para culturas subsequentes. Além do mais, tais espécies possuem rápida decomposição e extração de nutrientes nas camadas profundas, devido seu sistema radicular extenso (SILVA *et al.*, 2014).

De acordo com esses mesmos autores, em trabalho com o objetivo de avaliar cinco sistemas de produção de milho verde em espigas, constituídos por três coberturas de solo no SPD orgânico com palha de crotalária; palha de milho; palha do consórcio crotalária/milho e dois sistemas sem palhada e com revolvimento do solo, sendo um orgânico e outro convencional, constataram: tanto o sistema orgânico sem palhada e com revolvimento do solo, quanto os sistemas orgânicos com palhada e sem revolvimento do solo utilizando crotalária solteira, milho solteiro e consórcio crotalária/milho são possíveis de serem utilizados nas condições testadas neste trabalho, mantendo uma boa produtividade do milho em espiga. A utilização da palhada de milho solteiro ou em consórcio com crotalária, no sistema orgânico sem revolvimento do solo, ocasionou redução do percentual de infestação e da densidade absoluta de plantas espontâneas.

Dentre as diversas espécies, as que possuem maior destaque na prática de adubação verde estão as gliricídias (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.), a crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* DC.), por serem plantas resistentes, com desenvolvimento rápido e maior resistência a condições edafoclimáticas (AGUIAR JÚNIOR *et al.*, 2011). Espécies como a mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e guandu (*Cajanus cajan*) correspondem bem quando utilizadas como adubo verde, podendo ser implementadas nas rotações de culturas ou consórcio (CARVALHO *et al.*, 2014).

Em um estudo realizado em Goiás, Menezes; Leandro (2004) observaram que o feijão-de-porco e a crotalária, aos 90 dias após sua emergência, apresentaram produções de fitomassa superiores a 9,0 t ha<sup>-1</sup>. Segundo Freitas (2020), a espécie gliricídia e feijão-de-porco possuem melhores padrões dendrométricos e maior produção de biomassa acima do solo, sendo indicados como adubo verde para plantações de ciclo curto.

Por outro lado, as gramíneas, apesar de fixarem menos nitrogênio, são excelentes para plantios em longo prazo: possuem decomposição lenta, sendo ideais para a proteção do solo, bem como aos eventos de sol e chuva, além de reduzirem as perdas de nitrogênio imobilizando-o em sua biomassa (BORTOLINI; SILVA; ARGENTA, 2000). Destacam-se os Milhetos (*Pennisetum glaucum*), Aveia preta (*Avena stringosa*) (SARTORI *et al.*, 2011), o azevém (*Lolium multiflorum*), a braquiária (*Brachiaria spp*) (CARVALHO *et al.*, 2014).

Em estudos com combinação de milheto e mucuna-preta, Gut *et al.* (2018) verificaram aumentos na produção de biomassa. Bettiol *et al.* (2015), avaliando consórcio entre braquiária e crotalária, observaram incrementos de massa fresca em cerca de 89.900 kg ha<sup>-1</sup>. A utilização do consórcio entre leguminosas e gramíneas é uma estratégia para diminuir a taxa de decomposição das leguminosas, além de fixar nitrogênio e favorecer a cobertura do solo eficiente e duradoura (DONEDA *et al.*, 2012).

## 5. Considerações Finais

Associar práticas de cultivo tradicionais com plantas de cobertura que possuem sistema radicular extenso, com capacidade de chegar às camadas profundas, é uma alternativa sustentável e agroecológica para proteger o solo contra eventos edafoclimáticos, bem como melhorar a qualidade do solo,

mantendo o desenvolvimento das culturas e resultando em aumento de qualidade e produtividade.

Áreas sob manejo orgânico durante períodos prolongados mostram que há alterações positivas em diversas propriedades do solo ao longo do tempo, refletindo em alta produção de palhada e boa produtividade das culturas cultivadas.

Além disso, as técnicas sustentáveis apresentadas nesse capítulo, quando sistematizadas, por intermédio de cartilhas, comunicados técnicos ou *folders*, podem facilitar a compreensão dos agricultores vindo a contribuir na melhoria dos seus processos produtivos.

## 6. Referências Bibliográficas

ACEÑOLAZA, P. G. *et al.* Litter fall production in forests located at the pre-delta area of the Paraná river (Argentina). **Annals of Forest Science**, Nancy, v. 67, n. 3, p. 311-324, 2010.

AGUIAR JÚNIOR, R. A. *et al.* Relação entre produção de biomassa e biometria de *Gliricídia* (*Gliricidia sepium* (Jacq.)). **Cadernos de Agroecologia**, v. 6, n. 2, p. 1-5, 2011.

ALARIBE, F. O.; AGAMUTHU, P. Assessment of phytoremediation potential of *Lantana camara* in Pb impacted soil with organic waste additives. **Ecological Engineering**, v. 83, p. 513-520, 2015.

ALVA, A. K. *et al.* Nitrogen and irrigation management practices to improve nitrogen uptake efficiency and minimize leaching losses. **Journal of Crop Improvement**, Binghamton, v. 15, n. 2, p. 369-420, 2005.

AMADO, S.; CHAVES FILHO, J. T. Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados. **Natureza on-line**, v. 13, n. 4, p. 158-164, 2015.

ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. de O. **Fitorremediação de áreas contaminadas com cobre utilizando plantas de mamona**. *In*: IV Salão de Ensino, UFRGS, 2011, Porto Alegre.

APONTE, A. *et al.* Rhizobacteria *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum* sp. association enhances growth of *Lactuca sativa* L. under tropical conditions. **Journal of Central European Agriculture**, Zagreb, v. 18, n. 2, p. 424-440. Apr./June 2017.

ARAÚJO, C. L. de; GUALTER, R. M. R. Caracterização morfofisiológica de bactérias nativas de solos do Cerrado isoladas de nódulos de feijão-caupi. **Biotemas**, v. 30, n. 1, p. 25-35, 2017.

ARAÚJO, J. C. R. *et al.* Resposta da mandioca a diferentes tipos de preparo do solo. **PUBVET**, Londrina. v. 12, n. 7, p. 1-4, jul., 2018.

ARIAS, A. R. L. *et al.* Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, p. 61-72, 2007.

BARBOSA JÚNIOR, L. B. *et al.* Contribuição da atividade de extensão rural no desenvolvimento sustentável do Projeto de Assentamento Indiana município de Araguatins-TO. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 1, n. 1, 2017.

BARBOSA, M. G.; DE MATTOS, M. M.; FERREIRA, M. do S. Manejo de vegetação secundária na agricultura familiar no Nordeste paraense. *In*: Embrapa Amazônia Oriental. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, p. 26-39, 2015.

BARRADAS, C. A. A. **Uso da adubação verde**. Manual técnico 25, Programa Rio Rural, Niterói, p. 10, 2010.

BATISTA, A. A. **Seleção de espécies com potencial fitorremediador de chumbo**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas. 2013.

BATISTA, M. A. V. *et al.* Atributos microbiológicos do solo e produtividade de rabanete influenciados pelo uso de espécies espontâneas. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 587-594, 2013.

BENEDETTI, E. L. Produtividade e colonização natural de bactérias fixadoras de nitrogênio de feijão-guandu cultivado com diferentes adubos orgânicos e preparo do solo em área degradada. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 1, n. 8, p. 23-29, 2019.

BETTIOL, J. V. T. *et al.* Plantas de cobertura, utilizando *Urochloa ruziziensis* solteira e em consórcio com leguminosas e seus efeitos sobre a produtividade de sementes do feijoeiro. **Uniciências**, v. 19, n. 1, 2015.

BRAUN, A. *et al.* Relevance of sustainable remediation to contaminated sites manage in developed and developing countries: Case of Brazil. **Land Use Policy**, v. 94, p. 104-133, 2020.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de Aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do Milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 897-903. 2000.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. *In*: BÜLL, L.T. **A cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145.

CALEGARI, A. *et al.* 1993. **Aspectos gerais da adubação verde**. *In*: Adubação verde no Sul do Brasil. Rio de Janeiro: AS-PTA, 346 p.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura e rotação de culturas no sistema plantio direto. **Informações Agronômicas**, v. 122, p. 18-21, 2008.

CAMARGO, D.; BISPO, K. L.; SENE, L. Associação de *Rhizobium* sp. a duas leguminosas na tolerância à atrazina. **Ceres**, v. 58, n. 4, 2015.

CAMARGO, C. K. *et al.* Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 2985-2994, 2012.

CARVALHO, A. M. de. *et al.* Adubação verde no Cerrado. *In*: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Eds.) **Adubação verde e plantas de cobertura do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 345-372.

CAVALCANTE, S. V. *et al.* Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 521-528, Campina Grande-PB, 2012.

CHAER, G. M. *et al.* Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. **Tree Physiology**, v. 31, n. 2, p. 139-149, 2011.

CHANDRA, R. P. *et al.* Distribution of bio-accumulated Cd and Cr in two Vigna species and the associated histological variations. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, India, v. 6, n. 1, p. 4-12, 2010.

CIPRIANO, M. A. P.; PATRÍCIO, F. R. A.; FREITAS, S. dos S. Potencial de rizobactérias na promoção de crescimento e controle da podridão radicular em alface hidropônica. **Summa Phytopathol**, Botucatu, v. 39, n. 1, p. 51-57, 2013.

COSTA NETO, V. P. da. **Nodulação e fixação biológica de nitrogênio em feijão-fava inoculado com rizóbios isolados de solos da microrregião do Médio Parnaíba Piauiense**. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2016.

COSTA, C. D. O. *et al.* Propriedades químicas dos solos de uma sub-bacia hidrográfica sob processo de degradação ambiental. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 2, p. 37-50, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18316/1981-8858.15.10>. Acesso em: 22 mar. 2021.

CRESPO, A. M. **Plantio direto de milho-verde orgânico sobre diferentes plantas de cobertura de verão**. 2021. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Sustentabilidade). Ifes campus de Alegre: Alegre, ES, 2021.

DANTAS, E. F. *et al.* Biological fixation, transfer and balance of nitrogen in passion fruit (*Passiflora edulis Sims*) orchard intercropped with different green manure crops, **Australian Journal of Crop Science (AJCS)**, v. 13, n. 3, p. 465-471, 2019.

DONEDA, A. *et al.* Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1714-1723, 2012.

DRUMOND, M. A. *et al.* Documentação Fotográfica do Desempenho Silvicultural de Espécies Arbóreas na Recuperação de Áreas Degradadas pela Deposição de Rejeitos Finos da Mineração de Cobre. Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). *In*: Simpósio De Mudanças Climáticas e Desertificação No Semiárido Brasileiro, 3., 2011, Juazeiro. **Anais... Experiências para mitigação e adaptação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.

DUCHENE, O.; VIAN, J. F.; CELETTE, F. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 240, p. 148-161, 2017.

ELIAS, S.; BALDANI, V.; BERBARA, R. Características morfológicas e resistência à metais pesados de bactérias diazotróficas isoladas de plantas de *Brachiaria decumbens* crescidas em solo contaminado. **Embrapa Agrobiologia-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)**, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Pesquisa e desenvolvimento**. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br › pesquisa-e-desenvolvimento>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ESPINDOLA, J. A. A. *et al.* Evaluation of perennial herbaceous legumes with different phosphorus sources and levels in a Brazilian Ultisol. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 20, p. 56-62, 2005.

FABRICE, C. E. S. *et al.* Recuperação de pastagens de *Brachiaria decumbens* degradada com introdução de *Stylosanthes* e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 16, n. 4, p. 758-771, 2015.

FÁVERO, C.; LOVO, I. C.; MENDONÇA, E. S. Recuperação de áreas degradadas com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 861-868, 2008.

FERREIRA, P. A. A. *et al.* Eficiência simbiótica de estirpes de *Cupriavidus necator* tolerantes a zinco, cádmio, cobre e chumbo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 85-95, 2012.

FRANCO, A. A; FARIA, S. M. de. The contribution of N<sub>2</sub>-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5-6, p. 897-903, 1997.

FORMENTINI, E. A. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**. 2019. 17 p.

FREITAS, A. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B; SANTOS, C. E. R. S.; FERNANDES, A. R. Biological nitrogen fixation in tree legumes of the Brazilian semi-arid Caatinga. **Journal of Arid Environmentes**, v. 74, p.344-349, 2010.

FREITAS, B. B. de; PAULETTO, D.; SOUSA, I. R. L. de. Crescimento inicial e biomassa de espécies utilizadas como adubação verde em sistema de aleias. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 1, p. 20-27, 2020.

FREITAS, P. V. D. X. de. *et al.* Produção de gramíneas forrageiras inoculadas com *Azospirillum brasilense* associada à adubação nitrogenada. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 31-46, 2019.

GALLO, A. S. *et al.* Produtividade da cultura do feijoeiro em sucessão a adubos verdes, com adição de dejetos líquidos de suínos. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 114, n. 1, p. 45-51, 2015.

GARCIA, K. G. V. *et al.* Micorrizas arbusculares no crescimento de mudas de sabiá em um substrato proveniente da mineração de manganês. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 2, p. 15-20, 2016.

GARG, N.; SINGH, S. Arbuscular Mycorrhiza *Rhizophagus irregularis* and Silicon Modulate Growth, Proline Biosynthesis and Yield in *Cajanus cajan* L. Millsp. (pigeonpea) Genotypes Under Cadmium and Zinc Stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 37, n. 1, p. 46–63, 2018.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2001, 653p.

GOMES, J. M. *et al.* *Schizolobium parahyba* var. amazonicum (Huber ex Ducke) Barneby pode ser utilizada em enriquecimento de clareiras de exploração florestal na Amazônia. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 417-424, 2019.

GONÇALVES, I. C. R. *et al.* Heavy metals and yield of cowpea cultivated under composted tannery sludge amendment. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 36, n. 4, p. 443-448, 2014.

GUT, G. A. P. *et al.* Produção de biomassa de leguminosas em cultivo consorciado com milho no Vale do São Francisco. *In*: Embrapa Semiárido-Artigo. *In*: Jornada De Integração Da Pós-Graduação Da Embrapa Semiárido, 3., 2018, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2018.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. Environmental factors impacting N<sub>2</sub> fixation in legumes grown in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field crops research**, v. 65, n. 2-3, p. 151-164, 2000.

HUNGRIA, M. *et al.* Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**. v. 331, n. 1, p.413-425, 2010.

JACK, L.; BRAZ, T. G. S.; MARTUSCELLO, J. A. **Gramíneas de clima tropical**. *In*: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros. 1ª edição. São Paulo, Jaboticabal: UNESP, 2013. p. 109-119.

KAHMEN, A. *et al.* Niche complementarity for nitrogen: an explanation for the biodiversity and ecosystem functioning relationship? **Ecology**. v. 87, n. 5, p. 1244-1255, 2006.

LIANG, Y. *et al.* **Silicon-Mediated Tolerance to Metal Toxicity**. *In*: Silicon in Agriculture. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015, p. 83-122.

LIMA, A. A. de. *et al.* Eficiência da inoculação de *Azospirillum brasilense* associado com enraizador no crescimento e na produção de alface. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 12, n. 2, p. 233-240, 2017.

LIMA, G. M. *et al.* Estudo de fitorremediação de solos contaminados com cádmio e chumbo empregando plantas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, 2013.

LINDINO, C. A.; TOMCZAK, A. P.; GONÇALVES JUNIOR, A. C. Fitorremediação de solos utilizando *Crotalaria spectabilis* para remoção de Cd e Pb. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 4, p. 25-32, 2012.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 132-138, 2011.

LOPES, M. N. *et al.* Fluxo de biomassa em capim-massai durante o estabelecimento e rebrotação com e sem adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 363-371, 2013.

MACEDO, M. C. M. *et al.* Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. *In*: Embrapa Gado de Corte- Artigo em anais de congresso (ALICE). *In*: ENCONTRO DE ADUBAÇÃO DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA-TEC-FÉRTIL, 1., 2013, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181., 2013.

MACHADO, A. T.; NASS, L. L.; MACHADO, C. T. T. **Manejo sustentável da agrobiodiversidade nos biomas cerrado e caatinga com ênfase em comunidades rurais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. p. 316-351.

MARTINEZ, M. S.; CRUVINEL, D. F. C.; BARATTO, D. M. Avaliação da fitorremediação de solos contaminados com metais pelo capim braquiária e mostarda da Índia. **Revista DAE-Sabesp**, São Paulo, v. 191, n. 1, p. 30-37, 2013.

MENDES FILHO, P. F. *et al.* Evaluating the Potential of Forest Species Under “Microbial Management” for the Restoration of Degraded Mining Areas. **Water Air Soil Pollution**. v. 208, p. 79-89, 2010.

MENEGAES, J. F. *et al.* Avaliação do potencial fitorremediador de crisântemo em solo com excesso de cobre. **Ornamental Horticulture**, v. 23, n. 1, p. 63-71, 2017.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, p.173-180, 2004.

MENEZES, A. P. M. **Crescimento e produção de alface em resposta a rizobactérias e nitrogênio**. 2019. 69 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Rio Branco, AC, 2019.

MOREIRA, F. M. S. *et al.* Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 74-74, 2010.

MOURA, L. N. A.; LACERDA, M. P. C.; RAMOS, M. L. G. Qualidade de Organossolo sob diferentes usos antrópicos em áreas de preservação permanente no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 33-39, 2013.

MOURÃO, S. A.; KARAM, D.; SILVA, J. A. A. **Uso de leguminosas no Semiárido mineiro**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Documento 135, 2011.

MONTEIRO, C. B. *et al.* Adubação verde como estratégia de aumento da matéria orgânica e recuperação de área degradada. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

NASCIMENTO, J. T. *et al.* Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissole. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 825-831, 2005.

NASCIMENTO, M. V. *et al.* Manejo da adubação nitrogenada nas culturas de alface, repolho e salsa. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 1, p. 65-71, 2017.

NOGUEIRA, N. O. *et al.* Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n. 14, p. 2012-2031, 2012.

NOGUEIRA, G. A. S. *et al.* Physiological and Growth Responses in the (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) Seedlings Subjected to Cadmium Doses. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 8, p. 217-227, 2019.

NORRIS, D. O. Observations on the nodulation status of rainforest leguminous species in Amazonia and Guyana. **Tropical Agriculture**, 1969.

OJUEDERIE, O. B.; BABALOLA, O. O. Microbial and Plant-Assisted Bioremediation of Heavy Metal Polluted Environments: A Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 14, n. 12, p. 1504, 2017.

OLATUNJI, O. S. *et al.* Assessment of the phytoremediation potential of *Panicum maximum* (guinea grass) for selected heavy metal removal from contaminated soils. **African Journal of Biotechnology**, v. 13, n. 19, p. 1979-1984, 2014.

RAHMAN, M. A. *et al.* **Phytoremediation of Toxic Metals in Soils and Wetlands: Concepts and Applications**. *In*: RAHMAN, M. A. *et al.* Environmental Remediation Technologies for Metal Contaminated Soil. Springer Japan, 2016. p. 161-95.

RODRIGUES, P.T. A.; ORLANDELLI, R. C. Plantas como Ferramentas para a Remediação Ambiental: uma Revisão da Literatura. **Uniciências**, v. 22, n. 1, p. 38-44, 2018.

SAGRILO, E. *et al.* **Manejo agroecológico do solo: os benefícios da adubação verde**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009.

SAMPAIO, A. A. **Contribuição de bactérias diazotróficas para o desenvolvimento vegetativo e produção de milho na região do submédio São Francisco**. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado da Bahia, Juazeiro, 2013.

SANDINI, I. E. *et al.* Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 41, n. 8, p. 1315-1322, 2011.

SARTORI, V. C. *et al.* **Adubação verde e compostagem: estratégias de manejo do solo para conservação das águas**. Cartilha para agricultores [recurso eletrônico]: adubação verde e compostagem: estratégias de manejo do solo para conservação das águas. Caxias do Sul, Rs: Educs, 2011. Disponível em: [https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/Adubacao\\_e\\_Compostagem\\_2.pdf](https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/Adubacao_e_Compostagem_2.pdf). Acesso em: 22 ago. 2020.

SANTOS, R. C. dos. **Interação entre rúcula (*Eruca sativa* Miller) e rizobactéria (*Bacillus subtilis* GB03): efeitos na ovoposição e desenvolvimento larval da traçadas-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (*Lepidoptera: Plutellidae*)**. 2016. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

SCHULTZ, N. *et al.* Produtividade e diluição isotópica de <sup>15</sup>N em cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1594-1601, 2016.

SILVA, E. C. *et al.* **Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas**. LIMA FILHO, OF *et al.* Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. Brasília: Embrapa, p. 265-305, 2014.

SILVA, J. F. da. **Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados**. 2012. 91 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

SILVA, R. F. *et al.* Growth of tropical tree species and absorption of C in soil artificially contaminated. **Brazilian Journal Biol.**, v. 75, n. 4, p. 119-125, 2015.

SILVA, M. C. P. da. **Seleção de estirpes eficientes para fixação biológica de nitrogênio e promoção de crescimento em plantas da espécie *Brachiaria brizantha***. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. ESALQ. Piracicaba, 2010.

SKONIESKI, F. R. *et al.* Effect of seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and nitrogen fertilization rates on maize plant yield and silage quality. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 9, p. 722-730, 2017.

SOUSA, F. F. *et al.* Legumes as green manure for common bean cultivated in two growing seasons at southeast Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 49, p. 4953-4958, 2016.

SOUZA, J. L. de. *et al.* **Utilização de espécies vegetais como cobertura de solo no sistema plantio direto e como adubação verde na Região Serrana do ES**. 2018.

SOUZA, M. N. **Degradação Antrópica e Procedimentos de Recuperação Ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v.1000. 376 p.

SPAROVEK, G. *et al.* **Brazilian agriculture and environmental legislation: status and future challenges**. 2010.

SPRENT J. I.; ARDLEY J. A.; JAMES E. K. Biogeography of nodulated legumes and their nitrogen fixing symbionts. **New Phytol**, v. 215, p. 40–56, 2017.

STURZ, A. V.; NOWAK, J. **Endophytic communities of rhizobacteria and the strategies required to create yield enhancing associations with crops***Applied Soil Ecology*, 2000.

TAVARES, S. R. de L. Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados: conceitos básicos e fundamentos. **Rio de Janeiro**, v. 1, ed. 1, 147 p., 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 1876 p.

VASCONCELLOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. **Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade**. v. 34, n. 83, 2012.

VIEHWEGER, K. How plants cope with heavy metals. **Botanical Studies**, v. 55, n. 1, p. 1-12, 2014.

VOGEL; G. F. *et al.* Desempenho agronômico de azospirillum brasilense na cultura do arroz: uma revisão. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 6, n. 3, p. 567-578, 2013.

WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J. **Bancos comunitários de sementes de adubos verdes**: informações técnicas. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007.

WUTKE, E. B.; CALEGARI; A.; WILDNER, L. **Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso**. *In*: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F. CARLOS, J. A. D. (Org.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. Fundamento e Práticas – Volume I, Brasília: EMBRAPA, 2014. Cap.3, p. 59-168.

XAVIER, F. A. da. S. *et al.* Effect of cover plants on soil C and N dynamics in different soil management systems in dwarf cashew culture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 165, p. 173-183, 2013.

XINGFENG, Z. *et al.* Potential of four forage grasses in remediation of Cd and Zn contaminated soils. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 2063-2066, 2010.

YANG, W. *et al.* Comparison of manganese tolerance and accumulation among 24 Salix clones in a hydroponic experiment: Application for phytoremediation. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 149, p. 1-7, 2015.

## **Autores**

Francielle Santana de Oliveira, Jéssica Delesposte Destefani, Letícia Rigo Tavares, José Carlos Venâncio da Páschoa, Aline Marchiori Crespo, Otávio Pereira Araujo, Priscilla Moreira Curtis Peixoto, Camila Barbiero Siqueira, Lucas Henrique Cortat, Maurício Novaes Souza

Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500- 000, Alegre-ES, Brasil.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)

---

## **Práticas agroecológicas na preservação dos recursos hídricos: como os macroinvertebrados bentônicos respondem às alterações de qualidade da água?**

Letícia Rigo Tavares, João Paulo Andrade Gomes, Gabriel Permanhe, Francielle Santana de Oliveira, Eloisio de Oliveira Martins, Danillo Sartório Rangel, Willian Moreira da Costa, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c7>

### **Resumo**

As ações antrópicas, invariavelmente, causam impactos nos ambientes, que na sua maioria são negativos: o desenvolvimento urbano e as atividades agropecuárias estão entre os principais agentes de degradação ambiental. A fim de avaliar a evolução desses impactos, a ciência utiliza de indicadores ambientais capazes de traduzir os efeitos das ações antrópicas no meio ambiente. Esses indicadores podem ser de várias naturezas, tais como (os): físicos, químicos e biológicos - este último é o mais sensível às variações ambientais. Os macroinvertebrados bentônicos são utilizados como bioindicadores de qualidade da água por conta de várias características populacionais e comportamentais favoráveis ao estudo contínuo, por um longo intervalo de tempo, além da facilidade e simplicidade de coleta. Como a maioria das ações degradantes influencia na qualidade das águas, tanto superficiais quanto subterrâneas, o estudo da qualidade das águas se faz importante, uma vez que refletem os impactos das ações antrópicas em áreas urbanas ou rurais. Sendo assim, métodos de conservação de água e solo, principalmente em ambientes de produção agropecuária, são capazes de minimizar os efeitos químicos e físicos nas águas que, por consequência, afetam a população de organismos aquáticos, como os bentos. Estratégias como terraceamento, barraginhas, plantio direto e a conservação da mata ripária, quando trabalhadas em conjunto, podem mitigar os efeitos dos impactos ambientais causados pelo uso antrópico do solo e proporcionar quantidade e qualidade de águas suficientemente adequadas aos seus principais usos.

**Palavras-chave:** Macroinvertebrados bentônicos. Conservação. Bioindicadores. Recursos hídricos.

## 1. Introdução

Os ecossistemas aquáticos vêm sofrendo impactos com as ações antrópicas: principalmente devido ao desenvolvimento das atividades agropecuárias e dos centros urbanos: os principais fatores de mudanças de uso do solo, perda de habitats e de biodiversidade. A substituição de ambientes naturais para o estabelecimento de atividades antrópicas de exploração vem simplificando as interações ecológicas promovendo assim desequilíbrio nos serviços ecossistêmicos e nos estoques de recursos na natureza. Diante dessa realidade é inevitável que todos os ecossistemas sofram diretamente com a ação do homem, resultando assim em degradação ambiental (GOULART; CALLISTO, 2003; SOUZA, 2018; 2021).

Para avaliar os impactos ambientais em ecossistemas aquáticos os macroinvertebrados bentônicos são utilizados como bioindicadores: principalmente porque refletem as mudanças no ambiente, tais como: variação de pH, oxigênio dissolvido e teor de matéria orgânica (ESTEVES, 1998). A análise da estrutura populacional desses organismos é considerada um indicador mais sensível na avaliação de impactos ambientais do que as variáveis de qualidade da água, pois suas características de comportamento trazem vantagens no processo de análise espacial e temporal, tais como: serem organismos naturalmente abundantes, de locomoção limitada, estarem presentes durante grande parte do ano, distribuídos em diferentes níveis tróficos e responderem de formas diversas ao estresse (CAVALLI, 2015). Além disso, o tamanho dos animais, a coleta sem uso de equipamentos sofisticados e seu ciclo longo para observação de alterações no ambiente, tornam este método mais favorável (ALBA-TERCEDOR, 1996).

Os macroinvertebrados possuem diversas formas de vida e são encontrados em ambientes variados, podendo colonizar macrófitas e substratos (bentônicos). Possuem um importante papel ecológico em ecossistemas aquáticos com relevante participação no fluxo de energia, participando do processo de decomposição de microalgas; na ciclagem de nutrientes; na mineralização da matéria orgânica; no fluxo marinho de compostos químicos; e nos ciclos biogeoquímicos. Estes organismos habitam o fundo de ecossistemas aquáticos durante parcial ou total tempo de seu ciclo de vida, associado aos mais diversos tipos de substratos, tanto orgânicos como

inorgânicos (GOULART; CALLISTO, 2003; RIBEIRO *et al.*, 2005; SILVEIRA *et al.*, 2006).

Como são seres sensíveis às variações do ambiente, e por se comportarem de forma previsível frente a esses eventos, tanto de origem natural quanto antropogênica, os organismos bentônicos são ferramentas fundamentais para o diagnóstico ambiental (VAN LOON *et al.*, 2015). Dados sobre a diversidade e comportamento desses organismos explica o processo de exploração de recursos, como espaço e alimento.

Estudos sobre a composição da comunidade bentônica são importantes na medida em que reconhecem os efeitos de uma possível alteração sobre o ecossistema aquático. Além disso, é uma ferramenta para o manejo e uso sustentável de habitats, no qual pode evitar a rápida destruição dos ambientes naturais (AQUINO, 2005).

Conforme a Lei nº 12.651/2012 do Novo Código Florestal, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) são áreas protegidas (BRASIL, 2012). A vegetação ripária conecta os ecossistemas aquáticos e terrestres (FRANÇA *et al.*, 2009), contribuindo com uma série de funções ecológicas para os ambientes lóticos, responsáveis tanto pela manutenção da biodiversidade quanto pela estabilidade do ambiente (Figura 1).



**Figura 1.** Trecho do rio Pomba com a presença de mata ciliar Fonte: Arquivo pessoal (2016). Fonte: Arquivo pessoal (2016).

As diferentes densidades da vegetação ripária influenciam de forma significativa o fluxo de matérias orgânicas nos riachos e, afetam, conseqüentemente, a estrutura e a composição da comunidade de macroinvertebrados presente (VANNOTE *et al.*, 1980). Existe, portanto, uma relação forte entre características da qualidade ambiental e cursos d'água: a ausência de mata ripária proporciona menor entrada de material alóctone e maior de substrato fino (ONO, 2011).

Os corpos hídricos integram as diferentes atividades que ocorrem nas áreas de entorno, considerando-se o uso e a ocupação do solo. Assim, suas características ambientais, especialmente as comunidades biológicas, fornecem informações sobre as conseqüências das ações antrópicas e refletem na qualidade ambiental (CALLISTO *et al.*, 2001).

Este trabalho tem por objetivo demonstrar a importância do uso dos macroinvertebrados bentônicos como indicadores da qualidade ambiental bem como para o equilíbrio do agroecossistema.

## **2. Água e Meio Ambiente**

A água é um recurso natural essencial por ser um composto fundamental para o metabolismo dos organismos vivos, contribuindo para a manutenção da vida, saúde e bem-estar do homem.

A água potável de acesso para a população é relativamente escassa, apresentando-se como um dos principais problemas ambientais a serem enfrentados pela população mundial nas próximas décadas. Existem quatro modalidades principais de consumo de água: agricultura, produção energética, atividade industrial e abastecimento humano. Como a população mundial cresce constantemente, demandam-se mais alimentos e energia elétrica (MARMONTEL; RODRIGUES, 2015).

As Nações Unidas preveem que em 2030 a sociedade vai aumentar a demanda em 35% de alimentos, 40% de água e 50% de energia. Até 2050, a demanda por alimentos e por energia crescerá 70% e 60%, respectivamente. O Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWDR4), lançado em 2014, prevê um maior distanciamento econômico entre países, entre setores econômicos ou até mesmo entre regiões dentro dos países, como conseqüência das dificuldades crescentes de acesso

à água. Além disso, o documento alerta que esse processo prejudicará principalmente a população mais pobre (ONU, 2014).

A conservação dos recursos hídricos é considerada um importante serviço ambiental, especialmente diante do cenário de mudanças climáticas globais. Possíveis alterações na oferta natural de água representam impactos profundos na dinâmica dos ecossistemas naturais e na produtividade agrícola, trazendo sérias consequências socioeconômicas (SALATI *et al.*, 2002; SOUZA, 2015). Portanto, a procura de mecanismos eficazes capazes de reduzir esses impactos ambientais nesses sistemas tem sido considerada como uma das prioridades de pesquisa desse século e um desafio para o próximo (NEGREIROS, 1997).

Os ecossistemas aquático e terrestre estão conectados pelo ciclo hídrico (Figura 2). Por conta da íntima relação entre a vegetação terrestre e os sistemas aquáticos, as crescentes taxas de derrubada de vegetação nativa para implantação de sistemas agropecuários podem proporcionar alterações drásticas nos corpos hídricos, como transporte de sedimentos, de matéria orgânica e de nutrientes para os cursos d'água (MCCLAIN; ELSER, 2001). Tais alterações afetam a resistência e a resiliência dos agroecossistemas, bem como toda a diversidade regional.



**Figura 2.** Cobertura vegetal e sua influência sobre o ciclo hidrológico. Fonte: EMBRAPA (2012)

A deposição de qualquer tipo de resíduo no solo pode gerar grandes impactos e externalidades ambientais, principalmente no âmbito da degradação de recursos naturais. Tais resíduos podem ser ou gerar líquidos de percolação, que por consequência atingem águas superficiais ou subterrâneas: o uso e a ocupação do solo, urbano e rural, influenciam diretamente na qualidade da água. Cabe considerar que os corpos hídricos de pequeno porte são particularmente mais sensíveis aos distúrbios antropogênicos (Figura 3).



**Figura 3.** Microbacia do IF Sudeste de Minas campus Rio Pomba sem cobertura vegetal original: pastagens degradadas e assoreamento do corpo hídrico. Fonte: Arquivo pessoal (2015).

Estudos das interações dos recursos ambientais com ações antrópicas em uma bacia hidrográfica são necessários: segundo Lima (1986) e Souza (2015), a conservação da água não pode ser atingida sem considerar a conservação dos outros recursos naturais.

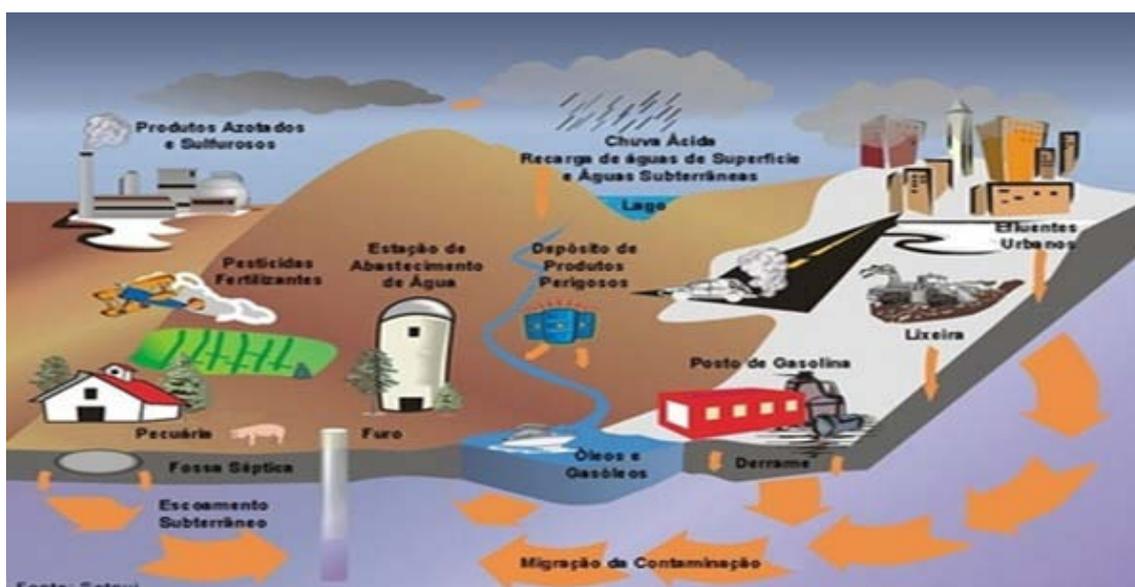
### **3. Ações antrópicas e impactos nos ecossistemas aquáticos**

O avanço da atividade humana ao longo do tempo resultou em uma série de impactos ambientais, destacando-se a exploração inconsciente e desordenada dos recursos hídricos. A supressão da vegetação e da paisagem original nas proximidades dos ambientes aquáticos desequilibra as

comunidades animais e vegetais, afeta a disponibilidade de alimento e se relacionado às atividades agropecuárias, contamina os ecossistemas aquáticos por intermédio de efluentes e agroquímicos (MARTINS *et al.*, 2014; SOUZA, 2018).

Os ecossistemas aquáticos funcionam, em grande parte, como reservatórios, diretos ou indiretos, de muitos tipos de poluentes presentes no ar, no solo ou lançados diretamente nos corpos hídricos, no curto e em longo prazo (MEYBECK; HELMER, 1996; SOUZA, 2015; 2018; 2021). Sendo assim, os recursos hídricos são os mais vulneráveis quando afetados pela atividade humana, comprometendo qualidade, quantidade ou suas características referentes ao aporte de nutrientes (ALLAN *et al.*, 1997), diversidade faunística e produtividade das comunidades envolvidas (WOOD; ARMITAGE, 1997; PRINGLE *et al.*, 2000).

Nas últimas décadas, as atividades antrópicas como a mineração, o barramento e o represamento, a alteração dos cursos dos rios, o lançamento de resíduos domésticos e industriais sem tratamento, o desmatamento e a exploração inadequada do solo, alteraram significativamente a dinâmica dos ecossistemas aquáticos (Figura 4). Em consequência, observa-se uma queda expressiva na qualidade da água e biodiversidade aquática (GOULART; CALLISTO, 2003).



**Figura 4.** Alteração de corpos hídricos e seus impactos. Fonte: Secretaria da Educação do Paraná (2016).

A gradual redução da biota aquática pode acarretar a extinção de espécies ainda não conhecidas, mudanças nos parâmetros físico-químicos e redução da qualidade da água. Frente a esses distúrbios, alguns organismos aquáticos possuem certo grau de tolerância a determinadas condições ambientais, além de poderem desenvolver adaptações evolutivas, o que pode alterar a estrutura e composição da comunidade aquática, por intermédio da dominância de espécies favorecidas (ALBA-TERCEDOR, 1996; GOULART; CALLISTO, 2003; BATISTA *et al.*, 2010).

### **3.1. A agropecuária e seus impactos sobre a qualidade das águas superficiais**

O sistema de produção agropecuária atual está diretamente relacionado e dependente da utilização de insumos agrícolas para controlar os organismos nocivos que ocorrem e atacam os produtos agrícolas prejudicando as colheitas. Apesar dos benefícios, a aplicação destes insumos gera, comumente, grandes problemas: esses químicos muitas vezes são tóxicos, podendo ser cancerígenos, mutagênicos, teratogênicos e mimetizadores de hormônios. São aplicados em grande quantidade, em áreas bastante extensas e, geralmente, possuem grande persistência no meio ambiente (PRIMEL *et al.*, 2005).

A situação de um corpo d'água está estreitamente relacionada às atividades humanas realizadas ao seu entorno (Figura 5). Para a compreensão de como as comunidades de macroinvertebrados bentônicos estão reagindo à alteração da qualidade de água é preciso identificar quais variáveis físicas, químicas e biológicas estão afetando os organismos (TATE; HEINY, 1995).

Em águas continentais, segundo Berenzen *et al.* (2005), a distribuição e a densidade de táxons de macroinvertebrados são influenciadas por vários fatores, entre eles a poluição orgânica, a degradação de habitat e o uso de agrotóxicos. Estes animais apresentam duas estratégias de adaptação ao regime de instabilidade do meio: a resiliência e a persistência. Resiliente é a biota que apresenta capacidade de recolonização rápida de áreas perturbadas; e persistente é a biota que demonstra uma boa capacidade de resistência a distúrbios (WINTERBOTTON *et al.*, 1997; SOUZA, 2015).



**Figura 5.** Principais ações antrópicas em ambientes de atividade agrícola que afetam indiretamente ou diretamente os ecossistemas aquáticos. Fonte: TATE; HEINY (1995).

Com o objetivo de determinar a persistência na água e a influência de Clomazone, Quinclorac, Metsulfuron-methyl e Propanil na comunidade zooplanctônica de água doce, Reimche *et al.* (2008) observaram que herbicidas Clomazone [2-[(2-clorobenzil)]-4,4-dimetil-1,2-oxazolidin-3-ona] e Quinclorac [3,7-dicloroquinolina-8-ácido carboxílico] possuem uma persistência relativamente mais alta em área de cultivo de arroz, se comparado a outros herbicidas. Estes mesmos autores verificaram que para Cladocera, a partir do 10º dia de irrigação, o Quinclorac fez com que houvesse um aumento na densidade dessa ordem se comparado ao tratamento controle. Já para o Clomazone, a partir do 18º dia houve tendência ao aumento de organismos deste grupo: isso possivelmente ocorreu devido ao estresse causado pela ação do produto químico, que fez com que houvesse um aumento na taxa de reprodução desses microcrustáceos.

Baumart (2010) investigou o impacto da utilização de diferentes agroquímicos, empregados na lavoura de arroz irrigada por inundação sobre a densidade e riqueza de organismos bentônicos, em duas coletas: uma realizada ao 28º dia, e outra no 84º dia após a entrada de água nas parcelas. Essas datas são correspondentes, respectivamente, à época de crescimento do cereal e de pré-colheita (secagem da área para o início da colheita), observando que a menor densidade e riqueza foram registradas no tratamento

com o herbicida Quinclorac na primeira e segunda coleta. No decorrer do cultivo agrícola do arroz irrigado houve tendência de aumento na abundância absoluta e riqueza da comunidade aquática. Este autor ainda observou uma gama muito ampla de agrotóxicos que afeta a população de chironomídeos, tanto de forma direta (inseticida), quanto indireta (herbicidas).

A relação dos herbicidas com a comunidade bentônica pode ser explicada pelo fato de que com a utilização destes insumos há uma redução na disponibilidade de recursos alimentares e trocas na estrutura da comunidade de algas, podendo ainda estar associado a esta questão o efeito tóxico desses recursos alimentares (GAGNETEN, 2002).

#### **4. Macroinvertebrados bentônicos: bioindicadores de qualidade da água**

A avaliação de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos tem sido realizada por intermédio da medição das alterações nas concentrações das variáveis físicas e químicas. Este sistema de monitoramento, juntamente com a avaliação de variáveis microbiológicas (coliformes totais e fecais), constitui-se como uma ferramenta fundamental na classificação e enquadramento de rios e córregos em classes de qualidade de água e padrões de potabilidade e balneabilidade humanas (GOULART; CALLISTO, 2003).

As comunidades biológicas podem refletir a integridade ecológica total dos ecossistemas, integrando os efeitos dos diferentes agentes impactantes, e fornecendo uma medida agregada desses impactos. Por este motivo se constituem em ótimos parâmetros para avaliação da qualidade ambiental em ecossistemas aquáticos (BARBOUR *et al.*, 2000). Estas comunidades são formadas por organismos que apresentam adaptações evolutivas a determinadas condições ambientais e apresentam limites de tolerância às diferentes alterações das mesmas (ALBA-TERCEDOR, 1996). Os organismos comumente utilizados na avaliação de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos são os macroinvertebrados bentônicos, peixes e comunidade perifítica.

A avaliação da qualidade da água por meio de indicadores biológicos surgiu principalmente para suprir a falta de eficiência dos indicadores físico-químicos, visto que estes não conseguem descrever integralmente o nível de qualidade dos corpos hídricos (BAPTISTA *et al.*, 2007).

Um bom indicador de qualidade de água deve refletir as condições de estresse às quais o sistema está exposto, em função da composição das comunidades presentes nos corpos d'água. Desse modo, os organismos bioindicadores devem responder à concentração de poluentes e a intensidade de estresse em função do tempo, levando em consideração que os organismos aquáticos normalmente acumulam xenobióticos, especialmente aqueles que possuem baixa solubilidade em água (QUEIROZ *et al.*, 2008).

Essa resposta se dá aos níveis bioquímicos, celulares, fisiológicos, compartimentais ou energéticos, bem como às condições do meio em relação aos indícios de contaminação, indicando alteração da normalidade. A avaliação dos impactos pode ser por fluidos corporais, células, tecidos ou o próprio organismo completo (ARIAS *et al.*, 2007).

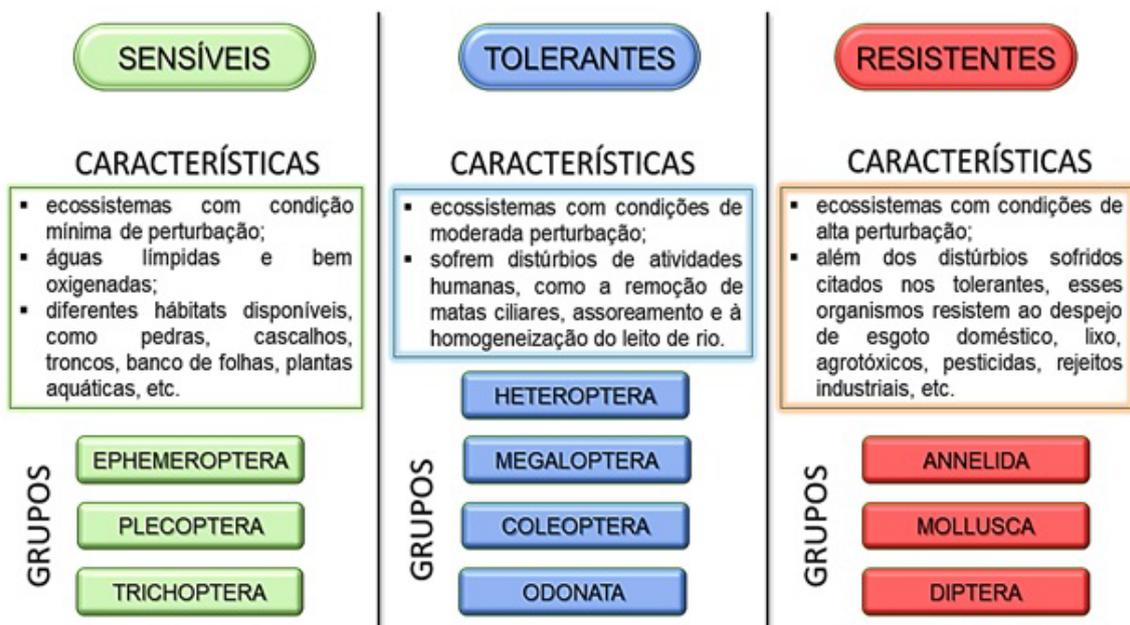
Nesse contexto, os bioindicadores de qualidade da água podem ser espécies ou comunidades biológicas que mostram o grau do impacto ambiental de seus corpos hídricos. Tais indivíduos podem ser estudados de forma conjunta, a fim de avaliar mudanças ecológicas causadas pela poluição, uma metodologia efetiva que supera a avaliação físico-química da água. Geralmente, os bioindicadores mais adotados são aqueles sensíveis às mudanças na sazonalidade e às atividades humanas, como a poluição (CALLISTO *et al.*, 2005).

Crescentemente, estudos referentes à qualidade de água utilizam as comunidades biológicas em conjunto com as variáveis físicas e químicas da água e do sedimento, com o objetivo de se obter uma visão amplificada das interferências que uma determinada microbacia e, conseqüentemente, seu canal de drenagem, recebem ao longo de um período de tempo. Nesse sentido, a comunidade bentônica vem ganhando grande destaque, principalmente em estudos realizados em rios, por serem organismos sedentários e com um ciclo de vida relativamente curto (se comparados aos peixes).

Os macroinvertebrados bentônicos são considerados bons indicadores da qualidade de água, uma vez que por esse ciclo de vida curto acabam expressando, de uma forma mais rápida, as modificações ocorridas no ambiente por intermédio da mudança na estrutura das populações e comunidades (ROSEMBERG; RESH, 1993; TUNDISI, 2003). Esses autores

ainda destacam outro ponto no uso de macroinvertebrados bentônicos para o biomonitoramento: o fato de essa comunidade ser composta por grande diversidade biológica resulta numa maior variabilidade de respostas frente aos diferentes tipos de impactos ambientais.

Segundo Ferraz (2008), os macroinvertebrados bentônicos se caracterizam por habitar o sedimento dos corpos hídricos, tanto continentais quanto oceânicos. Dentre os continentais, predominam as larvas de insetos anelídeos, gastrópodes e crustáceos, todos esses com tamanho de corpo maior que 0,5 mm. São bioindicadores de qualidade da água e podem ser classificados em organismos sensíveis ou intolerantes, organismos tolerantes e organismos resistentes (GOULART; CALLISTO, 2003) (Figura 6).



**Figura 6.** Síntese das principais características dos grupos de bioindicadores bentônicos de qualidade de água. Fonte: adaptado de França; Calisto (2019).

Os organismos sensíveis ou intolerantes vivem no fundo dos rios, debaixo de pedras, em águas limpas e com muito oxigênio: por serem mais sensíveis aos altos teores de contaminantes, retornam a informação de que determinado ambiente aquático está em boas condições ambientais. Já os organismos tolerantes vivem, preferencialmente, em águas limpas, mas podem tolerar o início do processo de poluição. No entanto, os organismos tolerantes, que vivem no fundo dos rios, enterrados na areia ou lama, desde águas limpas

até as sujas e sem oxigênio, podem sobreviver em locais muito poluídos, e por isso indicam que o ambiente em questão está ambientalmente degradado (FRANÇA *et al.*, 2008).

A importância da fauna bentônica para a estabilidade de seu habitat é reconhecida na literatura. Desempenham importantes funções na dinâmica dos ecossistemas aquáticos e fornece bens e serviços ecossistêmicos essenciais. Esses organismos participam do processo de decomposição de microalgas, mineralização da matéria orgânica e no fluxo marinho de compostos químicos. Por responderem de forma previsível aos distúrbios naturais e antropogênicos, os organismos bentônicos são amplamente utilizados como indicadores ambientais (VAN LOON *et al.*, 2015). Portanto, torna-se uma ferramenta fundamental para o diagnóstico ambiental: deve-se conhecer o estado do ecossistema para definir planos de manejo e ações prioritárias.

As informações sobre a diversidade e comportamento desses organismos mostram de que forma são explorados os recursos, como espaço e alimento. Considerando que os organismos bentônicos são naturalmente abundantes, têm locomoção limitada, são residentes ao longo do ano, compõem vários níveis tróficos e respondem de formas diferentes ao estresse, a análise da estrutura é considerada um indicador mais sensível na avaliação de impactos ambientais do que as variáveis de qualidade da água (CAVALLI, 2015).

A composição, variabilidade espacial e diversidade de espécies da comunidade bentônica são particularmente importantes no que remete aos processos de troca de energia, devido a sua posição intermediária entre os componentes de água e sedimento. Além disso, a fauna bentônica representa a principal ligação entre os organismos consumidores primários e secundários presentes nos corpos de água (LOHRER *et al.*, 2004; TUNDISI; TUNDISI, 2010).

Segundo Callisto *et al.* (2005), os zoobentos são essenciais para a estabilidade ecológica. Realizam a transferência da energia obtida, por meio da matéria orgânica no sedimento, para os animais que os tem como fonte de alimento nos ecossistemas aquáticos, tais como: peixes, anfíbios e aves. Segundo esses mesmos autores, o “Programa de Biomonitoramento Ambiental” pode ser definido como:

O que integra medições físicas, químicas e biológicas, permitindo a caracterização físico-química dos ecossistemas aquáticos de uma bacia hidrográfica e o estudo da ecologia dos organismos bioindicadores de qualidade da água. O uso desses organismos como bioindicadores é baseado em um princípio simples: submetidos a condições adversas, os organismos se adaptam ou morrem. Portanto, os organismos que vivem em um dado ecossistema estão adaptados as suas condições ambientais e, por isso, devem refletir o nível de preservação das condições naturais ou as alterações provocadas pela emissão de poluentes ambientais (CALLISTO *et al.*, 2005).

#### **4.1. Vegetação ripária e importância ambiental**

Conforme o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012), as Áreas de Preservação Permanente (APPs) são áreas de proteção obrigatórias, que correspondem a topos de morro, as faixas marginais de qualquer curso d'água, ao redor de lagos e lagoas naturais e entorno das nascentes e olhos d'água perenes, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, o ambiente e a sua biodiversidade, proteger os solos, contribuindo para o equilíbrio geológico e hidrológico e garantir o bem-estar humano (Figura 7).

A vegetação ripária exerce forte influência sobre o fluxo de matéria orgânica nos corpos hídricos, afetando a estrutura e composição da comunidade faunística (VANNOTE *et al.*, 1980; SOUZA, 2015).

Nos trechos de vegetação ripária densa, o sombreamento da água dificulta a entrada de luz, fazendo que o principal aporte de matéria orgânica seja alóctone; ou seja, oriundo da matéria externa, como degradação de folhas e restos vegetais: configuram-se o principal recurso energético para as comunidades aquáticas nesses sistemas. Nos lugares onde essa vegetação não é tão densa, a luminosidade intensa favorece a produção primária - automaticamente o aporte autóctone de matéria (VANNOTE *et al.*, 1980; TOWNSEND *et al.*, 2010; LISBOA, 2012; SOUZA, 2015; 2021).

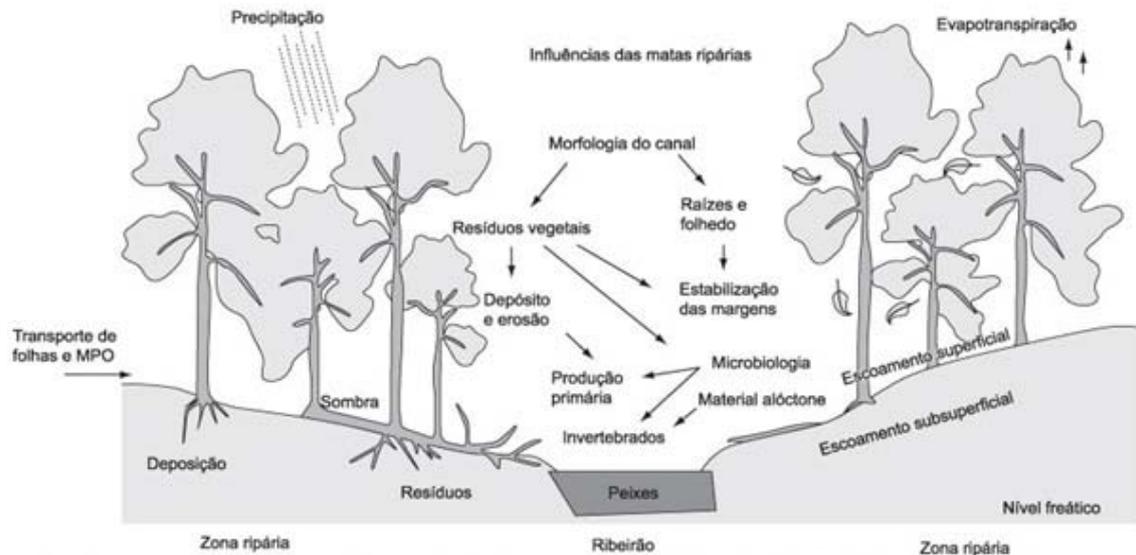


**Figura 7.** Representação das Áreas de Preservação Permanente. Fonte: ECOBRASIL (2020).

A remoção da vegetação ripária causada pela intensa alteração do ambiente interfere na fonte de recurso para o ecossistema aquático, afetando os níveis tróficos e conseqüentemente a estrutura das comunidades de macroinvertebrados (BARRELLA *et al.*, 2000). De acordo com Ono (2011), uma relação forte entre cursos d'água com a retirada da mata ripária e algumas características do habitat relacionadas com perda de qualidade ambiental, como menor entrada de material alóctone e maior de substrato fino pode ser observada. Além disso, quando essas características estão associadas à presença de maior quantidade de vegetação nas margens, a correlação se dá por conta de uma maior abundância de coletores, filtradores e predadores nos riachos com mata ripária alterados.

A vegetação ciliar proporciona a estabilidade do solo e controle de processos erosivos e desempenham o papel de filtros, retendo a chegada de nutrientes, agrotóxicos, poluentes e sedimentos que seriam levados para os cursos de água, dificultando os impactos dos processos de alterações físicas,

químicas, biológicas (VILELA, 2006; NEVES *et al.*, 2014), contribuindo, assim, para conservar as redes de drenagem (Figura 8).



**Figura 8.** Principais processos dependentes de florestas ripárias Fonte: Adaptado de Tundisi; Tundisi (2010).

Há de se considerar que um ecossistema é uma unidade complexa com variedades e variações de formas de vida, populações e características; contudo, sofre mudanças temporais, não sendo estático e podendo, inclusive, alterar a composição de sua biodiversidade. O uso e ocupação do solo, seja em áreas rurais ou em áreas urbanas, ao longo do tempo tem impactado profundamente a rede de drenagem: a proteção das APPs é um dos objetivos da legislação ambiental (PEREIRA *et al.*, 2011; SOUZA, 2015; 2021).

É fundamental a sua conservação porque a produção primária está intimamente ligada à biodiversidade, ao fluxo de energia, ao balanço hídrico e à reciclagem dos elementos minerais (SOUZA, 2008; 2021). De acordo com ALTIERI (1999), a biodiversidade se refere às espécies de plantas, animais e microrganismos existentes que interagem dentro de um ecossistema. Em um agroecossistema, a manutenção da biodiversidade natural ou o seu incremento, auxilia na preservação do banco de germoplasma de espécies nativas, na reciclagem de nutrientes, no controle do microclima local, na

regulação de processos hidrológicos, no equilíbrio entre organismos desejáveis e indesejáveis, entre outros fatores.

A retirada deste tipo de vegetação e sua substituição por atividades agropecuárias, tais como as pastagens e a expansão urbana, têm causado distúrbios na qualidade da água e distribuição hídrica (DAVIDE *et al.*, 2002; PINTO, 2003; GROSSI, 2006; SOUZA, 2015; 2018; 2021), fazendo-se necessários ajustes no planejamento e na gestão desses recursos (IOST, 2008).

Para Tundisi (2003), as soluções não podem ser desprovidas de embasamento técnico e capacidade real de solução de problemas, desenvolvendo-se parcerias. Para esse mesmo autor, na recente ênfase de gestão de recursos hídricos, a bacia hidrográfica como conceito de estudo e gerenciamento, pode prover esta melhor integração entre ecologia profissional e ativismo ambiental, cujo distanciamento vem trazendo problemas e atraso nas decisões.

O conceito de bacia hidrográfica aplicada ao gerenciamento de recursos hídricos, “estende as barreiras políticas tradicionais (municípios, estados, países) para uma unidade física de gerenciamento e planejamento e desenvolvimento econômico e social” (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002). O fato é que a falta do pensamento sistêmico e da visão holística na gestão de recursos hídricos, associados à incapacidade de incorporarem e, ou, adaptarem o projeto aos processos econômicos e sociais, atrasa o planejamento e interferem em políticas públicas competentes e saudáveis (SOUZA, 2015).

Para TUNDISI (2002), o gerenciamento adequado da bacia hidrográfica é fundamental, exigindo que ocorra a integração entre o setor privado e usuários, universidade e setor público. Para Souza (2021), o uso de práticas conservacionistas agroecológicas é fundamental para a manutenção da produtividade e sustentabilidade dos agroecossistemas.

#### **4.2. Práticas conservacionistas agroecológicas e a comunidade bentônica**

O desmatamento, principalmente das matas ciliares, a erosão, o esgotamento dos solos e a contaminação do solo e corpos d'água por agroquímicos e fertilizantes são impactos ambientais que refletem diretamente

na contaminação de águas subterrâneas e aquíferos, e nas águas superficiais. A perda da biodiversidade aquática também é considerável quando os efluentes das áreas agrícolas atingem o leito dos rios ou quando suas margens são alteradas para pasto ou mesmo para a implantação dos cultivos (SILVEIRA *et al.*, 2006; SOUZA, 2015; 2018; 2021).

Os benefícios de um adequado manejo do solo, associado à manutenção da mata ciliar, são incontestáveis. O uso da adubação verde, do plantio direto e de um sistema de terraços em nível na área agricultável ou de pastagens, por exemplo, proporciona a contenção e infiltração da água da chuva, evita o arraste de sedimentos e nutrientes para os corpos hídricos, conservando a biodiversidade e a qualidade dos recursos hídricos. Dessa forma, os parâmetros físico-químicos de qualidade da água podem se encontrar em patamares de conservação ambiental adequados, tornando o ambiente aquático propício para a presença de organismos sensíveis (QUEIROZ *et al.*, 2010; SOUZA, 2015; 2018; 2021)

Silveira *et al.* (2006) afirmam que a ausência de práticas conservacionistas do solo exerce influência direta sobre a turbidez, impactando a qualidade da água e a biodiversidade da comunidade bentônica. Concluem que durante algumas coletas realizadas nos meses mais chuvosos, a descarga de silte e argila em decorrência do escoamento superficial (ES) são mais intensas. Causam grandes acúmulos desse material sobre a superfície do sedimento de fundo dos rios onde são encontrados os organismos bentônicos. Esse acúmulo de sedimentos sobre o habitat natural dos organismos bentônicos provoca a redução do índice biótico.

Os prejuízos sociais e ambientais decorrentes da erosão são elevados. Podem reduzir a capacidade produtiva dos solos e, conseqüentemente, causar o aumento nos custos de produção e a redução da rentabilidade dos produtores rurais. Pode ainda diminuir a área de exploração agrícola, bem como interferir na qualidade das vias de deslocamento, impossibilitando, em alguns casos, o acesso de moradores de áreas rurais à educação e saúde (ZONTA *et al.*, 2012).

De acordo com Souza *et al.* (2010; 2011; 2012; 2013; 2014), os principais fatores que interferem no processo erosivo são: a precipitação, o tipo de solo, a declividade e o comprimento da encosta, a cobertura vegetal e as

práticas de manejo, sendo que os dois últimos são fatores controláveis com técnicas de manejo conservacionista de solo e água.

Segundo esses mesmos autores, a cobertura vegetal oferece ao solo proteção ao impacto direto das gotas da chuva, reduz a velocidade do escoamento superficial e aumenta a resistência à tensão de cisalhamento associado ao escoamento. Com isso, atua como elemento dissipador de energia, favorecendo o controle do processo erosivo.

A ausência de práticas de manejo agroecológicas e conservacionistas pode acelerar o processo erosivo. Práticas que favorecem a ação dos fatores erosivos são aquelas que expõem os solos ao impacto direto das precipitações. Derrubadas de florestas, queimadas e práticas que alteram a estrutura dos solos, como a compactação decorrente da mecanização excessiva, atuam como agravantes. Por outro lado, práticas que se baseiam na manutenção da cobertura vegetal, como o plantio direto e o uso de cobertura morta, e tantas outras que visam a melhorias das condições de fertilidade e da estrutura do solo, como a adubação e a calagem, reduzem a ação do processo erosivo (SOUZA, 2018).

Merecem destaque as práticas de caráter mecânico: utilizam estruturas artificiais para a interceptação e condução do escoamento superficial, como o terraceamento e as barraginhas.

Como resultado do bom manejo dos solos, a elevada biodiversidade do solo e da água: os macroinvertebrados bentônicos, que podem ser utilizados como bioindicadores de qualidade da água por conta de suas características populacionais e comportamentais, têm a sua população beneficiada.

## **5. Considerações finais**

A exploração dos recursos naturais pela espécie *Homo sapiens* é historicamente marcada por excessos, promovendo desequilíbrios que atingem a dinâmica dos ecossistemas.

A água é um bem de consumo de direito universal, componente essencial à vida, utilizada para as mais diversas atividades antrópicas. É a base para a caracterização e proteção dos ecossistemas. Contudo, o uso múltiplo das águas e a degradação dos recursos hídricos têm diminuído

consideravelmente a sua qualidade e disponibilidade, gerando desafios para se lidar com a escassez em muitas regiões do mundo.

A vegetação ciliar é importante no equilíbrio dos ciclos hidrológicos e sua degradação afeta diretamente a qualidade da água e os ecossistemas aquáticos.

Os macroinvertebrados bentônicos se apresentam como uma importante ferramenta de monitoramento e gestão dos recursos hídricos: podem indicar o estado da qualidade da água, bem como podem apresentar uma ampla contextualização dos ecossistemas aquáticos, refletindo o seu estado de conservação.

O uso de práticas agroecológicas conservacionistas poderá resultar em menores perdas de solo no ambiente produtivo por erosão e, portanto, menor carregamento de material sólido para os cursos hídricos. Dar-se-á a mitigação dos impactos ambientais, principalmente sobre a qualidade da água, refletindo positivamente sobre a presença e diversidade dos organismos aquáticos, como a fauna bentônica bioindicadora.

## 6. Referências bibliográficas

ALBA-TERCEDOR, J. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los rios. *In: IV Simpósio del Agua en Andalucía (SIAGA)*, v. 2, 1996, Almeria: Instituto Tecnológico Geominero España, 1996. p. 203-213.

ALLAN, J. D.; ERICKSON, D. L.; FAY, J. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scale. **Freshwater Biol**, v. 37, p. 149-161, 1997.

AQUINO, F. G. **Manejo e Uso dos Recursos Naturais**. 2005. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 07 ago. 2020.

ARIAS, A. R. L.; BUSS, D. F.; ALBUQUERQUE, C.; INÁCIO, A. F.; FREIRE, M. M.; EGLER, M.; MUGNAI, R.; BAPTISTA, D. F. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 61-72, 2007.

BAPTISTA, D. F.; EGLER, M.; GIOVANELLI, A.; SILVEIRA, M. P.; NESSIMIAN, J. L. A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest stream at Rio de Janeiro Estate, Brazil. **Hydrobiology**. v. 575, p. 83-94, 2007.

BARBOUR, M. T.; SWIETLIK, W. F.; JACKSON, S. K.; COURTEMANCH, D. L.; DAVIES, S. P.; YODER, C. O. Measuring the attainment of biological integrity in

the USA: a critical element of ecological integrity. **Hydrobiologia**, v. 422-423, p. 453-464, 2000.

BARRELLA, W.; PETRERE, Jr. M.; SMITH, W. S.; MONTAG, L. F. A. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. *In* RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. DE F. eds. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo, EDUSP FAPESP, 2000. p. 187-200.

BATISTA, H. A.; BARBOLA, I. F.; KLOTH, A. E. G.; MILLÉO, J. Structure and composition of the macro invertebrate community as a way of evaluating the quality of the water from river Verde, Ponta Grossa, state of Parana, Brazil. **Terra Plural**, v. 4, n. 2, p. 241-256, 2010.

BAUMART, J. S. **Impacto de agrotóxicos usados na lavoura de arroz irrigado em organismos bentônicos** – 2010. 62 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Animal) - Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, 2010.

BERENZEN, N.; KUMKE, T.; SCHULZ, H.; SCHULZ, R. Macro invertebrate community structure in agricultural streams: impact of runoff-related pesticide contamination. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, p. 37-46, 2005.

BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal, Brasília, DF, v. 149, n. 202, 18 out. 2012. Seção I, p 1-3. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 04 ago. 2020.

CALLISTO, M.; GONÇALVES JÚNIOR, J. F.; MORENO, P. **Invertebrados aquáticos como bioindicadores**. Belo Horizonte: UFMG. ICB. Departamento de Biologia Geral. Laboratório de Ecologia de Bentos, 9 p., 2005. Arquivo interno.

CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. Macroinvertebrados Bentônicos como Ferramenta para Avaliar a Saúde de Riachos. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 1, p. 71-82, 2001.

CAVALLI, R. O. Maricultura. *In*: CASTELLO, J. P.; KRUG, L. C. (Org.). **Introdução às ciências do mar**. São Paulo: Editora Textos, 2015. cap. 14, p. 408-444.

DAVIDE, A. C.; PINTO, L. V. A.; MONNERAT, P. F.; BOTELHO, S. A. **Nascente: o verdadeiro tesouro da propriedade rural – o que fazer para conservar as nascentes nas propriedades rurais**. Lavras: UFLA; 2002.

ECOBRAZIL. **Área de Preservação Permanente (APP)**. Disponível em: [http://www.ecobrasil.eco.br/site\\_content/30-categoria-conceitos/1190-area-de-protecao-permanente-app](http://www.ecobrasil.eco.br/site_content/30-categoria-conceitos/1190-area-de-protecao-permanente-app). Acesso em: 07 dez. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.

**Práticas de Conservação de Solo e Água.** Circular Técnica, Campina Grande, PB. 2012. Disponível em: [https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500\\_perguntas\\_sistema\\_plantio\\_direto.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500_perguntas_sistema_plantio_direto.pdf), acesso em 20 mar. 2020.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos da Limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Iterciência, 1998.

FERRAZ, I. C. **Estudo da comunidade bentônica como ferramenta bioindicadora da qualidade da água em um rio de pequena ordem (rio Canha, baixo Ribeira de Iguape, SP).** 2008. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2008.

FONSECA, R. A.; SOUZA, M. N.; MENDONÇA, P. P.; MOURA NETO, H.; MOREIRA, C. G.; PASCHOA, J. C. DA; HORSTH, L. C.; CRESPO, A. M. Aquicultura: Impactos ambientais negativos e a mitigação com práticas agroecológicas, p. 58-72. In: SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.133 p.

FRANÇA, J. S.; DANTAS, C. B.; CALLISTO, M. **Tem bicho no rio! Isso é bom ou é ruim?** Belo Horizonte: UFMG. ICB. Departamento de Biologia Geral. Laboratório de Ecologia de Bentos, 2008. 4 p. Documento interno.

FRANÇA, J. S.; GREGÓRIO, R. S.; D'ARC DE PAULA, J.; GONÇALVES JÚNIOR, J. F.; FERREIRA, F. A.; CALLISTO, M. Composition and dynamics of allochthonous organic matter inputs and benthic stock in a Brazilian stream. **Marine and Freshwater Research**, v. 60, n. 10, p. 990-998, 2009.

FRANÇA, J. S.; CALLISTO, M. **Monitoramento participativo de rios urbanos por estudantes-cientistas.** 1 ed. Belo Horizonte: J. S. França, 2019. 284 p.

GAGNETEN, A. M. Efectos del herbicida paraquat sobre el zooplancton. **Iheringia**, v. 92, n. 3, p. 47-56, 2002.

GOULART, M. D. C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, v. 2, n. 1, p. 153-164, 2003.

GROSSI, C. H. **Diagnóstico e monitoramento ambiental da microbacia hidrográfica do rio Queima-Pé, MT.** Botucatu, 2006. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia (Energia na Agricultura)) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

IOST, C. **Produção de sedimentos e qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural.** 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola área de concentração Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2008.

LIMA, W. P. O papel hidrológico da floresta na proteção dos recursos hídricos. **Silvicultura**, São Paulo, v. 11, n. 41, p. 59-62, 1986.

LISBOA, L. K. **Dinâmica da vegetação ripária em riachos de mata atlântica subtropical**: composição da matéria orgânica alóctone e interação com invertebrados aquáticos. 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2012.

LOHRER, A. M.; THRUSH, S. F.; GIBBS, M. M. Bioturbator enhance ecosystem function through complex biogeochemical interactions. **Nature**, v. 431, p. 1092-1095. 2004

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Avaliação qualitativa de nascentes com diferentes coberturas do solo e conservação da vegetação em seu entorno no córrego Pimenta. **Scientia Agrária Paranaensis**, v. 14, n. 1, p. 53-59, jan./mar. 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/140390>. Acesso em: 22 abr. 2020.

MARTINS, R. T.; OLIVEIRA, V. C.; SALCEDO, A. K. M. Uso de insetos aquáticos na avaliação de impactos antrópicos em ecossistemas aquáticos. *In*: HAMADA, N.; NESSIMIAN, L. J.; QUERINO, R. B. **Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. 1. ed. Manaus: Editora INPA, 2014. p. 117-128.

MCCLAIN, M. E.; ELSENBEER, H. Terrestrial inputs to Amazon streams and internal biogeochemical processing. *In*: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (Ed.). **The Biogeochemistry of the Amazon**. New York: Oxford University Press, 2001. p. 185-208.

MEYBECK, M.; HELMER, R. An introduction to water quality. *In*: CHAPMAN, D. **Water quality assessments: a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. 2. ed. Cambridge: University Press, 1996. 651 p.

NEGREIROS, S. CETESB conclui inventário e prepara plano de ação. **Saneamento Ambiental**, n. 46, p. 30-34, 1997.

NEVES, L. S.; SOUZA-LEAL, T.; BORIN, L.; CAVALCANTE, V. R.; ROSSETTO, L.; PASCOTTI, D. P.; MORAES, C. P. Nascentes, áreas de preservação permanentes e restauração florestal: histórico da degradação e conservação no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, p. 747-760, set./dez. 2014.

ONO, E. R. **Efeito da retirada da mata ripária sobre a estrutura dos grupos funcionais de alimentação em assembleias de macroinvertebrados bentônicos**. 2011. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 2011.

ONU – Organização das Nações Unidas. **The United Nations World Water Development Report**. Paris, França, v. 1, 2014. Disponível em:

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000225741>. Acesso em: 06 dez. 2020.

PEREIRA, P. H. V.; PEREIRA, S. Y.; YOSHINAGA, A.; PEREIRA, P. R. B. Análise e discussão dos conceitos existentes. **Fórum ambiental da alta paulista**. v. 07, n. 02, p. 139-151, 2011.

PINTO, L. V. A. **Caracterização física da sub-bacia do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG, e propostas de recuperação de suas nascentes**. 2003. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

PRIMEL, E. G.; ZANELLA, R.; KURZ, M. H. S.; GONÇALVES, F. F.; MACHADO, S. DE O.; MARCHEZAN, E. Poluição das águas por herbicidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do estado do rio grande do sul, Brasil: predição teórica e monitoramento. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 605-609, 2005.

PRINGLE, C. M.; FREEMAN, M. C.; FREEMAN, B. J. Regional effects of hydrologic alterations on riverine macro biota in the New World: tropical-temperate comparisons. **BioSci**, v. 50, n. 9, p. 807-823, 2000.

QUEIROZ, J. F.; MOURA E SILVA, M. S. G.; HERMES, L. C.; SILVA, A. S.; TRIVINHO-STRIXINO, S.; EGLER, M.; NESSIMIAN, J. L.; BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NASCIMENTO, V. M. C.; FREIRE, C. F.; TOLEDO, L. G. **Organismos bentônicos: biomonitoramento de qualidade de água**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008.

QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde Mossoró**, Rio Grande do Norte. v. 5, n. 4, p. 200-210, 2010

REIMCHE, G. B.; MACHADO, S. L. DE O.; GOLOMBIESKI, J. I.; BAUMART, J. S.; BRAUN, N.; MARCHEZAN, E.; ZANELLA, R. Persistência na água e influência de herbicidas utilizados na lavoura arrozeira sobre a comunidade zooplanctônica de Cladocera, Copepoda e Rotífera. **Ciência Rural**, v. 38, n. 1, p. 7-13, 2008.

RIBEIRO, L. O.; UIEDA, V. S. Estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos de um riacho de serra em Itatinga, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 3, p. 613-618, Jul./Set. 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-81752005000300013>. Acesso em: 18 maio 2020.

ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macro invertebrates. *In*: **Freshwater biomonitoring and benthic macro invertebrates**, Chapman & Hall, New York, p. 1-9, 1993.

SALATI, E. F.; SALATI, E.; ELIAS, J. M.; DE ANGELIS, J. A.; MINCHERIAN, R.; PEREIRA, M. R. M.; MEDEIROS JR, J. V.; SAMPAIO JR, J. A. **Melhoria da qualidade da água da várzea do Parelheiros através dos sistemas de**

**“wetlands” construídos.** XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Cancun, México. 27 a 31 outubro, 2002. Disponível em <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/i-046.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2020.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas.** Florianópolis: UESC, 2002. 289p.

SECRETARIA DA EDUCAÇÃO DO PARANÁ. **Poluição das águas subterrâneas.** 2017. Disponível em: <http://www.quimica.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1114&evento=2>. Acesso em: 19 mar. 2020.

SILVEIRA, M. P.; QUEIROZ, J. F.; FERRAZ, J. M. G.; RIBACINKO, D. B.; CARVALHO, M. P.; MARIGO, A. L.; SITTON, M.; ZAMBON, G.; SILVA, J. R. avaliação biológica da qualidade da água em duas microbacias do Rio Mogi Guaçu (SP) e sua relação com os impactos agrícolas. **Biológico**, São Paulo, v. 68, p. 737-743, 2006. Suplemento

SOUZA, M. N. **Degradação Antrópica e Procedimentos de Recuperação Ambiental.** Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018, v.1000. 376 p.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais.** Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015, v. 5000. 374 p.

SOUZA, M. N. **Recuperação ambiental ou recuperação de áreas degradadas: conceitos e procedimentos.** p. 11-57. In: SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.133 p.

SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.133 p.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.; SANCHEZ ROMAN, R. M.; SILVA, M. A. A. Software STELLA and the hydrologic behavior in the basin of the Entre Ribeiro river, Paracatu river tributary, in scenery of climatic change. **Cadernos UNICAMP**, v. 84, p. 67-79, 2012.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.; SANCHEZ ROMAN, R. M.; SILVA, M. A. A. Dynamic of systems and the modeling with the use STELLA program of the hydrologic resources in the river Preto basin, Paracatu river tributary. **Sistema Aberto e Integrado de Informação em Agricultura**, v. 21796, p. 23-35, 2011.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.; SANCHEZ ROMAN, R. M.; SILVA, M. A. A. Dinâmica de sistemas e a modelagem com o uso do programa STELLA dos recursos hídricos da bacia do rio Preto, afluente do rio Paracatu. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 16-42, 2010.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.; SANCHEZ ROMAN, R. M.; SOUZA, M. A. A. S. Dynamic o systems and the modeling with the use STELLA. **ACADEMIC JOURNALS DATABASE**, v. 4, p. 23-37, 2014. Disponível em: <http://www.journaldatabase.org>.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; SILVA JUNIOR, A. G.; GRIFFITH, J. J.; DELGADO, R. C. Avaliação do comportamento hidrológico na bacia do ribeirão Entre Ribeiros, afluente do rio Paracatu, em cenário de mudança climática com o uso do software STELLA. **Engenharia na agricultura**, v.1, p. 32-47, 2013.

TATE, C. M.; HEINY, J. S. The ordination of benthic invertebrate communities in the South Platte River Basin in relation to environmental factors. **Freshwater Biology**, v. 33, p. 439-454, 1995.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. **Fundamentos em Ecologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, 2.ed., 2003. 248p.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Potencial impacts of changes in the Forest Law in relation to water resources. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 67-75, 2010.

VAN LOON, W. M. G. M.; BOON, A. R.; GITTENBERGER, A.; WALVOORT, D. J. J.; LAVALEYE, M.; DUINEVELD, G. C. A.; VERSCHOOR, A. J. Application of the Benthic Ecosystem Quality Index 2 to benthos in Dutch transitional and coastal water. **Journal of Sea Research**, v.13, p. 1-13, 2015.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. The River Continuum Concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, p. 130-137, 1980.

VILELA, D. F. **Estratégias para a recuperação da vegetação no entorno de nascentes**. 2006. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

WINTERBOTTON, J. H.; ORTON, S. E.; HILDREW, G.; LANCASTER, J. Field experiments on flow refuge in streams. **Freshwater Ecology**, v. 37, p. 569-580, 1997.

WOOD, P. J.; ARMITAGE, P. D. Biological effects of fine sediment in the lotic environment. **Environ Manage**, v. 21, n. 2, p. 203-217, 1997.

ZONTA, J. H.; SOFIATTI, V.; COSTA, A. G. F.; SILVA, O. R. R. F.; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, C. A. D.; BELTRÃO, N. E. M.; ALVES, I.; JÚNIRO, A. F. C.; CARTAXO, W. V.; RAMOS, E. N.; OLIVEIRA, M. C.; CUNHA, D. S.; MOTA, M. O. S.; SOARES, A. N.; BARBOSA, H. F. **Práticas de Conservação de Solo e Água**. Campina Grande, Circular Técnica n. 133, 24 p., 2012.

## **Autores**

Letícia Rigo Tavares, João Paulo Andrade Gomes, Gabriel Permanhe, Francielle Santana de Oliveira, Eloisio de Oliveira Martins, Danillo Sartório Rangel, Willian Moreira da Costa, Maurício Novaes Souza

Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500- 000, Alegre-ES, Brasil.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)

## CAPÍTULO 8

---

### **Plano de Recuperação de Áreas Degradadas: manejo agroecológico da irrigação e uso de águas residuárias**

Augusto Melo Moulin Breda, Priscila da Silva Lacchine, Maurício Novaes Souza, Hilton Moura Neto, Credigar Gonçalves Moreira, Dayvson Dandi Rodrigues, Fábio Gomes Zampieri, Cristiano de Oliveira, Gislane Souza Santos, Vinicius Sabadim Saraiva

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c8>

#### **Resumo**

São crescentes as pesquisas que envolvem a recuperação de ambientes degradados com foco no restabelecimento da sua funcionalidade produtiva e ambiental. No entanto, a elaboração de um estudo específico que apresente dados reais da área e descreva de forma clara a metodologia a ser empregada com as respectivas justificativas, é um componente essencial para determinar o sucesso dos procedimentos de recuperação. Nesse sentido, a elaboração de um Plano de Recuperação de Área Degradada – PRAD, além de fornecer dados técnicos elaborados por profissionais devidamente habilitados, orienta como promover a recuperação daquele ambiente ou agroecossistema para que ele volte a ter suas funções ambientais restabelecidas. O PRAD é o documento de planejamento utilizado e solicitado pelos órgãos ambientais como ferramenta legal para promover a recuperação de áreas que sofreram impactos ambientais. No entanto, muitas técnicas de recuperação são dispendiosas e, no caso do pequeno produtor rural, pode inviabilizar sua execução. A utilização de técnicas com o manejo agroecológico do solo no PRAD torna-se uma alternativa viável do ponto de vista técnico e econômico: além do foco na recuperação do solo, a escolha das espécies vegetais é baseada na sua capacidade de crescimento em condições adversas. Por intermédio desse manejo irá ocorrer a associação entre planta e microrganismos presentes no solo: permite que a planta tenha crescimento mais rápido mesmo com reduzida disponibilidade de nutrientes, em função do aporte de matéria orgânica (MO) e da proteção do solo à sua exposição direta. No entanto, o déficit hídrico durante a execução do plantio eleva os custos da sua implantação em decorrência da necessidade de replantio. Dessa forma, a fertirrigação com a utilização de águas residuárias surge como uma alternativa capaz de acelerar o processo de recuperação do ambiente: além da disponibilização de água, serão ofertados nutrientes que auxiliarão o desenvolvimento da planta e a recuperação

do solo. No entanto, o uso dessas técnicas sem critérios adequados pode acarretar em sérios danos ambientais, aumentando a degradação da área, gerando mais impacto ambiental e elevando os custos para o produtor rural. Este trabalho busca destacar a importância da elaboração do PRAD, contemplando a utilização de técnicas ligadas à agroecologia, com a utilização da irrigação para promover a recuperação ambiental do ambiente, reestabelecer suas funções e contribuir para o desenvolvimento sustentável da propriedade.

**Palavras-chave:** Recuperação Ambiental. Manejo agroecológico. PRAD. Irrigação. Impacto Ambiental.

## 1. Introdução

O estudo de técnicas para a Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) pode se desenvolver de várias formas. Todos os métodos sempre buscam minimizar a intervenção antrópica, podendo em alguns casos promover a reabilitação de um ambiente cujas funções ecológicas foram perdidas há muito tempo. O sucesso e a efetivação da RAD irão depender essencialmente dos estudos feitos anteriormente à sua implantação: a elaboração de um cenário pré-degradação é essencial na estruturação de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). O PRAD é um documento que deve conter uma série de requisitos que servirá de base na execução, acompanhamento e monitoramento de uma área degradada. Deve ser elaborado e acompanhado por profissional técnico devidamente habilitado para tal função (SOUZA, 2021). No entanto, para que ocorra o sucesso na execução de um PRAD, alguns fatores devem ser levados em consideração no seu escopo, além de uma metodologia eficiente que considere: as características da área na qual será implantado, a escolha das espécies para o plantio, as características do ecossistema local, o clima, o relevo, as características do solo e a sua condição atual - a análise desses fatores contribuirá para o sucesso da restauração do ambiente.

Além disso, quando se desenvolve um PRAD é possível buscar alternativas que agilizem o processo de recuperação ambiental de uma determinada área, independentemente da degradação ter ocorrido pelo uso inadequado do solo pela agricultura convencional ou até mesmo pelo uso industrial. A utilização de seleção das espécies vegetais com desenvolvimento fisiológico acelerado e a manutenção da vegetação rasteira e gramíneas para

evitar a exposição do solo, colaboram na recuperação da vegetação com o plantio de espécies nativas, na conservação e recuperação dos corpos hídricos e do solo e no retorno da fauna para a região (CAU, 2019; SOUZA, 2021).

Outro fator extremamente importante é a água: elemento crucial para o desenvolvimento dos vegetais. Na sua ausência, o vegetal não conseguirá realizar suas funções fisiológicas, o que acarretará a sua morte. Embora na elaboração do PRAD sempre se preveja a execução do plantio em meses chuvosos, devido às mudanças climáticas os meses longos de estiagem podem comprometer todo plantio: neste caso, o uso da irrigação pode ser uma prática determinante para o sucesso da recuperação ambiental daquela área. A irrigação é uma prática crescente nas propriedades rurais. Aumenta a produtividade das culturas e reduz o risco de perdas em função de intempéries climáticas. Também, estimula a geração de emprego e renda estáveis. No entanto, quando praticada sem manejo adequado, pode promover uma série de impactos e externalidades ambientais negativos (SOUZA, 2015). O fato é que a crise de água atingiu muitas regiões do planeta e os conflitos resultantes de seu uso múltiplo redobram-se. De acordo com esse mesmo autor, praticamente 70% da água doce utilizada é para irrigação, a maior parte inadequadamente, sem os devidos cuidados de conservação dos recursos solo e água: o uso de novas tecnologias e o manejo da irrigação pode reduzir de 30 a 70% o consumo de água.

A aplicação de fertilizantes via água de irrigação - fertirrigação - é uma tecnologia que vem sendo utilizada com sucesso em muitos sistemas de produção. Apesar de ser uma técnica antiga, sua grande expansão está associada ao desenvolvimento e utilização de sistemas de irrigação mais tecnificados, onde se aplica a água com alta eficiência, como é o caso da irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) e do pivô central (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009).

De acordo com esses mesmos autores, o adequado manejo da água e fertilizantes foi identificado como a mais importante contribuição na estratégia necessária para direcionar os problemas relativos à escassez de água e à prática da agricultura intensiva. O aumento da eficiência do uso da água e dos fertilizantes constitui o principal fator para aumentar a produção de alimentos, reverter processos de degradação do solo ou evitar danos irreversíveis,

permitindo a sustentabilidade do ambiente em procedimentos de recuperação a uma nova função produtiva.

Nesse contexto, a fertirrigação e o uso de águas residuárias vêm sendo uma alternativa viável quando disponível na propriedade - além de evitar a retirada de água de um determinado manancial ou do lençol freático, é uma técnica de disposição/tratamento de água residuárias, que apresenta viabilidade ambiental de aplicação no solo. Permite a reciclagem de água e dos nutrientes exportados com baixo investimento (custo oscila entre 30% a 50% do custo do tratamento convencional), pequeno custo de operação e baixo consumo de energia no processo (Figura 1).



**Figuras 1.** Sistemas de fertirrigação por gotejamento e microaspersão. Fonte: Mantovani; Bernardo; Palaretti (2009).

Embora muitas vezes esquecido, o solo merece toda a atenção na elaboração de um PRAD: é a peça-chave na recuperação ambiental - é dele que a planta retira a água e os nutrientes para a sua sobrevivência e desenvolvimento. O solo no sistema convencional de produção não recebe destaque, ficando por vezes exauridos, o que dificulta a sua recuperação. O desenvolvimento de técnicas agroecológicas pode facilitar nessa recuperação, permitindo a melhoria na qualidade física e química desse solo, promovendo a sua recuperação ambiental em prazos mais curtos e com menor custo para o agricultor.

Dessa forma, este estudo tem por objetivo verificar como a utilização de manejo agroecológico, associado às técnicas adequadas de irrigação podem contribuir para o sucesso da execução de um Plano de Recuperação de Área

Degradada. Para tanto, foi realizada pesquisa bibliográfica de cunho qualitativo. A hipótese desta pesquisa é a de que o manejo agroecológico, junto com técnicas de manejo adequado para implantação da irrigação, contribui na melhoria dos programas de recuperação de áreas degradadas.

## **2. Introdução ao manejo agroecológico na recuperação de áreas degradadas**

A Agroecologia vem sendo confundida com a Agricultura Orgânica. A agroecologia é uma ciência, que segundo Assis; Romero (2002) busca o entendimento do funcionamento de agroecossistemas complexos, bem como as suas diferentes interações. A agricultura orgânica se refere a uma prática cultural, onde se busca utilizar de forma racional os recursos naturais, empregando métodos de cultivos tradicionais e as mais recentes tecnologias ecológicas (PENTEADO, 2001).

No entanto, ambas possuem como mote de pesquisa o caráter de alternativas à agropecuária convencional, como pode ser verificado o uso de métodos alternativos no controle de pragas e doenças (VENZON *et al.*, 2016). Outra característica em comum entre a Agroecologia e a Agricultura Orgânica é a busca pelo desenvolvimento sustentável, tanto no que diz respeito ao desenvolvimento econômico quanto à sustentabilidade do próprio agroecossistema (BARBOSA *et al.*, 2020).

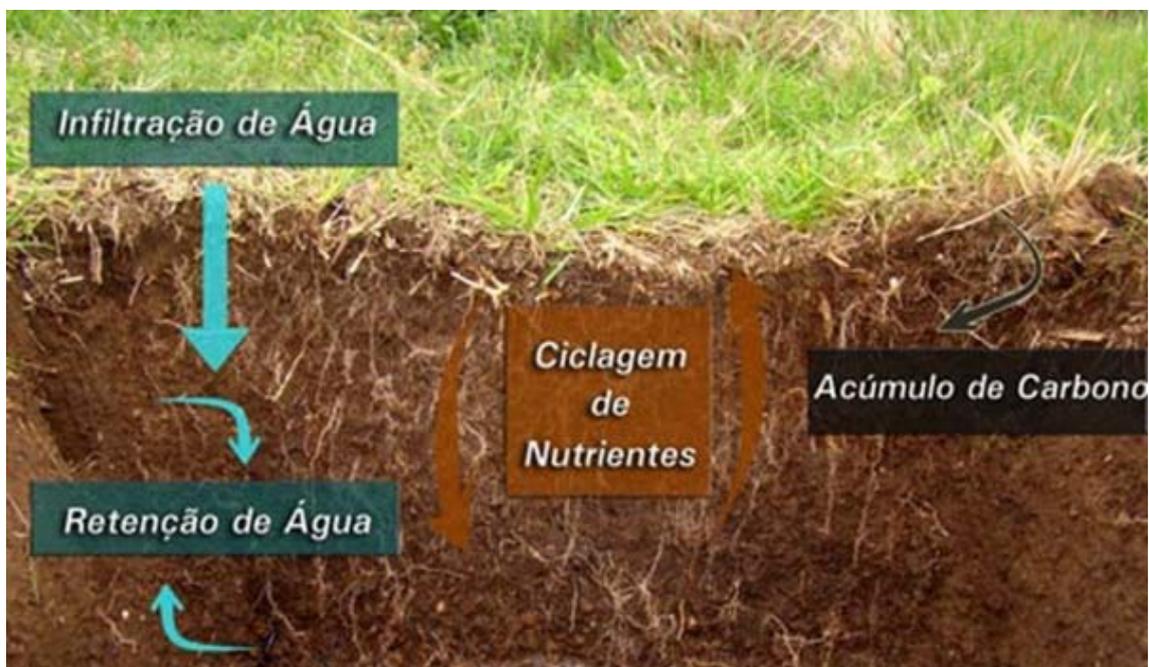
Divergem ambas as áreas no que tange aos paradigmas e características produtivas e sociais: enquanto a Agricultura Orgânica se ampara no paradigma da Ciência do Solo, não privilegia o redesenho do sistema produtivo e segue a lógica das organizações empresariais, a Agroecologia segue o paradigma da Ecologia, enfatizando os aspectos agronômicos, ecológicos, sociais e políticos (ABREU *et al.*, 2012).

O Manejo Agroecológico corresponde ao conjunto de técnicas alternativas visando a produção agrícola sustentável. Essas técnicas incluem práticas como os sistemas agroflorestais (SAFs), o manejo da umidade do solo para a redução das lâminas de irrigação, o uso de produtos naturais para controle de pragas e doenças, o uso de adubos e insumos orgânicos, práticas mecânicas, vegetativas e edáficas conservacionistas para engenharia de água

e solo, uso de sementes crioulas, adubação verde, entre outros tópicos relevantes para valorização da biodiversidade.

No entanto, independentemente do modelo praticado de agricultura, a substituição da vegetação nativa por áreas agricultáveis constitui alteração no ambiente natural; com efeito, o solo passa a ser manejado sem o cuidado de preservar características da biota, da ciclagem de nutrientes ou da manutenção da matéria orgânica que preserva as características de agregação das partículas de solo (MOURA *et al.*, 2019; SOUZA, 2021) (Figura 2).

Com o passar dos anos os solos explorados vão perdendo parte das suas características físicas e químicas, ficando cada vez mais dependente de insumos externos. Para realizar a recuperação dessas áreas, diante de várias técnicas existentes, podem-se destacar quatro (4) estratégias mais utilizadas atualmente, em relação às áreas degradadas por atividades agropecuárias: Regeneração Natural sem manejo (em processo natural); Regeneração natural com manejo (adoção de técnicas manejo); Plantio na área (plantio de espécies ou semente); e Sistemas Agroflorestais (SAFs – sistema produtivo baseados em sucessão ecológica).



**Figura 2.** Solo bem manejado favorecendo a infiltração de água e a ciclagem de nutrientes. Fonte: EMBRAPA (2012).

Nesse caso, os SAFs (Figura 3) seriam uma alternativa sustentável para a continuidade da atividade agropecuária e de iniciativa ambiental. Dessa forma, o manejo agroecológico é o caminho da transição agroecológica, entendida como a passagem da agricultura convencional para a agricultura de base ecológica (LEITE; BERTOTTI, 2020). Na transição agroecológica evidenciam-se três (3) níveis: a troca do sistema de produção convencional pelo agroecológico; a substituição das práticas já utilizadas por práticas de caráter alternativo; e o estabelecimento dos processos ecológicos em si dentro do agroecossistema (GLIESSMAN, 2000).



**Figura 3.** SAF sendo estabelecido para a recuperação de área degradada no IF Sudeste de Minas campus Rio Pomba. Fonte: Arquivo pessoal (2013).

No exemplo da agricultura conservacionista, Rossi *et al.* (2016) indicaram que o manejo agroecológico do solo provou ser benéfico para o acúmulo de carbono sob a forma de carbono orgânico associado aos minerais. Moura *et al.* (2017) atestaram que um sistema de produção agroecológico no Rio Grande do Norte favoreceu o aporte de P para o solo ao longo de dez (10) anos. Em relação à qualidade do solo, o manejo agroecológico provou ser eficaz: estudando os solos em Huatusco, no estado de Veracruz, no México, Sánchez *et al.* (2020) concluíram que o sistema agroecológico implementado

não atendeu de imediato as necessidades nutricionais da lavoura a partir da ciclagem de nutrientes para uma produtividade ótima; entretanto, contribuiu para a regeneração da qualidade natural do solo. Mais uma prova de que a agroecologia, quando utilizada em longo prazo, pode ser capaz de conduzir o agroecossistema à sustentabilidade.

Os SAFs na agroecologia podem ser considerados como um sistema produtivo que se baseia na sucessão ecológica, similar aos ecossistemas naturais, em que árvores exóticas ou nativas são consorciadas com culturas agrícolas, levando em consideração os aspectos técnicos e fisiológicos das culturas escolhidas, proporcionando o aumento da diversidade ecológica e estimulando suas interações.

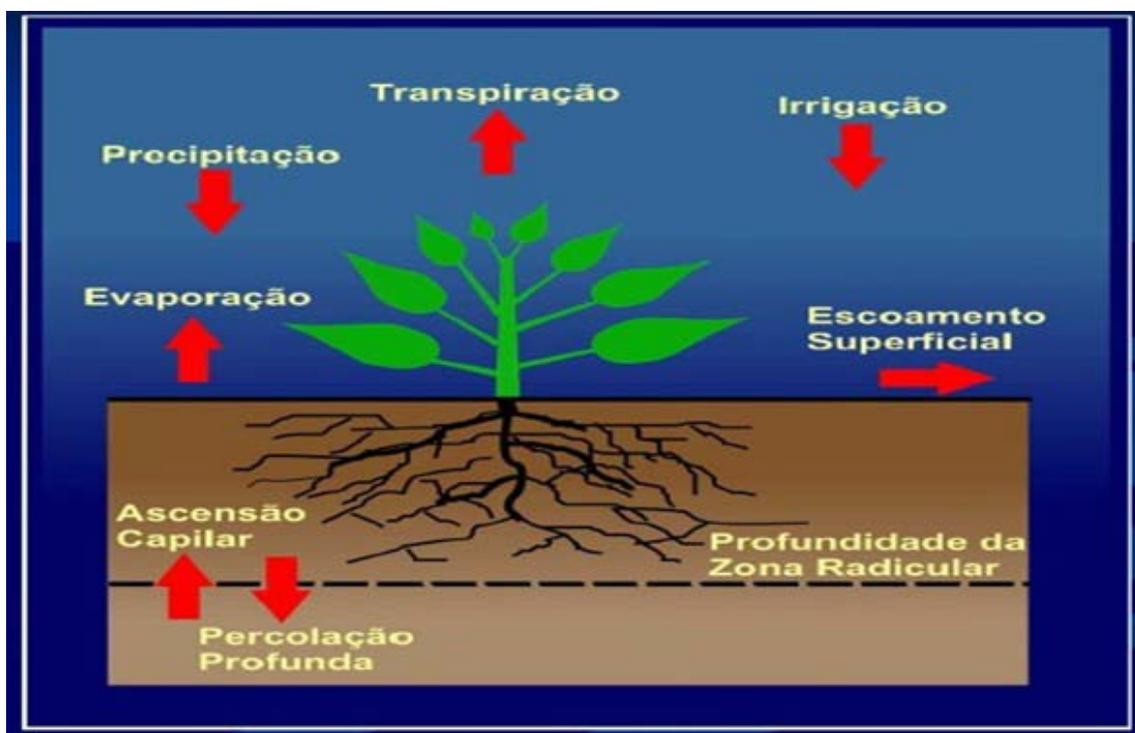
Um sistema baseado num SAF recupera a biodiversidade local, melhora os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, não faz uso de agroquímicos e promove a produção de espécies alimentícias ou fonte de matéria-prima para outras atividades (MALLMANN *et al.*, 2018). Na RAD podem ser utilizadas diversas espécies vegetais, desde que tenham as características de adaptação às condições climáticas e de solo, por exemplo, ou de preferência plantas nativas do bioma local (BENDITO *et al.*, 2018).

Portanto, pode-se perceber que a RAD é uma alternativa agroecológica para o estabelecimento das condições anteriores nas quais o ambiente se encontrava, tornando-os solos agricultáveis novamente. Assim, pode-se deduzir que os programas de recuperação de áreas degradadas atualmente desenvolvidos têm no manejo agroecológico uma alternativa para o resgate da condição natural anterior.

### **3. Impactos ambientais da irrigação e seu uso em áreas degradadas**

Embora haja diversas técnicas para o desenvolvimento da recuperação de áreas degradadas, existe um componente que é essencial para a qualidade e a efetivação desse processo: a água. Em sistemas agrícolas, a água é provida às plantas pela precipitação natural ou pela irrigação. Segundo Souza (2004; 2021), em situações extremas, a irrigação é necessária na recuperação de áreas degradadas para o crescimento e desenvolvimento inicial das mudas.

De acordo com Silva *et al.* (2015), o suprimento de água para uma cultura resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera, sendo que as influências recíprocas entre esses componentes básicos tornam o sistema dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica da cultura estará combinada entre estes três segmentos (Figura 4). Outro ponto importante é ressaltado por Kwahara; Souza (2009), que destacam a importância da disponibilização de água no solo para que a planta consiga absorver nutrientes, por exemplo, o Pi (Fósforo Inorgânico), que pode ser o responsável pela redução da eficiência fotossintética nas células vegetais.



**Figura 4.** Relação solo-planta-atmosfera. Fonte: Mantovani; Bernardo; Palaretti (2009).

Nesse sentido, a irrigação dessas áreas vem se mostrando cada vez mais necessária, pois torna a recuperação da área mais eficiente em áreas com déficit hídrico. No entanto, a irrigação em alguns casos pode acarretar impactos ambientais, como salinização e acidificação do solo: isso pode estar ligado à fonte de captação de água, pois a maioria dos cursos hídricos

apresentam problemas com poluição; ou também pelo uso sem especificação técnica da fertirrigação por efluentes agroindustriais. Contudo, tais externalidades estão principalmente relacionadas ao manejo incorreto da irrigação.

Os impactos ambientais advindos da irrigação não provêm somente da qualidade da água, mas também da quantidade de água aplicada no solo - a chamada *lâmina de irrigação*. Conforme Souza (2004,), na irrigação por superfície pode ocorrer danos ambientais, tais como a remoção da vegetação nativa e a eliminação de inimigos naturais de pragas agrícolas; bem como a percolação pode levar a água contaminada para o lençol freático.

O desenvolvimento da irrigação nos SAFs como componente estratégico na recuperação de área degradada pode ser muito benéfico ao sistema. Na fertirrigação, as plantas são as grandes responsáveis pela remoção destes nutrientes, tais como nitrogênio, fósforo e potássio, dentre outros presentes em solução ou suspensão nas águas residuárias, cabendo aos microrganismos do solo a remoção das substâncias orgânicas.

É importante destacar que a taxa de aplicação de águas residuárias devem ser calculada com base na dose de nutrientes recomendados para as culturas agrícolas: caso esses níveis sejam suplantados, além de comprometer a produtividade da cultura, pode provocar poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas, bem como das lavouras adjacentes e subsequentes. A magnitude dessa contaminação depende do tipo de água residuária usada, das condições climáticas predominantes, da cultura irrigada e do próprio sistema irrigante utilizado.

De acordo com SOUZA (2018), quando se fala em utilização de técnicas de fertirrigação - a fertilização por intermédio da irrigação - apresenta algumas vantagens com relação aos riscos ambientais. Porém, sob determinadas condições, pode provocar a acidificação ou a salinização do solo:

✓ **Acidificação:** é causada por fertilizantes que contêm ou que dão origem a amônio ( $\text{NH}_{4+}$ ) ou a amônia ( $\text{NH}_3$ ). Esse problema é mais grave no caso da irrigação localizada. A primeira fase da nitrificação, que envolvem as bactérias Nitrosomonas, dá origem a dois íons de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) diminuindo o pH do solo. No caso do sulfato de amônio, a reação de hidrólise aumenta a acidez do solo (BERNARDO, 1997).

✓ **Salinização:** ocorre principalmente nas regiões de clima árido ou semiárido, onde há problemas de salinidade do solo. A fertirrigação e o manejo inadequado da irrigação podem torná-los mais grave. Em função da elevação da concentração salina pelos sais que compõem os fertilizantes, devem ser evitadas quantidades excessivas de fertilizantes, principalmente aquelas que excedam os valores críticos de tolerância de salinidade para determinada cultura. Áreas potencialmente problemáticas por excesso de sais, as adubações diretas na cova devem ser evitadas, pois poderão aumentar a condutividade elétrica do sistema. Os cuidados devem ganhar especial atenção no caso de adubações potássicas e fertilizantes contendo sulfato em sua formulação, como o caso do superfosfato simples (ibidem).

Em relação à acidificação, estudos recentes demonstraram os impactos negativos que a irrigação/fertirrigação tem sobre a salinidade do solo. Os problemas de acidificação decorrentes da aplicação de lâminas de irrigação estão relacionados especialmente com a irrigação localizada, onde fertilizantes nitrogenados aplicados via fertirrigação contêm ou resultam em amônia ( $\text{NH}_3$ ) ou amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) (SOUZA, 2004). Em pastagens nativas com introdução de azevém (*Lolium multiflorum*) em Eldorado do Sul, RS, a adubação nitrogenada em longo prazo provocou a acidificação do solo (CECAGNO *et al.*, 2019).

Outra razão pela qual a irrigação provoca a acidificação está no fato de que a água promove a decomposição da matéria orgânica, liberando ácidos orgânicos que acidificam o meio (Mesquita *et al.*, 2016 *apud* MESQUITA *et al.*, 2017).

Com efeito, o termo impactos ambientais tratando-se de irrigação, pode representar tanto impactos negativos quanto impactos positivos. Como relatado pela maioria dos artigos consultados neste trabalho, a salinização dos solos está presente em sua maior parte nas regiões áridas e semiáridas (Ribeiro *et al.*, 2009 *apud* ARAÚJO *et al.*, 2019), onde problemas com salinização já são recorrentes (SOUZA, 2004).

Para mitigar os impactos negativos e maximizar os resultados positivos de crescimento inicial e de desenvolvimento em qualquer região, inclusive na recuperação de áreas degradadas, o sistema de irrigação deve ser projetado de forma a preconizar o uso racional dos recursos hídricos e evitar a salinização e acidificação das áreas cultiváveis e a escassez desse bem

essencial para a vida - o que pode ser conseguido com uma educação ambiental eficiente (ERTHAL; BERTICELLI, 2018).

#### **4. Qualidade da água na recuperação de áreas degradadas**

A irrigação provou ser essencial para projetos agropecuários, inclusive para o estabelecimento de mudas em programas de recuperação de áreas degradadas. Quando se opta em realizar a irrigação na recuperação de uma área, faz-se necessário verificar acidificação e a salinização do solo, pois elas dependem em grande parte, da qualidade e da quantidade da água para irrigação. Conseqüentemente, o estudo da qualidade da água tem sua valia para a irrigação no manejo agroecológico em RAD.

Para uma análise técnica da qualidade da água para irrigação há de se avaliar os seguintes parâmetros: cálcio, condutividade elétrica, magnésio e sódio; e para avaliar a qualidade da água do corpo hídrico quanto à salinização, têm-se os parâmetros: cloreto, condutividade elétrica e sódio (Prado *et al.*, 2004 *apud* CECÍLIO *et al.*, 2008). Todos os parâmetros de qualidade da água para diferentes usos estão previstos na Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos nacionais, bem como dá providências sobre a avaliação ambiental dos corpos hídricos (BRASIL, 2005).

Tratando-se de qualidade da água, o uso e ocupação do solo é um dos fatores que mais acentuam os impactos ambientais em ambiente aquático; assim, a gestão dos corpos hídricos deve ser pautada pelo monitoramento das atividades que fazem uso dos recursos hídricos, justamente para minimizar os fatores impactantes na qualidade da água (FERREIRA *et al.*, 2016).

Com a gestão dos recursos hídricos, pode-se dizer que esta é uma solução global para o problema da falta d'água no planeta: é preciso racionalizar os recursos de acordo com cada destinação, seja de tipos de água diferenciados para cada uso, seja para a água potável (LIRA *et al.*, 2015). Para tanto, é instituído um sistema de monitoramento da qualidade da água, por meio de três ações: o cadastro do corpo hídrico em instituições oficiais, o cadastro de estações de monitoramento e o cadastro de laboratórios de análise de qualidade da água (CECÍLIO *et al.*, 2008).

No que concerne à irrigação em RAD, antes de se iniciar o projeto é coerente dizer que análises de qualidade ambiental devem ser realizadas para se elaborar um PRAD. Tais análises incluem análise de solo e análise de água. Na Agroecologia, assim como na Agronomia, a análise da qualidade da água busca minimizar problemas relacionados à irrigação e ao uso dos recursos hídricos, tais como: alteração nas características físico-hídricas e químicas do solo, toxicidade, salinização, acidificação, entupimento e obstrução de aspersores e saúde humana e animal (SOUZA; QUEIROZ, 2020).

Para tanto, na análise é preciso verificar a possibilidade de uso daquele corpo hídrico para fins de irrigação no manejo agroecológico de produção. É preciso estar atento à qualidade da água daquele corpo hídrico; como exemplo, tem-se o trabalho conduzido por Melo; Queiroz (2020), que estudaram a qualidade da água para irrigação em território indígena na transição dos biomas Cerrado e Amazônia. Concluíram que a relação condutividade elétrica-razão de absorção de sódio diminui consideravelmente o fenômeno da infiltração da água no solo, conduzindo aos processos erosivos. No solo, o sódio dos sais substitui o cálcio adsorvido no complexo de troca, causando a dispersão dos coloides do solo, e conseqüentemente, contribuindo para redução da condutividade hidráulica do solo (BERNARDO, 1997). A redução da condutividade hidráulica do solo leva a redução da sua permeabilidade, e conseqüentemente, a queda da taxa de infiltração de água.

De maneira geral, para se avaliar a qualidade da água pode-se lançar mão do índice de qualidade da água (IQA). Conforme Cecílio *et al.* (2008), o cálculo do IQA pode ser obtido a partir dos parâmetros e padrões de qualidade da água com o seguinte produtório:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

IQA = Índice de Qualidade da Água, valor entre 0 a 100;

n = número de parâmetros para o cálculo do IQA;

$q_i$  = qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, valor entre 0 e 100;

$w_i$  = peso do  $i$ -ésimo parâmetro, valor entre 0 e 1, calculado com a seguinte equação:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

**Equação (2)**

Assim, o IQA é o método adequado para a determinação da qualidade da água visto que, a partir do conjunto de padrões e parâmetros em consideração para certo uso da água, esse instrumento oferece uma precisão para o critério de classificação do corpo hídrico. Por conseguinte, para elaborar o PRAD e selecionar o método de irrigação mais adequado para a restauração ambiental, é necessário analisar a qualidade da água para enquadrar o corpo hídrico que será utilizado para captação de água, de forma a não gerar novos impactos ambientais.

**5. Considerações finais**

A recuperação de ambientes degradados se torna um desafio para muitos proprietários devido ao desconhecimento de técnicas de recuperação. Podem ser de ordem financeira, de desinteresse, ou pela indisponibilidade de técnicos habilitados. Cada área degradada apresenta características específicas, onde há influência direta de fatores bióticos, abióticos e antrópicos. Recuperar um ambiente degradado demanda tempo e estudos: seja para desenvolver uma nova técnica, ou simplesmente utilizar uma técnica já existente. Por isso a elaboração de um Plano de Recuperação de área Degradada - PRAD - é de fundamental importância para que haja sucesso na recuperação do ambiente degradado.

O PRAD é a ferramenta adequada para mitigar os impactos ambientais inerentes às atividades degradadoras do meio ambiente. No entanto, em várias situações, as técnicas utilizadas nos PRADs encarecem o desenvolvimento das atividades propostas, inviabilizando a execução do projeto. Nesse sentido, a utilização de técnicas agroecológicas, agregadas a utilização de irrigação (ou fertirrigação), pode ser uma alternativa para esses ambientes degradados, pois lança mão de conceitos agroecológicos que visam restaurar o *status quo* perante a condição e manipulação antrópica que resultou nos aspectos, impactos e externalidades ambientais.

O desenvolvimento de técnicas ligadas ao manejo agroecológico de solo, de forma geral, apresenta um baixo custo – preocupam-se em

restabelecer a qualidade do solo e a sua estrutura que muitas vezes é esquecida na elaboração de um projeto.

No entanto, mesmo com um PRAD, a ausência de chuva na região pode comprometer todo o projeto, elevando os custos e a necessidade de replantio. Para se evitar transtornos na recuperação de uma área degradada, a irrigação surge com uma alternativa para auxiliar e acelerar o processo da recuperação. Caso a propriedade possua atividades agropecuárias que gerem efluentes, a fertirrigação é uma excelente alternativa: além dos nutrientes presentes nas águas residuárias que serão oferecidos às culturas, a fertirrigação surge como forma de destinação adequada desses efluentes e na distribuição localizada da água.

Vale ressaltar que na elaboração do PRAD, a irrigação ou a fertirrigação precisam ser desenvolvidas levando em consideração critérios técnicos. Em ambas as situações, quando não se leva em consideração as características da área, do solo, da água e do efluente, além de comprometer toda a execução do projeto, podem levar ao aumento dos impactos ambientais que resultarão em degradação ambiental.

Embora rara a utilização das técnicas de manejo agroecológico na elaboração do PRAD, além de facilitar a sua execução posto se tratar de técnicas simples e de baixo custo, garantem resultados mais efetivos. Quando se agrega a prática da irrigação no manejo, favorece o desenvolvimento das espécies vegetais e aumenta o aporte de matéria orgânica. No caso da fertirrigação com o uso de águas residuárias, contribui para nutrição do solo e das plantas, acelerando o processo de recuperação. Além disto, pode-se associar positivamente o reuso à preservação dos recursos hídricos: o aproveitamento das águas que seriam lançadas em córregos e rios provocariam danos ambientais e poluição dos corpos hídricos.

## 6. Referências bibliográficas

ABREU, L. S.; BELLON, S.; BRANDENBURG, A.; OLLIVIER, G.; LAMINE, C.; DAROLT, M. R.; AVENTURIER, P. Relações entre agricultura orgânica e agroecologia: desafios atuais em torno dos princípios da agroecologia. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 26, p. 143-160, jul./dez. 2012.

Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/86832/1/2013AP13.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

ARAÚJO, B. A.; MOREIRA, F. J. C.; GUEDES, F. L. Emergência e crescimento inicial de feijão guandu em função dos substratos e salinidade da água de irrigação. **Rev. Agr. Acad.**, v. 2, n. 4, p. 90-101, jul./ago. 2019. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1116304/1/CNPC2019Emergencia.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

ASSIS, L.; ROMERO, A. R. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Curitiba. n. 6, p. 67-80. Jul/dez. 2002 Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/22129/14493>. Acesso em: 23 abr. 2021.

BARBOSA, T. C. S.; COSTA, N. M. G. B.; SANTOS, D. B.; MACHADO, M. S.; MARQUES FILHO, F. Qualidade física do solo em áreas sob manejo agroecológico e convencional. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 488-499, jul. 2020. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/13581/11371>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

BENDITO, B. P. C.; SOUZA, P. A.; FERREIRA, R. Q. S.; CÂNDIDO, J. B.; SOUZA, P. B. Espécies do Cerrado com potencial para recuperação de áreas degradadas, Gurupi (TO). **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, MG, v. 10, n. 2, p. 99-110, jun. 2018. Disponível em: <[https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/viewFile/1111/pdf\\_1](https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/viewFile/1111/pdf_1)>. Acesso em: 27 ago. 2020.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. (Eds.) **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA/SRH/ABEAS; Viçosa, MG: UFV/Departamento de Engenharia Agrícola, 1997. p. 79-88.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005) **Resolução CONAMA nº. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2005. Diário Oficial da União, Brasília, nº. 053, 18 mar. 2005, p. 58-63. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

CAU, L. B. Restauração florestal de uma área de vegetação ripária no Sítio Pampulha, município de Linhares, ES. **Revista Ifes Ciência**, Vitória, ES, v. 5, n. 2, p. 39-62, 2019. Disponível em: <<https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/448/395>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

CECAGNO, D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; BRAMBILA, D. M.; NABINGER, C. Acidificação do solo sob fertilização nitrogenada de longo prazo em campo nativo com introdução de azevém. **Rev. Ciênc. Agrov.**, Lages, SC, v. 18, n. 2, p. 263-267, 2019. Disponível em: <<https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/10326/pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2020.

CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; MARTINS, C. A. S. Caracterização da qualidade da água em bacias hidrográficas. In: POLANCZYK, R. A.; CECÍLIO, R. A.; MATTA, F. P.; SOARES, T. C. B.; PEZZOPANE, J. E. M.; CAMPANHARO, W. A.; OLIVEIRA, M. C. C. **Estudos avançados em produção vegetal**. Alegre, ES: UFES, Centro de Ciências Agrárias. 1. ed., v. 1, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Práticas de Conservação de Solo e Água**. Circular Técnica, Campina Grande, PB. 2012. Disponível em: [https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500\\_perguntas\\_sistema\\_plantio\\_direto.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500_perguntas_sistema_plantio_direto.pdf). Acesso em: 20 mar. 2020.

ERTHAL, E. S.; BERTICELLI, R. Sustentabilidade: agricultura irrigada e seus impactos ambientais. **Ciência e Tecnologia**, Cruz Alta, RS, v. 2, n. 1, p. 64-74, ago. 2018. Disponível em: <<http://revistaeletronicaocs.unicruz.edu.br/index.php/CIENCIAETECNOLOGIA/article/view/6940>>. Acesso em: 29 ago. 2020.

FERREIRA, E. M.; ANDRAUS, M. P.; CARDOSO, A. A.; COSTA, L. F. S.; LÔBO, L. M.; LEANDRO, W. M. Recuperação de áreas degradadas, adubação verde e qualidade da água. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, Santa Maria, RS, v. 15, n. 1, p. 228-246, jan./abr. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/19594/pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2000.

LEITE, T. V. P.; BERTOTTI, D. L. Efeito dos inseticidas botânicos aplicados no manejo agroecológico de pragas na cultura do milho doce. **Agrus**, v. 1, n. 1, p. 12-20, 2020. Disponível em: <<http://revistas.icesp.br/index.php/rebas/article/view/1069>>. Acesso em: 27 ago. 2020.

LIRA, R. M.; SANTOS, A. N.; SILVA, J. S.; BARNABÉ, J. M. C.; BARROS, M. S.; SOARES, H. R. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **Revista Geama**, v. 1, n. 3, p. 341-362, dez. 2015.

KAWAHARA, A. K; SOUZA, M. S; Fósforo como possível mitigador dos efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e as trocas gasosas de *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 Vitória. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 31, n. 2, p. 261-267, 2009.

MALLMANN, V.; ARAGÃO, R. F. R.; PESTANA, V. J.; BARTIERES, E. M. M.; ARAGÃO, L. W. W. R. Sistemas agroflorestais e agroecologia, uma alternativa para recuperação de áreas degradadas. **Revista Online de Extensão e**

**Cultura Realização**, Dourados, MT, v. 5, n. 9, p. 66-72, 2018. Disponível em: <<http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/realizacao/article/view/8577>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação Princípios e Métodos**. 2a. edição. Viçosa-MG: UFV, 2009. 355 p.

MELO, M. T.; QUEIROZ, T. M. Disponibilidade e qualidade da água para irrigação no território indígena Rio Formoso, na transição Cerrado/Amazônia, Mato Grosso-Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v. 35, n. 75, p. 461-480, maio/ago. 2020. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/1982-153.2020v35n75p461/43456>>. Acesso em: 29 ago. 2020.

MESQUITA, E. F.; SÁ, F. V. S.; SUASSUNA, C. F.; SOUZA, F. M.; ANDRADE, L. R.; SANTOS, G. J. F. Fitomassa e eficiência do uso da água da mamoneira BRS Gabriela irrigada sob adubação orgânica. **Rev. Bras. Agric. Irr.**, Fortaleza, CE, v. 11, n. 3, p. 1458-1467, maio/jun. 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Francisco\\_Sa3/publication/317594645.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Sa3/publication/317594645.pdf)>. Acesso em: 28 ago. 2020.

MOURA, I. N. B. M.; SOUZA, C. M. M.; SILVA, A. C. R.; LIMA, R. N. S.; RÊGO, L. G. S.; AMBRÓSIO, M. M. Q. Disponibilidade de fósforo em solos sob produção agroecológica em Governador Dix-Sept Rosado, Rio Grande do Norte. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, PB, v. 12, n. 5, p. 862-865, 2017. Edição especial. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7162165>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

MOURA, O. V. T.; ROSSI, C. Q.; SANTOS, O. A. Q.; PEREIRA, M. G.; PINTO, L. A. S. R.; ARAÚJO, E. S. Fósforo em agregados biogênicos e fisiogênicos sob diferentes sistemas de manejo agroecológico. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 12, n. 46, p. 466-478, 2019. Disponível em:

<<http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/9669/5555>>. Acesso em: 29 ago. 2020.

PENTEADO, S. R. **Introdução à agricultura orgânica: normas e técnicas de cultivo**. Campinas: Grafimagem, 2000.110 p.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; MOURA, O. V. T.; ALMEIDA, A. P. C. Vias de formação, estabilidade e características químicas de agregados em solos sob sistemas de manejo agroecológico. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1677-1685, set. 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/pab/v51n9/0100-204X-pab-51-09-1677.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2020.

SÁNCHEZ, E. A.; TORRES, R. M.; ROSAS, C. N.; ACEVEDO, D. C. Manejo agroecológico para la restauración de la calidade del suelo. **Revista Mexicana de Ciências Agrícolas**, v. 11, n. 4, p. 741-752, maio/jun. 2020. Disponível em: <<http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/2462/3231>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

SILVA, K. F; MENEZES, F. M. N; OLIVEIRA, M. F; SILVA, F. L. G; POMPEU, R. C. F. F; SOUZA, H. A. Produção, clorofila e eficiência do uso da água em milho cultivado em solo de área degradada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, p. 573-584, 2015.

SOUZA, C. A.; QUEIROZ, T. M. Qualidade água na bacia hidrográfica do Rio das Garças/MT para fins de irrigação. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 157-164, dez. 2019/jan. 2020. Disponível em: <<http://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.001.0015/1850>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

SOUZA, M. N. **Degradação Antrópica e Procedimentos de Recuperação Ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018. 376 p.

SOUZA, M. N. **Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável**. 2004. 371 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2004.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais**. Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015. 374 p.

SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.133p.

VENZON, M.; DIEZ-RODRÍGUEZ, G. I.; FERRAZ, C. S.; LEMOS, F.; NAVA, D. E.; PALLINI, A. Manejo agroecológico das pragas das fruteiras. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 37, n. 293, p. 94-103, 2016. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1067892/1/DoriVenzonetallA293Fruteiras.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2020

## **Autores**

Augusto Melo Moulin Breda, Priscila da Silva Lacchine, Maurício Novaes Souza, Hilton Moura Neto, Credigar Gonçalves Moreira, Dayvson Dandi Rodrigues, Fábio Gomes Zampieri, Cristiano de Oliveira, Gislane Souza Santos, Vinicius Sabadim Saraiva

Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500- 000, Alegre-ES, Brasil.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)

---

## Reuso da água na agricultura irrigada: efluentes da piscicultura e fertirrigação

Vinicius Sabadim Saraiva, Maurício Novaes Souza, José Carlos Venâncio da Páschoa, Josemar Braga Senna, Pedro Pierro Mendonça, Simone Wellita Simão de Carvalho, Maria Amélia Bonfante da Silva, Vinícius de Freitas Mateus, Geisa Corrêa Louback, Fernanda Pereira Soares Carias

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c9>

### Resumo

A agricultura, como é conhecida nos dias atuais, modificou-se e modernizou-se com o passar dos anos. Adubos químicos, novas tecnologias e maquinários surgiram para satisfazer e suprir a necessidade de produção e representa altos custos para os produtores. Tais condições provocam inúmeras ameaças à sustentabilidade dos agroecossistemas e alto consumo de água para irrigação: com o passar do tempo, sem manejo adequado, deixa o solo infértil e provoca a lixiviação desses produtos químicos para os cursos hídricos e lençóis freáticos, sendo também prejudiciais à saúde humana. O sistema de irrigação pode ser utilizado como meio de transporte para fertilizantes, processo denominado como fertirrigação, potencializado a fertilização do solo e tornando o cultivo mais eficiente. Uma alternativa para a mitigação e melhoria do uso da água é o seu reuso - os efluentes da aquicultura são uma excelente alternativa para uso na agricultura, posto que utilizada na fertirrigação, traz grandes benefícios para o solo: fornece nutrientes para as plantas, aumenta a biodiversidade de microrganismos, evita o despejo desta água no ambiente, evitando impactos ambientais, como a eutrofização dos rios e a introdução de espécies exóticas de peixes na fauna vizinha, além da redução do custo de produção. O objetivo do presente trabalho é avaliar o aproveitamento dos efluentes da piscicultura via fertirrigação para reuso na propriedade como estratégia para fomentar a agricultura irrigada no Brasil.

**Palavras-chave:** Agroecossistemas. Fertirrigação. Recuperação de áreas degradadas. Recursos endógenos. Sustentabilidade.

## 1. Introdução

A água é um bem indispensável às formas de vida animal, vegetal e humana, graças à complexidade de processos ecológicos que integra. Devido as diferentes potencialidades de seu uso e aplicações, sua importância é universal. De toda a água existente merece destaque a água doce, já que a mesma se encontra numa fração de apenas 2,5% de todo recurso hídrico disponível no globo (NELSON, 2017). Levantamentos realizados pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2017) apontam que a agricultura é a principal usuária dos recursos hídricos disponíveis: uma média de 70% do consumo mundial.

Em passado recente, de acordo com Mantovani; Bernardo; Palaretti (2009), a utilização da irrigação era uma opção técnica de aplicação de água que visava principalmente a luta contra a seca: a implantação do Projeto Jaíba no Norte de Minas é um bom exemplo – sem manejo adequado, inúmeros impactos ocorreram. Atualmente, a irrigação está no foco do agronegócio, inserindo-se em um conceito mais amplo de agricultura irrigada, sendo uma estratégia para aumento da produção, produtividade e rentabilidade da propriedade agrícola de forma sustentável, preservando o meio ambiente e criando condições para manutenção do homem no campo, por meio da geração de empregos e renda permanentes e estáveis.

Para atingir tais objetivos, a irrigação não deve ser considerada isoladamente, mas sim como parte de um conjunto de técnicas utilizadas para garantir a produção econômica de determinada cultura com adequados manejos dos recursos naturais. Portanto, devem ser levados em conta os aspectos de sistemas de plantios, de possibilidades de rotação de culturas, de proteção dos solos, de fertilidade do solo, de manejo integrado de pragas e doenças, da mecanização, perseguindo-se a produção integrada e a melhor inserção nos mercados.

O fato é que a agricultura atual é resultante de um processo de evolução que a modificou e modernizou com o passar dos anos. Novos meios de cultivo e culturas foram criados, adubos químicos, novas tecnologias e maquinários surgiram para satisfazer e suprir a necessidade de produção. Contudo, um fator de produção que sempre será utilizado na agricultura é a água.

Indispensável à agricultura irrigada, a adição de água aos cultivos remonta os primórdios da própria prática de cultivo do solo, sendo utilizada pelos Assírios, Caldeus e Babilônios desde 4.500 a.C (INSTITUTO ÁGUA SUSTENTÁVEL, 2018). Nos dias atuais, têm-se diversas formas de irrigação, seja por aspersão, pivô central, microaspersão ou gotejamento, que são utilizadas de acordo com a disponibilidade de água, dos recursos financeiros ou em função da demanda de cada cultivo. De acordo com Mantovani; Bernardo; Palaretti (2009), grandes agrupamentos que há mais de 4.000 anos se fixaram às margens dos rios Huang Ho e Iang-tse-Kiang, no vasto império da China, no Nilo do Egito, no Tigre e Eufrates da Mesopotâmia e no Ganges da Índia, surgiram e se conservaram graças à utilização de seus recursos hídricos e hidráulicos.

Em decorrência de riscos associados à imprevisibilidade das precipitações, nos últimos anos tem sido grande o interesse pela agricultura irrigada e pelos temas relacionados à engenharia e o manejo da irrigação: tal interesse tem aumentado a demanda por informações técnicas, principalmente por cuidados que ajudem a esclarecer os aspectos mais importantes sobre a escolha do método ou sistema de irrigação; os princípios de funcionamento e os cuidados com cada um deles; e os cálculos referentes à lâmina de irrigação, umidade do solo, métodos de manejo da água, infiltração da água no solo, evapotranspiração, entre outros.

Contudo, apesar dessa enorme importância da agricultura irrigada para a humanidade, o insumo primordial dessa técnica de produção, a água - um recurso finito e limitado - tem sofrido com a crescente demanda, das mais diversas origens, em um cenário de visível escassez futura. Assim, num cenário de mudanças climáticas, a irrigação representa uma poderosa ferramenta de gestão contra as incertezas de chuvas que afetam diversas regiões do Brasil e do mundo. Também, torna-se economicamente atraente no cultivo de alto rendimento: podem-se aplicar nutrientes e agroquímicos apropriados para explorar o potencial de variedades melhoradas.

Dentre as formas de irrigação, tem-se a fertirrigação convencional: utiliza a diluição de fertilizantes químicos ou mesmo de águas residuárias, para que se possa ter uma adição parcelada desses nutrientes para planta. Destaca-se que a água de reuso está em evidência nas últimas décadas devido à limitação dos recursos hídricos em algumas áreas de todo o Mundo (SANTOS, 2009).

Outra prática que tem se sobressaído nos últimos anos é o aumento da área de cultivo dedicada à aquicultura, fato que implica numa maior produção de organismos predominantemente aquáticos, tais como peixes e crustáceos. Devido à interferência do homem nesse processo produtivo, as águas de cultivo se tornam ricas em nutrientes derivados da alimentação destes animais, fato que enriquece o meio aquático, viabilizando-se potencialmente para seu reuso em plantios agrícolas (GOOLEY; GAVINE, 2003).

O objetivo deste capítulo foi analisar bibliograficamente o reuso de efluentes da piscicultura em sistema de fertirrigação dentro da própria propriedade visando a redução de custos, bem como estratégia para fomentar a agricultura irrigada no Brasil.

## **2. Agricultura convencional e irrigação**

A produção de alimentos nos últimos dois séculos tem mostrado que a atividade agrícola pertence a um campo das atividades humanas que tem passado por grandes transformações – é fundamental que esteja associada à busca pela redução de custos e cuidados com o meio ambiente. Com o advento da agricultura moderna nos anos da década de 1950, o homem passou a intervir cada vez mais no ambiente natural, fazendo uso de um pacote tecnológico pautado no uso intensivo de máquinas e implementos agrícolas, adubos minerais solúveis e uma grande variedade de agrotóxicos (ASSIS; ROMEIRO, 2002).

A adoção destas técnicas tinha a finalidade de produzir quantidades elevadas de alimentos para suprir a necessidade e demanda de alimentos em face do aumento da população mundial e, assim, acabar com a fome no mundo. Esta forma de produzir, modelo de produção convencional, tornou-se um modelo para os agricultores: a denominada Revolução Verde (RV) (BARBOZA et al., 2012).

Segundo Primavesi (1997), à RV não foi implantada para produzir mais alimentos ou ser segura, mas para submeter a agricultura à lógica de mercado. Assim, a RV não supriu a falta de alimento: sabe-se que milhares de pessoas passam e morrem de fome e subnutrição diariamente em todo o mundo. A agricultura convencional no Brasil, que foi proposta pela RV, é altamente degradante. Pauta-se no uso de grandes áreas para produção via monocultivo,

necessita de um grande aporte de insumos externos (fertilizantes químicos, agrotóxicos e antibióticos) que apesar de terem papel fundamental nesse modelo de produção, causam uma série de impactos socioambientais e geram externalidades negativas.

Souza *et al.* (2012) ressaltam: se por um lado a utilização destes insumos proporciona aumento da produção agrícola, por outro representa altos custos para os produtores, o que acarreta em endividamentos e redução das pequenas propriedades, favorecendo a formação de latifúndios. Assim, à medida que grandes áreas são cultivadas no modelo convencional de produção, o alto consumo de água para irrigação provoca, com o passar do tempo em áreas onde não se pratica o manejo correto dessa atividade, a lixiviação de nutrientes solúveis e agroquímicos para os cursos hídricos e lençóis freáticos - altamente prejudiciais à saúde humana (Figura 1).



**Figura 1.** Área com vegetação ciliar degradada e rio assoreado. Fonte: Arquivo do autor (2020).

De acordo com os dados da *Food and Agriculture Organization (FAO)*, o consumo de água pela agricultura no Brasil chega a 70% do total consumido (FAO, 2017). Com essa alta taxa de uso e a possível contaminação dos recursos hídricos por intermédio das práticas agrícolas degradantes, é cada vez mais necessário que se tenha uma melhor utilização desse recurso.

Atualmente, para atender aos novos conceitos e demandas de um consumidor cada vez mais exigente e consciente da necessidade de proteger o ambiente, surge o conceito de Agricultura Irrigada Sustentável, que é definida como:

[...] práticas agrícolas que atendam às necessidades sociais atuais e futuras por alimentos e por fibras; que permitam a manutenção dos serviços ambientais dos ecossistemas e que possibilitem uma vida saudável para agricultores e para os consumidores. Mas, igualmente importante, que permitam que tudo isso seja alcançado, de forma ética, por meio da maximização do benefício líquido para a sociedade, sempre considerando todos os custos e benefícios atrelados a essas práticas (FAO, 2017).

Como na agricultura, a aquicultura tem seu modelo de produção altamente tecnificado. Utilizam-se grandes áreas de lâmina d'água com alta densidade de espécies e é alta a dependência de insumos externos para que possa ser economicamente viável. Devido à alta densidade de estocagem e grande quantidade de ração utilizada, o efluente da piscicultura pode ser uma fonte poluidora de corpos hídricos quando descartado de forma incorreta: a elevada concentração de nitrogênio e fósforo presentes pode causar a sua eutrofização. Esses nutrientes, presentes na água de descarte da piscicultura, podem ser utilizados para irrigação de diversas culturas, favorecendo o crescimento das plantas (Figura 2).

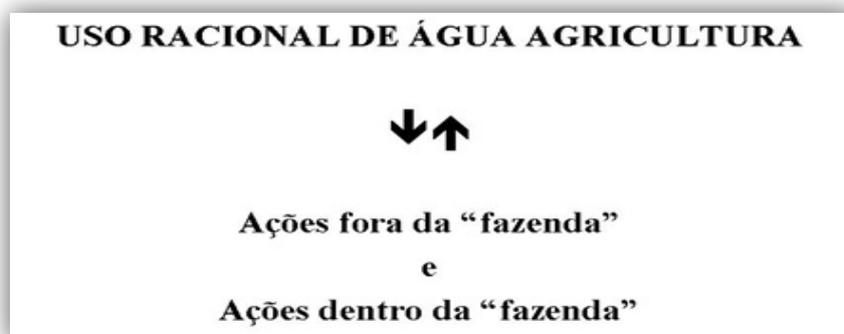
A crescente necessidade de aumento da produtividade como fator desencadeador da redução dos preços dos produtos, fez com que o sistema produtivo adotasse um modelo de produção de alimentos que demandam elevadas quantidades de insumos externos, defensivos e fertilizantes químicos, e a prática da irrigação. São fundamentais para que se possa ter uma produção que seja viável do ponto de vista econômico. Contudo, tem-se observado a insustentabilidade desse modelo: faz-se necessário pensar em uma melhor forma de se produzir (Figura 3).



**Figura 2.** Área de café irrigada por gotejamento e pivô central. Fonte: Mantovani; Bernardo; Palaretti (2009).

Com o reuso da água da aquicultura como ação “dentro da fazenda”, poder-se-á ter melhor aproveitamento dos recursos naturais utilizados nos processos produtivos. Há de se considerar que esse meio de produção convencional, devido às suas características, torna-se de alto custo, sendo inviável para os pequenos agricultores do modelo de produção familiar. Neste sentido, Silva (2019) aponta que o aproveitamento da água destinada a criação de peixes, que é rica em nutrientes, tornará a fertirrigação...

[...] uma solução sustentável para aliar o destino correto dos efluentes provenientes da piscicultura, com a redução do uso de fertilizantes químicos nas culturas agrícolas, tornando-as mais econômica, ambiental e socialmente viáveis (SILVA, 2019).



**Figura 3.** Uso racional de água na agricultura: ações “fora e dentro da fazenda”. Fonte: Mantovani; Bernardo; Palaretti (2009).

### 3. Impactos ambientais da irrigação

A irrigação, quando praticada sem planejamento e com a ausência de manejo adequado, pode criar impactos ambientais adversos às condições físicas, químicas e biológicas do solo, à disponibilidade e qualidade da água, à saúde pública, à fauna e flora, repercutindo, em alguns casos, de forma negativa nas condições socioeconômicas do irrigante ou, mesmo, da comunidade local.

Segundo Souza (2015), deve-se estar consciente de que o meio líquido apresenta duas características marcantes e peculiares, que caracterizam a qualidade da água:

- ✓ **Capacidade de dissolução** – além de ser formada pelos elementos hidrogênio e oxigênio, a água também pode dissolver uma enorme variedade de substâncias que lhe conferem características peculiares;
- ✓ **Capacidade de transporte** – tais substâncias dissolvidas às partículas que compõem essa massa líquida são transportadas pelos cursos d'água, mudando continuamente de posição, estabelecendo-se assim, um caráter fortemente dinâmico para a qualidade da água.

A conjunção das capacidades de dissolução e transporte determina a qualidade da água de uma dada bacia hidrográfica, posto que os processos que ocorrem na bacia de drenagem de um dado corpo hídrico refletirão na qualidade final da água.

Por esses motivos, nos projetos de irrigação são imprescindíveis que sejam realizados, ainda na fase de planejamento, estudos coordenados e concomitantes relacionados aos aspectos ambientais, econômicos e técnicos, para que as soluções e alternativas adotadas efetivamente tenham em si incorporadas medidas de redução dos impactos negativos sobre o meio ambiente (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009).

Para isso utilizam-se as metodologias de avaliação de impactos ambientais (AIA). A avaliação ambiental objetiva, essencialmente, fundamentar e aperfeiçoar os processos decisórios envolvendo atividades transformadoras, antrópicas ou não. A avaliação relacionada aos fatores ambientais está

fundamentada no que certas atividades econômicas podem estar promovendo, como alterações positivas ou negativas para o meio ambiente. Nesse sentido, é fundamental saber avaliar se é mais importante implantar essa atividade que promoverá alteração ambiental, ou não realizá-la e optar pela permanência do ambiente sem modificação, evitando soluções onerosas para esses problemas que surgiriam no médio e longo prazo (SOUZA, 2015; 2018; 2021).

Para Ferreira (1997), a concepção tecnológica de um projeto hidroagrícola passa pelas seguintes fases:

- ✓ Estudo de impacto ambiental (EIA) com o seu respectivo relatório (RIMA).
- ✓ Estudos hidrológicos (superficial e subterrâneo), preocupando-se com a qualidade e com a quantidade. Com relação à quantidade, há que se considerar que a quantidade não significa disponibilidade, posto que haverá necessidade da outorga do direito de uso da água, obtida nos órgãos estadual ou federal competente, dependendo do corpo d'água a ser utilizado. Maiores informações podem ser obtidas na Agência Nacional de Água (ANA), no site <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>.
- ✓ Estudo dos solos, da climatologia, da demanda energética, conservação de solo e água, sistemas de irrigação e controle da drenagem e outros, como: rede viária, armazenamento e mercado.

Por essas questões, o EIA com vistas a projetos hidroagrícolas deve atender à Lei de Política Nacional de Meio Ambiente, contemplando, no mínimo, as seguintes etapas: a) caracterização do empreendimento; b) diagnóstico ambiental da área; c) prognóstico ambiental da área; d) análise dos impactos ambientais diagnosticados e prognosticados; e e) definição de medidas mitigadoras dos impactos.

O Estudo de Impacto Ambiental tem as seguintes características: a) é prévio à licença ambiental; b) seu resultado vincula o órgão ambiental; c) é participativo, uma vez que está aberto ao envolvimento da comunidade; d) é formal, sem ser rígido; e e) é técnico (CONAMA 01/86).

De acordo com Bernardo (1997); Ana (2004); e Bernardo *et al.* (2019), são cinco os principais tipos de impactos ambientais negativos inerentes à irrigação:

- ✓ Modificações do meio ambiente.
- ✓ Salinização do solo, principalmente nas regiões mais secas.

- ✓ Contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos por carreamento de agroquímicos ou por drenagens superficial e subsuperficial.
- ✓ Consumo exagerado para uso múltiplo da disponibilidade hídrica da região, podendo causar sérios conflitos com outros setores.
- ✓ Problemas de saúde pública originados do aumento de populações de agentes transmissores de doenças, como mosquitos e caramujos.

Como medidas mitigadoras desses impactos ambientais, além do EIA, algumas ações de caráter técnico do projeto de engenharia e manejo podem ser recomendadas (ABIMAQ, 2002):

- ✓ Equipamentos: devem ser projetados e fabricados de forma a atender às normas de qualidade, além de serem adaptados às condições brasileiras;
- ✓ Dimensionamento dos sistemas de irrigação: devem estar adequados às necessidades da cultura e às condições da propriedade;
- ✓ Manejo da água: deve ser realizado racionalmente, atendendo às necessidades da cultura e às limitações do solo da propriedade; e
- ✓ Operação dos equipamentos: deve atender às especificações de projeto e as técnicas de cultivo devem ser apropriadas à lavoura irrigada.

Dessa forma, fica evidente que o conhecimento técnico do projeto e uma avaliação prévia dos impactos ambientais podem reduzir ou, mesmo, evitar o seu aparecimento. Há de se considerar a importância e os benefícios da irrigação na produção de alimentos em seus aspectos socioeconômicos: favorece a fixação do homem no campo e promove o desenvolvimento sustentável do agronegócio brasileiro.

A experiência das diversas regiões brasileiras mostra grande entendimento por parte dos empresários irrigantes e de suas associações sobre a necessidade de uma agricultura irrigada sustentável e com respeito ao meio ambiente: serão os principais beneficiários de tal condição. Por sua vez, cobram a adoção de critérios mais claros, menos burocracia e prazos adequados para respostas às solicitações realizadas, de maneira que permita o desenvolvimento da agricultura irrigada que tantos benefícios têm trazido para o país.

#### 4. Fertirrigação convencional

A água contida no sistema de irrigação pode ser utilizada como meio de transporte para fertilizantes, processo denominado como fertirrigação, aperfeiçoando a fertilização do solo e tornando o cultivo mais eficiente (NUNES, 2018). Esse modelo de irrigação tem como base a diluição de fertilizantes em água de acordo com a necessidade de cada cultura agrícola a ser irrigada. Ocorre de forma parcelada para a cultura, garantindo assim melhor distribuição e fornecimento de nutrientes durante o seu ciclo de cultivo (Figura 4).

O estudo feito por Campello *et al.* (2014) é um bom exemplo desse fornecimento parcelado e constante de nutriente para a planta. Analisando a frequência de fertirrigação com o nitrogênio para o cultivo de melão no nordeste do estado do Ceará, puderam observar que a produtividade comercial aumentou linearmente com o maior parcelamento do nitrogênio. Concluíram que o seu parcelamento interferiu na eficiência do suprimento deste nutriente para a planta e que a frequência diária da fertirrigação foi a que apresentou o manejo mais eficiente e a melhor rentabilidade para o produtor.



**Figuras 4.** Sistema utilizado na fertirrigação. Fonte: Mantovani; Bernardo; Palaretti (2009).

Por ser uma irrigação pontual e próxima à base da planta, a irrigação por gotejamento destaca-se dos demais métodos de irrigação por sua alta eficiência e uniformidade, além de ser um sistema de alta versatilidade: pode ser instalado em diversas formas e tamanhos de áreas. Jimenez-Bello *et al.* (2011) afirmam que a irrigação por gotejamento possibilita a aplicação simultânea de água e fertilizantes em um mesmo sistema de distribuição. Em sistema de produção agroecológica e, ou, orgânica, deve ser um dos sistemas priorizados, em função da economia de água e de recursos.

Mantovani; Bernardo; Palaretti (2009) também enfatizam que comparada aos outros sistemas de fornecimento de fertilizantes às plantas, a fertirrigação otimiza o seu uso: tem boa uniformidade de aplicação, principalmente com o uso de sistema por gotejamento. Apresenta assim, diversas vantagens (SOUZA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2015): a) menores perdas de fertilizantes por lixiviação e volatilização; b) fornecimento de água constante mantendo o solo na capacidade de campo (CC); e c) maior eficiência de aplicação de fertilizantes, já que são pontualmente aplicados próximos ao sistema radicular das plantas em pequenas dosagens durante todo o ciclo, sendo ajustado às necessidades das diferentes fases de cultivo das culturas.

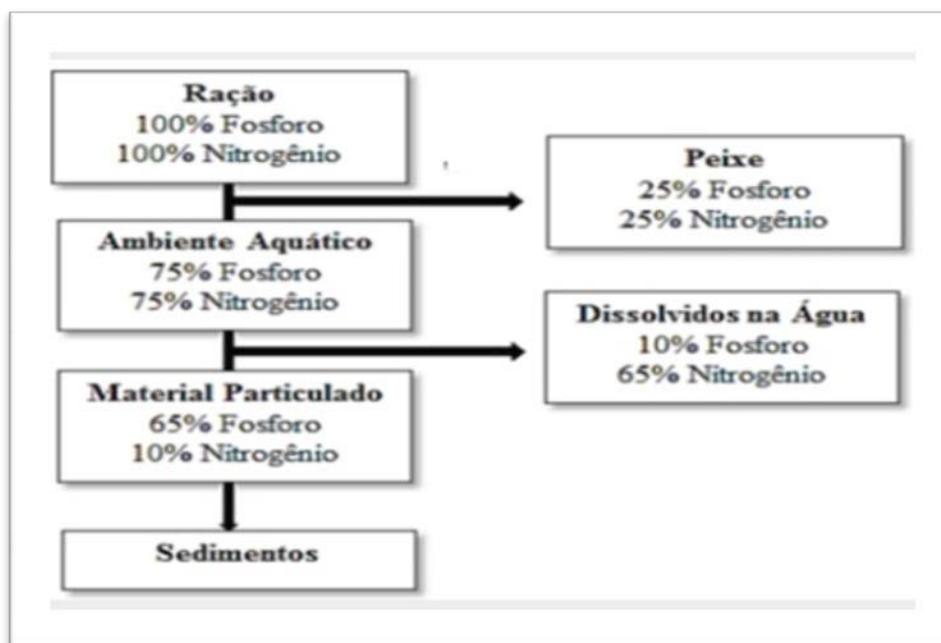
#### **4. Fertirrigação com efluente da piscicultura**

Devido às mudanças climáticas e a diminuição da disponibilidade hídrica em todo o globo, é crescente a consciência sobre a importância do seu uso racional. Uma das alternativas para a mitigação e aperfeiçoamento do uso da água na produção agrícola é o seu reuso: contribui não apenas como fonte extra de água, mas também como fonte de nutrientes para o sistema solo-planta, podendo auxiliar no desenvolvimento da cultura agrícola (ARAUJO *et al.*, 2017).

A água da piscicultura é uma excelente alternativa para uso na agricultura. Quando é utilizada na fertirrigação traz grandes benefícios para o solo - fornecendo nutrientes para as plantas, aumentando a biodiversidade de microrganismos, além de evitar que esta água siga seu fluxo no ambiente, fato que evita impactos ambientais, como a eutrofização dos rios e introdução de espécies exóticas de peixes na fauna vizinha (SOUSA *et al.*, 2017).

Durante o ciclo produtivo de peixes, têm-se o acúmulo de resíduos nos viveiros e tanques de cultivo: são provenientes da adubação, das excretas dos peixes e do resto de ração não consumida. Isso torna o efluente da piscicultura rico em matéria orgânica (MO), fósforo (P), nitrogênio (N) e microrganismos, podendo ser altamente contaminante, causando a eutrofização de cursos hídricos quando descartado de forma inadequada. Porém, devido a essa alta concentração de nutrientes (Figura 5), torna-se uma boa fonte para ser utilizada na fertirrigação de diversas culturas - principalmente de hortaliças e vegetais de ciclo curto (ARAÚJO *et al.* 2017).

O reuso de água de cultivo na aquicultura promove a redução no impacto ambiental negativo que possivelmente seria causado se descartado de forma incorreta. Através da fertirrigação, este uso nobre dado à água por atividades como a piscicultura, promove melhor aproveitamento do recurso hídrico com sua reutilização, resultando da diminuição do uso de adubos químicos na produção. Sua integração com a agricultura promove o cultivo de base ecológica, uma vez que não há o descarte e sim o aproveitamento da água em cultivos na propriedade rural. Isso possibilita ao agricultor familiar uma nova fonte de renda e alimento (ARAÚJO *et al.*, 2017).



**Figura 5.** Fluxograma mostrando como é formado os sedimentos em tanques de piscicultura com conversão alimentar de 1:1,5. Fonte: Berghein *et al.* (1991).

Assim, há necessidade de se implantar alternativas que auxiliem no reuso sustentável desse recurso hídrico bem como desses nutrientes, minimizando o impacto no meio ambiente decorrente do cultivo de peixes. Este reaproveitamento favorece a maximização do potencial econômico das pequenas e médias propriedades com a reutilização de insumos de produção já contidos em seu sistema (SILVA, 2017).

Um estudo feito por Sousa *et al.* (2017) teve como objetivo incentivar o uso de técnicas agroecológicas pelo agricultor com o aproveitamento da água residuária da piscicultura para a irrigação. O experimento com o cultivo de melancia irrigada foi feito no período de pouca chuva, utilizando água do viveiro de peixes e água do canal de abastecimento (açude) para a irrigação (testemunha). Foi utilizada a irrigação por gotejamento e composto orgânico proveniente da cama de aviário para adubação do solo.

Verificaram ao final do cultivo um aumento significativo no peso dos frutos irrigados com a água proveniente do viveiro de piscicultura. Possibilitou incremento de 66,8% no peso total de frutos produzidos, 40,3% no número de frutos e 21,6% no peso médio por fruto, quando comparados aos resultados obtidos com a irrigação realizada somente com a água do canal de abastecimento. Ou seja, verificou-se que é viável a produção de olerícolas integradas à piscicultura durante o período de estiagem, caracterizando um sistema de base ecológica.

Em outro estudo, Araújo *et al.* (2017) investigaram o cultivo de tomate cereja irrigado por gotejamento com água de poço e efluente da piscicultura, analisando a obtenção de incremento na produtividade dos frutos quando os mesmos foram irrigados com o efluente da piscicultura. Os resultados obtidos demonstraram que o peso e a qualidade ficaram de acordo com os padrões exigidos no mercado *in natura*. Assim, concluíram que o uso da água residuária é uma alternativa viável sobre o ponto de vista ecológico e econômico: foi possível dispensar o uso de produtos químicos para suprir as necessidades nutricionais da cultura.

Investigando o desenvolvimento de mudas de tomate cereja na região de Mossoró-RN, irrigado com efluente da piscicultura, Medeiros *et al.* (2013) constataram que o desenvolvimento das mudas foi superior quando usado o composto orgânico irrigado com efluente da piscicultura: indica que o substrato

comercial pode ser substituído pelo composto orgânico. O efluente da piscicultura se mostrou uma ótima alternativa para irrigação, reduzindo custos e impactos ambientais (MEDEIROS, 2013).

Silva (2017) avaliou o desenvolvimento de alface e pepino irrigados com efluente da piscicultura e água de poço, em relação ao tipo de adubo utilizado nas culturas (fertilizante comercial e composto orgânico). Observou-se que ao se adubar a cultura da alface com composto orgânico integrado à irrigação por gotejamento com efluente de piscicultura, os índices produtivos foram bem próximos. Para o pepino, o fertilizante químico e irrigação convencional foram muito superiores quando comparada com o composto orgânico irrigado com efluente da piscicultura. Porém, verificou-se que houve o incremento nutricional ao solo das leiras submetidas aos tratamentos com efluente de piscicultura.

Dessa forma, o uso do efluente de piscicultura na irrigação das hortaliças alface e pepino contribuíram para a ciclagem e disponibilização dos nutrientes na solução do solo, proporcionando melhorias na mineralização da matéria orgânica. O uso de composto orgânico combinado com a fertirrigação de efluente de piscicultura se apresentou como substituto viável à adubação química na cultura da alface cultivada em leiras a céu aberto (SILVA, 2017).

Em estudo realizado com milho crioulo, Souza (2018) avaliou o potencial do uso do efluente da piscicultura no cultivo de duas variedades de milho crioulo, Ibra e Milho Roxo. A escolha pelo milho crioulo se deve fato de ser bastante utilizado na agricultura familiar, sendo cultivado de forma variada na propriedade. Para consumo humano, venda ou para alimentação de animais, o uso da água residuária da piscicultura juntamente com a adubação de composto orgânico, torna-se uma ótima alternativa para irrigação e produção dessa cultura. Reduz o consumo de água, adubos químicos e aquisição de insumos externos. O milho produzido na propriedade pode servir de alimento para ração animal, tais como porcos e galinhas: os dejetos desses animais servirão para adubação do milho, fechando o ciclo de produção de forma mais ecológica - um dos princípios clássicos da economia circular. Souza (2018) verificou neste trabalho que o efluente da piscicultura foi capaz de promover um bom desenvolvimento das plantas, sendo viável o uso do efluente como fonte de fertirrigação para as variedades de milho estudadas.

Regô (2018) avaliou a influência da diluição do efluente da piscicultura em água de abastecimento no cultivo de girassol ornamental. O resultado da proporção de diluição não influenciou nas características comerciais do girassol, sendo positivo o uso do efluente para o bom desenvolvimento das plantas.

## 5. Fertirrigação e agroecologia

Os métodos de produção na aquicultura têm sido intensificados em resposta ao aumento da demanda por uma maior variedade disponível de carnes. A intensificação da produção de peixes quando conduzida de modo inadequado pode levar a um aumento do impacto ambiental em termos de produção de dejetos e uso de água. Uma alternativa cada vez mais presente para minimizar os impactos ambientais da aquicultura é o reuso da água, com vistas à racionalização deste recurso natural essencial e cada vez mais escasso em termos qualitativos.

São exemplos de sistemas de tratamento naturais e ambientalmente sustentáveis: a aplicação do efluente no solo, por meio da fertirrigação; áreas alagadas naturais (pantanosas) ou construídas; e aquicultura com produção de biomassa vegetal ou animal (sistemas aquapônicos). A utilização desta água, proveniente da piscicultura rica em nutrientes na agricultura irrigada, apresenta-se como uma solução sustentável para aliar o destino correto dos efluentes provenientes da criação de peixes. Ocorre a redução do uso de fertilizantes químicos na produção agrícola, minimizando o custo de produção da cultura, tornando-a mais sustentável.

Porém, são escassos ou inexistentes estudos que avaliem o uso de efluente de piscicultura combinado com composto orgânico na adubação de plantio sem a utilização de fertilizantes químicos industrializados em cultivo a campo (SILVA, 2017). Quando se utilizam fontes de adubação sustentáveis, tais como os compostos orgânicos produzidos na própria propriedade, aliando o seu uso com a fertirrigação com efluente, reduzem-se significativamente o custo da produção e os danos ambientais (MEERT *et al.*, 2011).

A maioria dos resultados favoráveis a utilização de água de reuso apresentados na literatura é feita em nível experimental com condições controladas (casas de vegetação). Neste sentido, há falta de estudos de campo

aos níveis de produção em propriedades rurais, onde as condições e variáveis são mais presentes, o que tornaria os estudos mais próximos da realidade dos produtores.

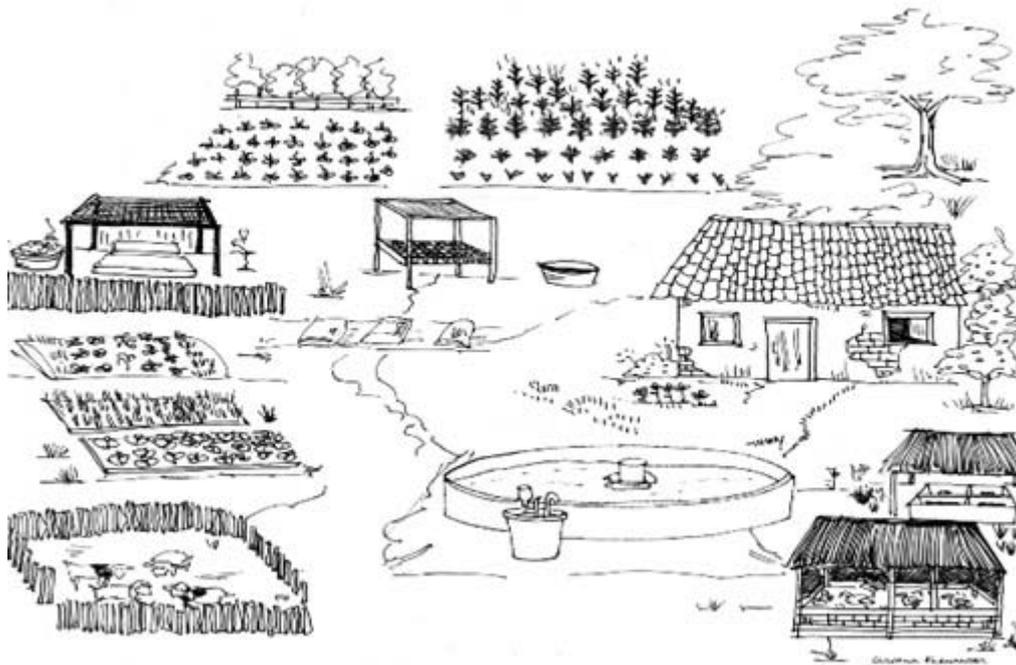
Outro fator observado na literatura é o quanto a junção da adubação orgânica com o efluente da piscicultura é benéfica para diversos tipos de cultivares. Assim, essa integração da piscicultura com a agricultura é fundamental para o melhor aproveitamento de todos os recursos gerados em uma propriedade rural. Reduz o uso de insumos externos, principalmente os adubos químicos, promovendo maior variedade de alimentos produzidos e, principalmente, produzindo de forma mais ecológica: viável na esfera econômica, social e ambiental.

## **6. Sistema integrado para produção de alimentos**

O “Sisteminha” Embrapa/UFU/FAPEMIG – Sistema Integrado para Produção de Alimentos – faz uso da piscicultura intensiva praticada em pequenos tanques construídos com: materiais diversos como papelão, plástico ou alvenaria, reduzindo os custos da implantação. A partir da recirculação dos nutrientes provenientes do tanque de peixes é possível obter um sistema de produção integrado e escalonado incluindo frutas, hortaliças, aves e pequenos animais (GUILHERME; SOBREIRA; OLIVEIRA, 2019).

Seu objetivo é o combate à fome a partir do uso de recursos existentes em seu entorno e um pequeno investimento. Não há compromisso com o mercado, tampouco a intenção de vender um produto para comprar outro; ou seja, a produção é para a família: ela é quem decide o que, quando e quanto cultivar (Figura 6).

De acordo com a Embrapa (2011), o “Sisteminha” constitui-se em um sistema integrado para produção de alimentos, desenvolvido para gerar segurança e soberania alimentar para seus usuários. O elemento central da solução tecnológica é a criação de peixes, em um tanque, com sistema de recirculação e filtragem. O tanque pode ser construído de forma artesanal, com materiais disponíveis na localidade (madeira, papelão, palha, pedra, pneu), de alvenaria, placas pré-moldadas ou outros materiais.



**Figura 6.** Modelo ilustrado do Sisteminha Embrapa - UFU - FAPEMIG. Fonte: Guilherme; Sobreira; Oliveira (2019).

O Sisteminha é composto por 15 módulos: 1. Produção de peixes; 2. Produção de ovos de galinhas; 3. Produção de frangos de corte; 4. Produção de minhocas; 5. Produção vegetal (carboidratos, hortaliças, chás e temperos; frutíferas e madeiras); 6. Produção de composto; 7. Produção de ovos de codorna; 8. Produção de porquinhos da Índia; 9. Aquaponia; 10. Produção de larvas de moscas; 11. Produção de ruminantes; 12. Produção de suínos; 13. Biodigestor; 14. Sistema de tratamento de água potável; 15. Carvoaria artesanal. O “Sisteminha” tem como principais vantagens o baixo custo de investimento inicial (GUILHERME; SOBREIRA; OLIVEIRA, 2019).

O Sistema Integrado para Produção de Alimentos da Embrapa pode ser facilmente adaptado às necessidades, experiência, preferências do produtor e condições edafoclimáticas e de mercado local. Além disto, é apropriada para pequenos espaços (a partir de 100 m<sup>2</sup> em áreas urbanas e rurais), sendo dimensionado para atender às necessidades nutricionais de uma família de quatro pessoas, no atendimento às recomendações nutricionais da Organização Mundial da Saúde (OMS) (EMBRAPA, 2011). De acordo com

Guilherme; Sobreira; Oliveira (2019) esta tecnologia é fundamentada em quatro princípios:

- ✓ Miniaturização,
- ✓ Replicabilidade,
- ✓ Escalonamento da produção, e
- ✓ Segurança alimentar e nutricional.

O Sisteminha não é uma tecnologia isolada: mas um “pacote” de soluções tecnológicas integradas com muitas possibilidades de combinações. O módulo básico é a piscicultura e cada produtor adota os módulos disponíveis de acordo com seus interesses. A tecnologia se desenvolve aos moldes da inovação aberta, com a forte participação dos beneficiários moldando o desenvolvimento e evolução da tecnologia. Esta solução tecnológica foi desenvolvida pela Embrapa em parceria com outras instituições (EMBRAPA, 2011).

## **7. Considerações finais**

O modelo de produção convencional resultante da revolução verde é altamente degradante. Utiliza grandes áreas de monocultivos, tem grande aporte de insumos externos, principalmente fertilizantes químicos e defensivos agrícolas, além de um uso intensivo de máquinas e implementos agrícolas, tornando terras inférteis e degradadas. Além disto, há de se levar em consideração o elevado custo de produção e o balanço emergético negativo, em diversas situações, dado o uso excessivo de recursos exógenos ao sistema de produção.

Há de se conceituar, nos dias atuais, a nova dinâmica da irrigação: passou de uma estratégia de “*Luta contra a seca*” para uma visão integrada de “Agronegócio” com exigências de sustentabilidade e respeito ao meio ambiente, objetivando também com esta parte, motivar e criar condições favoráveis para discussões futuras. A agroecologia pode se beneficiar dos novos sistemas de irrigação e dos modelos de gestão e manejo existentes – reduzem o uso de água e evita desperdícios e degradação.

A piscicultura, em parceria com a fertirrigação, contribui para o aproveitamento de seus efluentes ricos em matéria orgânica e nutrientes,

contribuindo para a fertilização do campo e permitindo a recuperação de áreas degradadas pela monocultura, tornando-as mais férteis. Além disto, pode-se associar positivamente a este reuso o aproveitamento dessas águas, que seriam lançadas em córregos e rios e que provocariam danos ambientais e poluição dos corpos hídricos, na preservação dos recursos hídricos.

A utilização dos efluentes da aquicultura e da piscicultura, águas ricas em nutrientes para a agricultura irrigada, apresenta-se como uma solução sustentável para aliar o destino correto dos efluentes provenientes da criação de peixes, com a redução do uso de fertilizantes químicos na produção agrícola, minimizando o custo de produção da cultura tornando-a mais sustentável. Somado a este fato, por intermédio do ciclo de reuso dentro da própria propriedade, reduz-se a exploração dos recursos hídricos naturais.

Considerando o reuso das águas da aquicultura, que contribuirá para a redução dos custos e da poluição resultante do despejo inadequado das águas residuárias, é fundamental disponibilizar informações baseadas em critérios técnicos, ambientais, de infraestrutura e de disponibilidade hídrica, principalmente, para os pequenos agricultores de produção familiar.

## 8. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS – ABIMAQ. TESTEZLAF, R; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. **Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio**. 2002. 45 p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **A situação de escassez de água no mundo**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 23 ago. 2004.

ALMEIDA, J. P. N. de *et al.* Production of *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke seedlings irrigated with fish farming wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 21, n. 6, p. 386-391, 2017.

ARAUJO, T. S.; ALMEIDA, A. S.; ARAÚJO, F. S.; FERREIRA, A. H. C.; PINTO, T. P. Produção e qualidade de tomates cereja fertirrigados com água residuária da piscicultura. **Revista Verde**, v. 12, n. 3, p. 392-396, 2017.

ASSIS, R. L.; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n. 6, p. 67-80, 2002.

BARBOSA, G. S.; MOURA, R. S.; BARBOSA, E. C. A.; LOPE, R. M. B. P. **Reaproveitamento do efluente da piscicultura de tanques como fertirrigação no setor agrícola do semiárido**, 2017. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/73829264-Reaproveitamento-do-efluente-da-piscicultura-de-tanques-como-fertirrigacao-no-setor-agricola-do-semiarido.html>>. Acesso em: 27 out. 2020.

BARBOZA, L. G. A.; THOMÉ, H. V.; RATZ, R. J.; MORAES, A. J. Para além do discurso ambientalista: percepções, práticas e perspectivas da agricultura agroecológica. **Ambiência**. Guarapuava, v. 8, n. 2, p. 389-401, 2012.

BERGHEIN, A.; AABEL, J. B.; SEYMOUR, E. A. Past and presente approachesto aquaculture waste management in Norwegian net pen culture operations. In: International symposium on nutritional strategies in management of aquaculture waste. 1, Ontario. **Anais...** p. 88-95, 1991.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. (Eds.) **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA/SRH/ABEAS; Viçosa, MG: UFV/Departamento de Engenharia Agrícola, 1997. p. 79-88.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa, MG: UFV, 2019. 545 p.

CAMPELO, A. R.; AZEVEDO, B. M.; NASCIMENTO NETO, JR.; VIANA, T. V. A.; PINHEIRO NETO, L. G.; LIMA, R. H. Manejo da cultura do melão submetida a frequências de irrigação e fertirrigação com nitrogênio. **Horticultura Brasileira** v. 32, p. 138-144, 2014.

CASTRO, R. S.; AZEVEDO, C. M. S. B.; BEZERRA NETO, F. Increasing cherry tomato yield using fish effluent as irrigation water in Northeast Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 110, p. 44-50, 2006.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias.** Editores: BORGHETTI, J. R.; SILVA, W. L. C.; NOCKO, H. R.; LOYOLA, L. N.; CHIANCA, G. K. Brasília, 2017. 243 p.

FERREIRA, P. A. Tecnologias aplicadas ao planejamento de projetos hidroagrícolas. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. (Eds.) **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura.** Brasília: MMA/SRH/ABEAS; Viçosa, MG: UFV/Departamento de Engenharia Agrícola, 1997. p. 191-207.

GOOLEY, G. J.; GAVINE, F. M. Introduction to integrated agri-aquaculture systems in Australia. In: GOOLEY, G. J.; GAVINE, F. M. (ed.) **Integrated agri-aquaculture systems - a resource handbook.** Kingston: Rural Industries Research and Development Corporation, 2003. p. 1-5.

GUILHERME, L. C.; SOBREIRA, R. dos S.; OLIVEIRA. **Sisteminha Embrapa - UFU - FAPEMIG: Sistema Integrado de Produção de Alimentos - Módulo1: tanque de peixes.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2019.

INSTITUTO ÁGUA SUSTENTÁVEL. **Porque o mundo precisa de água?** 2018. Disponível em: < <https://www.aguasustentavel.org.br/>>. Acesso em: 19 mar. 2021.

JIMENEZ-BELLO, A. M.; MARTINEZ, F.; BOU, V.; BARTOLIN, H. Analysis, assessment, and improvement of fertilizer distribution in pressure irrigation systems. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 29, p. 45-53, 2011.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação Princípios e Métodos.** 2a. edição. Viçosa-MG: UFV, 2009. 355 p.

MEDEIROS, D. C.; AZEVEDO, C. M. S. B.; MARQUES, L. F.; SOUSA, R. A.; OLIVEIRA, C. J. Qualidade de Mudas de Tomate em Função do Substrato e Irrigação com Efluente de Piscicultura. **Rev. Bras. de Agroecologia.** v. 8, n. 2, p. 170-175, 2013.

MEERT, L.; SOUZA, R. B.; ALBUQUERQUE, J. O.; PAULA, J. T.; JASSE, M. E.; RESENDE, F. V.; SILVA, G. P.; SOUSA, J. M. Produção orgânica de

cenoura com compostos orgânicos elaborados por leira estática aerada. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 4402-4407, 2011.

MEIRELLES, L.R.; RUPP, L.C.D. **Agricultura Ecológica: Princípios Básicos**. Dom Pedro de Alcântara: Cartilha do Centro Ecológico Ipê. 2005.

NELSON, R. A. R. R. A importância dos recursos hídricos e a organização administrativa para sua proteção. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**. Macapá, n. 9, p. 71-88, 2017.

NUNES, T. Z. **Controle de qualidade de irrigação e fertirrigação por gotejamento em horta urbana**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel. 76p. 2018.

PENA, R. F. A. Formas de degradação do solo. **Revista Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/formas-degradacao-solo.htm>>. Acesso em: 27 out. 2020.

PRIMAVESI, A. **Agroecologia: ecosfera, tecnosfera e agricultura**. São Paulo, SP: Nobel, 1997.

REGÔ, L. G. S. **Uso do efluente da piscicultura na produção de girassol ornamental**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo e da Água, Universidade Federal do Semiárido – UFERSA, Mossoró-RN, 49 p. 2018.

SANTOS, F. J. S. **Cultivo de tilápia e uso de seu efluente na fertirrigação de feijão vigna**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

SILVA, A. O.; KLAR, A. E.; SILVA, E. F. F. Manejo da fertirrigação e salinidade do solo no crescimento da cultura da beterraba. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, p. 230-241, 2015.

SILVA, V. S. **Uso do efluente da piscicultura na fertirrigação de olerícolas produzidas com base agroecológica**. Dissertação (Mestrado em

Agroecologia) - Universidade Estadual de Roraima-UERR, Boa Vista-RR, 95 p. 2019.

SOUSA, A. S.; PACHECO, H.; AMORIM, E. M. Experiência agroecológica com um agricultor familiar da Vila Jessé - Bragança/PA. *Cadernos de Agroecologia. Anais... VI CLAA, X CBA e V SEMDF.* v. 13, n. 1, 2018.

SOUZA, A. C. M. **Fertilização do solo com efluente da piscicultura no cultivo de milho crioulo.** Tese (Doutorado em Manejo do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo e da Água, Universidade Federal do Semiárido – UFERSA, Mossoró-RN, 103 p. 2018.

SOUZA, M. N. **Degradação antrópica e procedimentos de recuperação ambiental.** Novas Edições Acadêmicas/SIA *OmniScriptum Publishing*: Brivibas gatve 197, LV-1039, Riga, Letônia, União Europeia, 2018. 364 p.

SOUZA, M. N. **Mudanças no uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais.** Frankfurt, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015, v.5000. 376 p.

SOUZA, M. N. Recuperação ambiental ou recuperação de áreas degradadas: conceitos e procedimentos. p. 11-57. In: SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.133p.

SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.133p.

SOUZA, R. T. M.; VERONA, L. A. F.; FACHINELLO, M.; MARTINS, S. R. Insumos em agroecossistemas familiares com produção de base ecológica na região oeste de Santa Catarina. *Anais... Workshop Insumos Agricultura Sustentável, Santa Catarina - SC,* p. 1-6, 2012.

SOUZA, T. R.; VILLAS BÔAS, R. L.; QUAGGIO, J. A.; SALOMÃO, L. C.; FORATTO, L. C. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira,* v. 47, p. 846-854, 2012.

## **Autores**

Vinicius Sabadim Saraiva, Maurício Novaes Souza, José Carlos Venâncio da Páschoa, Josemar Braga Senna, Pedro Pierro Mendonça, Simone Wellita Simão de Carvalho, Maria Amélia Bonfante da Silva, Vinícius de Freitas Mateus, Geisa Corrêa Louback, Fernanda Pereira Soares Carias

Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500- 000, Alegre-ES, Brasil.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)

## CAPÍTULO 10

---

### **Desigualdade social, saneamento básico, impactos e externalidades ambientais: agroecologia, “Agenda 2030” e sustentabilidade nos sistemas produtivos**

Simone Wellita Simão de Carvalho, Euliene Pereira Henrique, João Sávio Monção Figueiredo, Maurício Novaes Souza, Marina Pereira Ribeiro Sardinha, Priscilla Moreira Curtis Peixoto, Tamyres Sanglard da Fonseca, Geisa Corrêa Louback, Marcus Vinicius Dutra de Magalhães, Stephan Lopes Carvalho

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-2-9.c10>

#### **Resumo**

As desigualdades sociais crescem no mundo, inclusive no Brasil, onde grande parte da população vive sem as condições necessárias para se sustentarem e viverem dignamente, mesmo com a imensa riqueza do país. O desenvolvimento sustentável se torna crucial para sanar essas desigualdades sociais, tema este abordado pela Agenda 2030, um plano de ação elaborado por líderes mundiais na OMS, visando a erradicação da pobreza em todas as suas dimensões. Um dos tópicos fundamentais deste plano é proporcionar saneamento básico, inclusive nas áreas rurais, que praticamente inexistem no Brasil. O saneamento dessas áreas garantirá a promoção da saúde: para sua concretização é preciso superar entraves políticos, tecnológicos e gerenciais, os quais geram a contaminação dos recursos naturais. Neste contexto, a agricultura e a conservação ambiental devem se unir para que sejam praticadas em comunhão, pois abrem espaços e tendências para a sistematização de agroecossistemas biodiversos, resilientes, energeticamente eficientes e socialmente justos. Os sistemas agroflorestais são exemplos dessa união, pois previnem a degradação do solo ao mesmo tempo em que potencializam a produção agrícola - a Agroecologia é o fundamento teórico-prático para os sistemas agrícolas ecológicos. O objetivo deste trabalho é mostrar a importância do modelo implantado de agricultura e como a prática convencional pode trazer consequências ao longo do tempo, provocando a degradação do meio ambiente. Por outro lado, a agroecologia e suas práticas conservacionistas podem melhorar a renda da população, superar e resolver os impactos ambientais e transformar as áreas produtivas em um ambiente sustentável.

**Palavras-chave:** Saneamento ambiental. Agroecologia. Agenda 2030. Desenvolvimento sustentável.

## 1. Introdução

O crescimento acelerado da população mundial trouxe consigo uma grande preocupação - o aumento das desigualdades sociais é algo que, infelizmente, ainda existe em vários países. No Brasil, tal condição não tem sido diferente: grande parte da população brasileira vive sem as condições necessárias para se sustentarem e viverem dignamente.

No que diz respeito à desigualdade financeira, está tão enraizada na história brasileira, que nos dias atuais parece ter sido naturalizada. O diagnóstico referente à estrutura da pobreza no Brasil, em pleno século XXI, relata que este não é apenas um país pobre, mas um país extremamente injusto e desigual, com muitas pessoas pobres e, até mesmo, em condição de extrema pobreza (renda diária inferior a \$1USA). Assim, a desigualdade se origina na pobreza: combatê-la, tornou-se algo muito difícil - o direcionamento depende das políticas públicas. Para que isso aconteça é fundamental que a democracia seja plena, realizada com eficiência econômica e justiça social (BARROS; HENRIQUES; MENDONÇA, 2000; SOUZA, 2018).

A pobreza não pode ser definida de forma única e universal. Assim, é possível afirmar que ela se refere a situações de carência em que os indivíduos não conseguem atingir um padrão mínimo de qualidade de vida, de acordo com os padrões socialmente estabelecidos dentro de um dado contexto (BARROS; HENRIQUES; MENDONÇA, 2000).

Por esse motivo, representantes da Organização das Nações Unidas (ONU) reuniram-se e comprometeram-se a tomar medidas transformadoras para promover o desenvolvimento sustentável no âmbito mundial, sendo criada a Agenda 2030: plano de ação que apresentam objetivos e metas que busca fortalecer a paz universal e a erradicação da pobreza em todas as suas dimensões, sendo este um desafio global e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável. Um dos principais objetivos definidos pela Agenda é “acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e a melhoria da nutrição, e promover a agricultura sustentável” (ONU, 2015).

A realidade é que o aumento da população mundial alavancou consigo uma grande demanda por alimentos e água, aumentando significativamente a pressão sobre os setores produtivos, trazendo consigo impactos e externalidades ambientais negativos sobre o solo e os recursos hídricos. Dessa

forma, “a sustentabilidade deixa de ser uma bandeira política e moral e passa a ser uma necessidade” (HUNDLEY, 2013).

No meio rural, o modelo de produção agropecuária convencional, centrado no uso abusivo de recursos naturais e de agroquímicos sintéticos, permitiu aumentar a produção e a produtividade em certas regiões; porém, promovendo impactos e degradação ao meio ambiente, comprometendo a sua sustentabilidade em longo prazo. Além disso, prioriza a produção de *commodities* e responde mais ao mercado do que às reais necessidades alimentares da população. Esta situação só poderá ser revertida quando o projeto de desenvolvimento nacional determinar o atendimento das demandas alimentares e nutricionais como o principal objetivo da produção agropecuária, visto que há milhões de brasileiros que não têm atendidas sequer sua dieta quantitativa (CAPORAL; COSTABEBER, 2004).

Os mesmos autores ainda afirmaram que a segurança alimentar e nutricional sustentável exigem ainda a implementação de estilos de Agricultura Sustentável baseados nos princípios científicos da Agroecologia. A verdadeira modernização da agricultura necessita que o manejo dos recursos naturais e a seleção de tecnologias usadas no processo produtivo sejam o resultado de uma nova forma de aproximação e integração entre Ecologia e Agronomia. Os estilos de agricultura devem ser compatíveis com a heterogeneidade dos agroecossistemas, considerando os conhecimentos locais, os avanços científicos e a socialização de saberes, além da adoção de tecnologias menos agressivas ao ambiente e à saúde das pessoas (CAPORAL; COSTABEBER, 2004).

Entre os problemas associados ao crescimento acelerado da população mundial, uma grande preocupação estava voltada ao saneamento básico e à produção de alimentos. A produtividade em diversos ramos industriais, em grande escala, associado ao consumo excessivo de alimentos, acarretaram uma maior produção de resíduos, os quais com descarte inadequado em terrenos baldios, próximo a rios e nascentes, têm provocado o aumento de animais vetores de doenças, principalmente nas grandes cidades, ocasionando um processo de degradação do meio ambiente tornando os ambientes naturais inacessíveis às condições de produção de alimento, o que nos leva a refletir

sobre a relação que se tem com os recursos naturais que nos mantem vivos (Figura 1).

Quando se voltam os olhares para a ruralidade brasileira, evidencia-se um paradoxo acerca da produtividade do agronegócio e a fome de muitos brasileiros, inclusive nas áreas rurais. Ao mesmo tempo em que o agronegócio brasileiro é um dos mais produtivos do mundo, a fome ainda atinge grande parte da população brasileira. Este quadro paradoxal levanta a questão: como é possível um país estar entre os primeiros na produção mundial de alimentos e a fome abrangerem muitos de seus habitantes? Esta dicotomia reflete a desigualdade social presente na vida dos brasileiros (CASTRO, 1984; SOUZA, 2021).



**Figura 1.** Lixão em área rural na periferia de grande cidade. Fonte: Arquivo pessoal (2018).

A desigualdade social também pode ser evidenciada na falta de saneamento básico, que tem gerado malefícios para a população e para o meio ambiente. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social (SOUSA; BOCARDI; CARDOSO, 2015). O saneamento básico é um instrumento que

garante a promoção da saúde das pessoas: para que isso de fato aconteça, é preciso superar as barreiras dos entraves políticos, tecnológicos e gerenciais, que têm dificultado a extensão dos benefícios a toda a população e ocasionado a contaminação dos recursos naturais.

A agricultura e a conservação ambiental, diante desse contexto mundial, devem se unir para que sejam praticadas em comunhão. A união entre as ciências ecológicas e agronômicas abrem novos caminhos e tendências rumo à sistematização de agroecossistemas biodiversos, resilientes, energeticamente eficientes e socialmente justos (GLIESSMAN, 2001; ALTIERI, 2012). Arranjos, como os sistemas agroflorestais (SAF's) previnem a degradação do solo, ao mesmo tempo em que potencializam a produção agrícola (MICCOLIS *et al.*, 2016).

No campo acadêmico, a Agroecologia fornece a base epistemológica que esclarece a inerente multidisciplinaridade de sistemas agrícolas ecológicos (Figura 2). Ainda que a articulação política da agroecologia esteja ganhando mais espaço com o tempo, existem muitas lacunas que devem ser preenchidas sobre sua capacidade operativa. O estudo de experiências reais que atendam às urgências ambientais, agronômicas e que se adaptem às realidades rurais, é essencial para a construção do conhecimento teórico e técnico sobre implantação e manejo de agroecossistemas (SOUZA, 2018).



**Figura 2.** Cafezal em sistema agrícola ecológico. Fonte: CAFÉ SOMBRA DA MATA (2021).

## 2. Saneamento ambiental e agroecologia: demandas e perspectivas

A questão do saneamento necessita de maior aprofundamento: nas cidades e no meio rural. Em tempos de crise hídrica, como a que atingiu o estado do Espírito Santo nos anos de 2015 e 2017, o saneamento deve ser pensado numa perspectiva ampla e complexa, buscando entender os interesses envolvidos nos projetos hídricos - tanto os já implantados quanto aqueles ainda a serem implantados.

Tais interesses têm ampliado as desigualdades sociais e, paradoxalmente, reduzido a capacidade de recarga das águas superficiais e subterrâneas. Entende-se que é necessário criar condições para a construção de alternativas às formas convencionais de saneamento: o diálogo entre a agroecologia e o saneamento pode ser um dos caminhos para a recuperação das águas em sua quantidade e qualidade, tornando-se um bem comum a todos os moradores das zonas rurais e produtores do agronegócio (SOUZA, 2014; SOUZA *et al.*, 2014; VAZ, 2017).

A água constitui elemento essencial à vida. O homem necessita de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para atender as suas necessidades, para proteção de sua saúde, para a agricultura, piscicultura e todas as outras atividades agropecuárias, nas indústrias, como também em praticamente todas as atividades que venha a desenvolver. Para isso, a água deve atender aos padrões de potabilidade para ser considerada potável. Dessa forma, é fundamental a preservação dos recursos hídricos (Figura 3).



**Figura 3.** Efluente de suinocultura lançado diretamente em solo próxima a corpo hídrico. Fonte: Arquivo pessoal (2014).

Para Barros *et al.* (1995), o Sistema de Abastecimento de Água representa o "conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável de uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos".

De acordo com Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), órgão ligado ao Ministério da Saúde, os sistemas de tratamento de esgotos sanitários consistem em estruturas projetadas e implantadas para:

"[...] coleta, tratamento e destino final de esgotos sanitários visando o controle de doenças e outros agravos, assim como contribuir para a redução da morbimortalidade provocada por doenças de veiculação hídrica e para o aumento da expectativa de vida e da melhoria na qualidade de vida da população" (FUNASA, 2017a).

O fato é que a maioria das cidades brasileiras não apresenta o mínimo de suporte para que a população viva de maneira adequada. O saneamento básico é uma das principais demandas dessas cidades, o qual é visto como um instrumento que garante a promoção da saúde das pessoas. Para que isso de fato aconteça, é preciso superar as barreiras dos entraves políticos, tecnológicos e gerenciais, que têm dificultado a extensão dos benefícios a toda a população.

Diante disso, é possível analisar o descaso social e ambiental, no tratamento de esgoto nas cidades brasileiras. O despejo do esgoto doméstico de grande parte da população é lançado nos rios de forma tão corriqueira, que não parece trazer malefícios ao meio ambiente. No entanto, os impactos podem ser observados com o passar dos anos, juntamente com outras práticas, como jogar lixo nas encostas dos rios podem provocar prejuízos ambientais sérios, além de diversos problemas para a população.

O Censo Demográfico de 2010, realizado pelo IBGE, demonstrou que aproximadamente 29,9 milhões de brasileiros vivem em zonas rurais, totalizando cerca de 8,1 milhões de domicílios. Para este grupo populacional, os serviços de saneamento prestados possuem um *déficit* de cobertura bastante elevado, sendo o maior *déficit* observado na componente esgotamento sanitário, onde 54,2% dos domicílios possuem atendimento precário e 28,6% são considerados sem atendimento. Um total de 69,5% dos domicílios é considerado sem atendimento quanto ao manejo de resíduos

sólidos e 3,6% com atendimento precário. No que diz respeito ao abastecimento de água, 35,4% dos domicílios nas zonas rurais se encontravam em situação de *déficit* (FUNASA, 2017b).

A relação entre o saneamento básico e a agroecologia precisa ser mais debatida no contexto atual, buscando uma convergência entre ambos. A forma como o saneamento básico no Brasil é tratado permanece bastante limitada, visto que se fundamenta numa lógica de geração de lucro, sem pensar o ciclo das águas de forma sistêmica. A aplicação dos princípios da agroecologia pode contribuir de forma significativa para o fortalecimento da construção de políticas públicas de saneamento alternativo, como a **Fossa Verde e o Círculo de Bananeiras**, que reforçam a importância de uma construção vertical (Figura 4). Porém, o saneamento deve seguir a sequência da base para o vértice da organização comunitária, com a adequação das tecnologias aos territórios e aos ecossistemas, além da preocupação com o manejo sustentável da água. A população que vive nas zonas rurais possui muita propriedade para o debate da relação entre saneamento e agroecologia, visto que possuem uma relação mais próxima com o ciclo da água. Pode-se pensar na adoção de tecnologias sociais que reutilizam a água e os nutrientes do esgoto para geração de alimentos, nutrientes, energia e insumos para produção ou plantio (SOUZA, 2018; 2021).



**Figura 4.** Saneamento ecológico com o “Círculo de Bananeiras”: bacia de evapotranspiração construída em comunidade caiçara de Paraty-RJ pelo “Projeto Observatório de Territórios Saudáveis e Sustentáveis da Bocaina”. Fonte: Figueiredo; Santos; Tonetti (2018).

### **3. A elevada produtividade e a ausência de alimentos para os brasileiros**

O agronegócio empresarial praticado sem estar fundamentado nos princípios da sustentabilidade, traz grande preocupação ambiental e social, uma vez que acarreta produção de monoculturas em larga escala e, conseqüentemente, reduz a biodiversidade local. Atualmente, o modelo de agronegócio que se tem praticado vai de encontro aos princípios ecológicos, com práticas de manejo inadequadas, contribuindo assim para a poluição dos recursos naturais.

De acordo com Souza (2018), “[...] a crescente concentração da produção em torno de uma única cultura, como no caso da soja, criou, cria e criará problemas socioeconômicos e ambientais futuros”. Segundo esse mesmo autor, a Agenda 21 Brasileira afirma ser essencial que ocorra no país a substituição gradual e progressiva dos sistemas agropecuários muito simplificados, como as monoculturas agrícolas, por sistemas diversificados, especialmente os rotacionais, que integrem a produção animal e vegetal e preservam os recursos naturais, como os sistemas agroflorestais.

Capra (1996) afirma que todos os seres vivos são membros de comunidades ecológicas e que essas estão ligadas umas às outras numa rede de interdependências. Mas embora o ser humano seja o único animal considerado racional, este tem sido responsável por todas as mudanças ambientais e sociais das últimas décadas.

A agricultura convencional foi edificada em torno de dois objetivos: a) a maximização da produção; e b) do lucro. Seu funcionamento se dá a partir de seis práticas básicas: 1) cultivo intensivo do solo; 2) monocultura; 3) irrigação, 4) aplicação de fertilizante inorgânico; 5) controle químico de pragas; 6) manipulação genética de plantas (GLIESSMAN, 2001). Dessa forma, o agronegócio convencional mundial só tem como objetivo aumentar a produção de alimentos visando a erradicação da fome: mas o problema é que o aumento desta não está na produção, mas na forma como é feita a distribuição desses alimentos.

A expressão segurança alimentar, como conceito guia para políticas públicas, surgiu em 1974 durante a Conferência Mundial da Alimentação promovida pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). Em 1996, a mesma FAO estabelecia um conceito mais

ambicioso, ao afirmar que se tratava de garantir o acesso aos alimentos para todos e a todo o momento, em quantidade e qualidade suficientes para garantir uma vida saudável e ativa. A partir deste conceito, ficou patente a importância de uma agricultura que produza alimentos básicos (e não apenas *commodities*), com adequada qualidade biológica.

Ademais, alerta para a necessidade de que a agricultura seja mais respeitosa com o meio ambiente, de modo a assegurar a conservação da base de recursos naturais indispensável para a produção ao longo do tempo. Esta preocupação se justifica quando o organismo das Nações Unidas encarregado de zelar pela agricultura e pela alimentação dos povos, diagnostica que, ao longo das décadas de Revolução Verde, houve um crescimento significativo da fome no mundo. No mesmo período cresceu o êxodo rural e aumentou a pobreza tanto rural como urbana. Há no mundo e no Brasil milhões de pessoas passando fome e, ou, sem condições alimentares adequadas (CAPORAL; COSTABEBER, 2004).

Além do fato da fome ainda persistir, a agricultura tem se tornado uma das atividades que mais causam degradação dos solos. O manejo inadequado das práticas agropecuárias, como o processo de aração e a ausência de proteção dos corpos hídricos, tem contribuído bastante para esse aumento. Há de se considerar que nas últimas décadas a produção passou a ser concentrada em grandes monoculturas e por grandes proprietários.

Contudo, é possível observar que a agricultura convencional não é sustentável, pois ela tem danificado o meio ambiente com uso excessivo de agrotóxicos, insumos e atividades de manejo nas plantações. Nos dias atuais, por meio de práticas de recuperação de áreas degradadas (RAD), é possível viabilizar o processo de restauração desses ambientes que sofreram algum tipo de degradação, seja de origem antrópica ou de origem natural. Práticas agrícolas que coloque em prática os princípios de ecologia, como a agroecologia, a permacultura, sistemas agroflorestais (SAFs), devem ser difundidas para mostrar os benefícios ofertados ao meio ambiente, além de garantir a produtividade no ecossistema e a preservação ambiental.

A agroecologia possibilita desenvolvimento de agroecossistemas com uma dependência mínima de aplicação de insumos agroquímicos e energéticos externos, conserva e amplia a biodiversidade dos ecossistemas tendo em vista

o estabelecimento de interações entre solo, animais e plantas, possibilitando a ampliação e autorregulação do agroecossistema.

É fundamental a garantia de condições de se manter o solo com vida - que permita a manutenção de sua fertilidade e o desenvolvimento sustentável e saudável. Por meio de práticas como a adubação verde, que envolve o uso de plantas leguminosas; e as que se utilizam da palhada das gramíneas - a cobertura permanente do solo é geralmente associada a um manejo reduzido do solo ou a uma cultura sem revolvimento. A sua exposição direta aos raios solares, ao impacto das gotas de chuva, resultam na desestruturação e desagregação do solo gerando erosão.

A Figura 5 ilustra a importância da cobertura vegetal na manutenção da umidade do solo, no aumento do aporte da matéria orgânica que beneficiam as plantas na parte aérea e no sistema radicular, tornando-as mais resistentes contra as pragas e as doenças, bem como à ação dos ventos.



**Figura 5.** Área de produção de coco e de milho com adubação verde (crotalária). Fonte: Arquivo pessoal (2020).

A rotação de culturas ajuda nas práticas de conservação do solo quanto ao controle de erosão, nas culturas consorciadas em técnica agrícola de conservação que visa um melhor aproveitamento em longo prazo do solo e

cultivo em faixas de culturas de rendimento, onde as plantas são periodicamente cortadas para obtenção de matéria orgânica e fixação de nutrientes.

Essas variedades adaptadas às condições locais de solo e clima poderão minimizar as exigências de compra de insumos externos e proporcionar bom desenvolvimento da cultura e conservação do solo. Diante do exposto, alguns conceitos básicos em ecologia são essenciais para capacitar as pessoas a se tornarem agentes ativos do desenvolvimento sustentável: sua compreensão é fundamental para que comunidades e os indivíduos mudem atitudes em relação ao uso dos recursos e das questões ambientais.

#### 4. Agenda 2030

A Agenda 2030 consiste em um conjunto de dezessete (17) “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” (ODS), que compõem um plano de ação com o propósito de erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que as pessoas alcancem a paz e a prosperidade, tendo como prazo limite o ano de 2030. Tal agenda foi estabelecida em setembro de 2015 por líderes mundiais que se reuniram na sede da ONU, em Nova Iorque (Agenda 2030, 2015).

A Agenda 2030 consiste em uma Declaração em um quadro de resultados - os 17 ODS e suas 169 metas. Existe uma seção sobre os meios de execução e de parcerias globais, bem como um roteiro para acompanhamento e revisão (Figura 6). Os ODS são o núcleo da Agenda e deverão ser alcançados até o ano 2030.



**Figura 6.** Síntese do plano de ação da Agenda 2030. Fonte: Agenda 2030 (2015).

Os 17 objetivos são integrados e indivisíveis, e mesclam, de forma equilibrada, as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental (Figura 7).



**Figura 7.** Os 17 objetivos da Agenda 2030. Fonte: Agenda 2030 (2015).

São como uma lista de tarefas a ser cumpridos pelos governos, a sociedade civil, o setor privado e todos os cidadãos na jornada coletiva para que se chegue a 2030 de forma sustentável. Nos próximos anos de formalização da Agenda 2030, os ODS e suas metas irão estimular e apoiar ações em áreas de importância crucial para a humanidade: pessoas, planeta, prosperidade, paz e parcerias (Figura 8).

O documento assinado pelas lideranças mundiais foi intitulado “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, sendo um guia para as ações da comunidade internacional nos próximos anos. Consiste também num plano de ação para todas as pessoas e o planeta, coletivamente criado para colocar o mundo em um caminho mais sustentável e resiliente até 2030.



**Figura 8.** Áreas cruciais em que se apoia o plano de ação. Fonte: Agenda 2030 (2015).

## 5. Sustentabilidade ambiental e agroecologia

Políticas públicas devem ser desenvolvidas para tentar minimizar esse grande problema que afeta o Brasil, sendo observado nas pequenas e grandes cidades, bem como em diversas áreas rurais. A falta de estrutura, o aumento populacional e a falta de responsabilidade contribuiram para que situações como essas chegassem a esse determinado estágio.

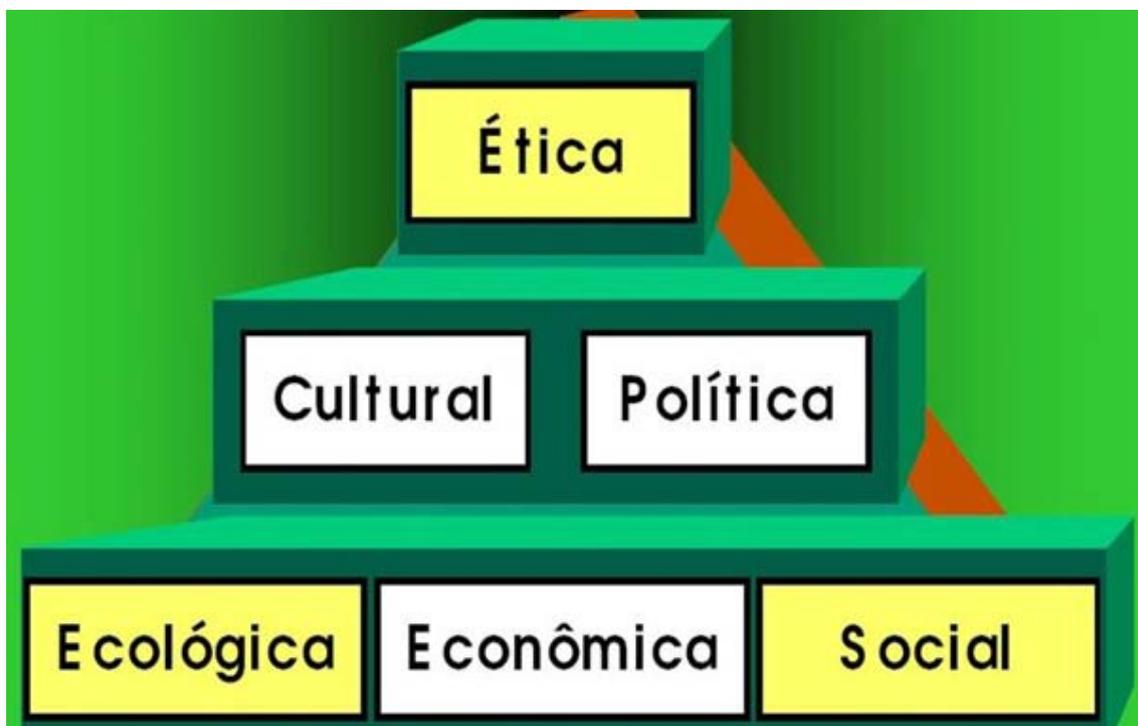
Segundo Guimarães; Carvalho; Silva (2007), a disponibilidade do saneamento está associada a uma infraestrutura física e uma estrutura educacional, legal e institucional, que abrange os seguintes serviços: a) abastecimento de água às populações; b) qualidade compatível com a proteção de sua saúde para a garantia de condições básicas de conforto; e c) coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura de águas residuárias, tais como: esgotos sanitários, resíduos líquidos industriais e agrícolas; acondicionamento, coleta, transporte e destino final dos resíduos sólidos, incluindo os dejetos provenientes das atividades doméstica, comercial e de serviços, industrial e pública.

Medidas ambientais devem ser estudadas e praticadas, para que essa poluição desenfreada dos recursos hídricos seja minimizada, juntamente com



Para entender a interdependência ecológica, antes o ser humano precisa entender as relações fundamentais que ocorrem nas mudanças de percepção as quais são características do pensamento sistêmico, das partes para o todo, de objetos para relações, de conteúdo para padrão. Para que a comunidade humana sustentável exista é necessário que as pessoas estejam cientes das múltiplas relações entre si e que dessa forma possa nutrir essa comunidade que significa fortalecer essas relações buscando a harmonia e comprometimento de todos.

Caporal; Costabeber; Paulus (2006) apresentam a Agroecologia como uma forma de integrar os saberes históricos dos agricultores com os conhecimentos científicos. Permite a compreensão, análise e crítica do atual modelo do desenvolvimento e de agricultura, como também o estabelecimento de novas estratégias que contribuam para o desenvolvimento rural mais sustentável, mediante uma abordagem holística e transdisciplinar. Caporal; Costabeber (2002a; 2003); acrescentam a importância de se considerar não apenas os aspectos econômicos, ambientais e sociais, mas também os culturais e políticos, sendo todos fundamentados pela ética (Figura 10).



**Figura 10.** Multidimensões da sustentabilidade. Fonte: Caporal; Costabeber (2002b).

Em agroecologia, investir na preparação de produtos artesanais, como caldas e biofertilizantes, contribuem bastante para o manejo - tanto para as correções do solo, como também para o controle de pragas e outros problemas que possam surgir durante o período de conversão de um sistema para outro. A compreensão e o uso dos conhecimentos que a natureza fornece contribuem para a mudança dos processos e da forma de lidar com o solo, plantas, animais e as alternativas locais para solucionar os problemas dentro de cada propriedade (PADOVAN; CAMPOLIN, 2011).

No Brasil, o agronegócio empresarial dos grandes produtores que compõe o modelo convencional de produção, permanece causando agressões ao meio ambiente e deixando grande parte da população com fome. Ao mesmo tempo, os pequenos produtores se tornaram responsáveis pela maior parte das áreas preservadas devido às práticas sustentáveis e cuidados com o meio ambiente. É perceptível o quanto o país tem desrespeitado as questões ambientais. É sabido o quanto tem sido o aumento no uso dos agrotóxicos, além dos danos causados pela pecuária. Essa é uma triste realidade, que parece interminável, visto a gravidade dos impactos causados pela degradação de origem antrópica, que aumentam a cada dia.

## **6. Política ambiental brasileira como ferramenta de gestão**

De acordo com a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente, em seu artigo 3º, inciso II, o termo degradação da qualidade ambiental é definido como “[...] a alteração adversa das características do meio ambiente.” (BRASIL, 1981). Este conceito é genérico e abrangente em relação às adversidades. Embora a lei não torne explícito o ser humano como o principal agente causador da degradação ambiental, cuja ação tem impactado negativamente nos diversos ecossistemas, na prática se sabe que esta degradação é consequência das atividades antrópicas. Apenas uma parcela significativamente pequena da degradação ambiental é de origem natural.

Portanto, percebe-se que o termo impacto ambiental pode ser amplamente empregado para se referir tanto aos aspectos negativos quanto aos positivos das ações antrópicas no meio ambiente. Pode-se concluir que,

nas últimas décadas, esses impactos estão sendo majoritariamente negativos para os ecossistemas.

Diante desse cenário, práticas são desenvolvidas para mudar a realidade de diversas áreas degradadas, por meio de técnicas específicas como a avaliação de impactos ambientais (AIA). São fundamentais para que se possa obter um diagnóstico do local analisado e, por meio de metodologias corretivas, contribuir para a recuperação ambiental dessa área.

Segundo Bitar; Ortega (1998):

“A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) pode ser definida como uma série de procedimentos legais, institucionais e técnico-científicos, com o objetivo de caracterizar e identificar os impactos potenciais na instalação futura de um empreendimento, ou seja, prever a magnitude e a importância desses impactos” (BITAR; ORTEGA, 1998).

A AIA faz parte das etapas do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), sendo esta avaliação um instrumento que corresponde a segunda etapa de elaboração deste estudo. Na AIA a caracterização e dimensionamento dos processos físicos são de fundamental importância para que as decisões em torno das medidas mitigadoras sejam condizentes com o empreendimento.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 01/86 de 1986, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), têm como foco principal viabilizar ao poder público as informações relevantes aos projetos impactantes, buscando assim meios para subsidiar a tomada de decisão em relação à aprovação de instalação de uma determinada atividade ou empreendimento. No caso das atividades que seja realizado o uso dos recursos naturais, que seja considerado com um elevado potencial degradativo ou de poluição, este por sua vez irá depender da execução EIA/RIMA para a liberação do licenciamento ambiental (BRASIL, 1986).

O Estudo de Impacto Ambiental, segundo a Resolução CONAMA nº 01/86, é considerado como o conjunto de estudos realizados por equipe multidisciplinar, com dados e atividades técnicas detalhadas, sendo elas:

Diagnóstico Ambiental; Análise/Avaliação dos impactos ambientais; Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos e potencializadoras dos impactos positivos; Elaboração dos programas de acompanhamento e monitoramento dos impactos.

Diante disso, todos esses componentes são considerados essenciais para que se possa definir a identificação prévia dos possíveis impactos ambientais que determinada atividade ou empreendimento poderá gerar no meio ambiente, sendo que esses procedimentos também podem ser realizados em áreas que já se encontram em estágio de degradação, com o objetivo de se recuperar.

O diagnóstico ambiental, de acordo com Souza (2018), pode ser executado em etapas alinhadas com os objetivos dessa ferramenta:

- ✓ Identificar os problemas ambientais adversos que podem ser esperados;
- ✓ Incorporar, nas ações de desenvolvimento, medidas mitigadoras apropriadas;
- ✓ Identificar os benefícios e prejuízos do projeto, bem como sua aceitabilidade pela comunidade;
- ✓ Identificar problemas críticos que requerem estudos ou monitoramento posteriores (auxiliando, dessa forma, nos procedimentos de monitoramento da recuperação ambiental);
- ✓ Examinar e selecionar alternativas ótimas para várias opções viáveis (evita o surgimento de novas áreas degradadas); e
- ✓ Envolver o público no processo de tomada de decisões relativas às questões ambientais, para entender seu papel, suas responsabilidades e as relações existentes entre estas.

A execução de uma AIA segue, de modo geral, as seguintes fases/etapas (SOUZA, 2018):

- ✓ Desenvolvimento de um completo entendimento da ação proposta;
- ✓ Aquisição do conhecimento técnico do ambiente a ser afetado;
- ✓ Determinação dos possíveis impactos sobre as características ambientais, quantificando, quando possível, as mudanças; e
- ✓ Apresentação dos resultados da análise de maneira tal que a ação proposta possa ser utilizada em um processo de decisão.

Em áreas que sofreram a degradação pelas ações antrópicas ou naturais, é fundamental que seja implantado um plano de recuperação ambiental ou de recuperação de áreas degradadas (PRAD). Segundo Souza (2004; 2018):

“[...] a recuperação ambiental é definida como o tratamento de áreas alteradas/perturbadas para criar pseudopaisagens estáveis e condições edáficas para se sustentarem, mediante uso do solo em sua condição predeterminante, exigindo condições mínimas de manutenção. Além disso, as comunidades existentes no local recuperado deverão conviver com essa nova paisagem em harmonia, dentro de uma nova realidade socioeconômica, onde haja maior equidade social: ou seja, propõe-se a recuperação socioambiental, que garantirá, de fato, a autossustentabilidade do ambiente” (SOUZA, 2004; 2018).

## **7. Estudo de caso: comentário sobre a família Kern**

O presente relato descreve uma família da zona rural do município de São Carlos, Sul do Estado de Santa Catarina, a família Kern, que adota práticas agroecológicas para a produção sustentável. Esse conteúdo foi apresentado no programa Globo Rural, no ano de 2018 e se encontra disponível no site G1/globo rural.

Em visita a família Kern, residente em um estado onde por tradição se encontra uma agricultura familiar dinâmica e bons indicadores de desenvolvimento, constatou-se uma realidade privilegiada, caracterizada pelo envolvimento laboral de todos da comunidade. O relacionamento familiar é organizado e, no que diz respeito às questões de plantio e produção, recebe orientações de pessoas qualificadas, por exemplo, um engenheiro agrônomo, um técnico agrícola e uma economista doméstica. O fato é que a assistência técnica faz a diferença nessa comunidade; especificamente para a família Kern, a produção familiar não é apenas uma fonte de renda, mas um jeito de viver e ser

feliz. Têm uma vida cultural ativa, sendo músicos e membros do coral da igreja da cidade.

Seus ancestrais vieram da Alemanha, onde as famílias tradicionalmente produzem seus próprios alimentos; ou seja, a produção alimentar da família é autossuficiente. Os Kern só se dirigem ao supermercado para comprar alguns alimentos: no geral, produzem e vendem seus alimentos de forma sustentável, sem o uso de agrotóxicos (feijão, arroz, milho, mandioca, leite, pomar, horta, galinhas, plantas medicinais, entre outros).

A reportagem exibida no Globo Rural (2018) referente à visita a família Kern afirma:

“Posso afirmar que uma família como a dos Kern, composta por 4 pessoas, que se auxiliam totalmente na produção, residente num clima favorável e com uma renda mensal de R\$ 2.500,00, possui condições favoráveis a uma boa qualidade de vida, pois seus membros estão felizes e satisfeitos com os resultados obtidos com a implementação de práticas agroecológicas, organização e solidariedade no uso sustentável dos recursos naturais. Esta família é um exemplo ser seguido, pois podemos adotar os mesmos objetivos, uma vez que tem todas as ferramentas para serem aplicadas e obter total sucesso, em buscar a sabedoria, o conhecimento de mudança na sua vida familiar, que poderá proporcionar a todos uma relação com os princípios da Ecologia, Agroecologia e Sustentabilidade, mostrando alternativas viáveis para a melhoria da qualidade de vida e da fixação da família no campo”.

O engenheiro agrônomo Paulo Menoncini que assiste a família, falou sobre a água das nascentes: “Essas águas têm as nascentes naturais delas aqui. Em duas delas, eles usam para três famílias e mais o salão da comunidade. Dois poços são protegidos e abastecem as famílias. O remanescente dessa água, a

gente reservou para usar no sistema de irrigação do horto medicinal, no arroz e na horta da família”.

O horto de plantas medicinais ainda não gera renda, mas é uma promessa. São 85 plantas identificadas. Algumas são usadas para alimento, outras para a cura. Todas carregam uma antiga tradição na origem das suas sementes. O horto de plantas medicinais da Zuleica e do Waldemir não é só feito de plantas, mas também de alguns animais, usados para curar algumas doenças. A família Kern recebeu o horto do Movimento de Mulheres Camponesas. As plantas estavam na casa de outra agricultora da comunidade, que se mudou para perto do asfalto e assim a família Kern ganhou essa herança.

As mulheres da região têm uma função fundamental na manutenção das chamadas sementes crioulas, tradicionais. No Encontro das Mulheres Camponesas, elas trocam as sementes e falam da preservação dessa tradição. A agricultora aposentada Nelci Endler falou sobre o encontro. “Essa semente tem que ter continuidade, ela não pode ser desperdiçada porque corremos o risco de perder a nossa semente. Essa semente crioula, que já é patrimônio, nós colhemos, plantamos, cuidamos dessa semente. Ela não precisa de muito cuidado. Ela mesma dá a continuidade da produção”.

A partir deste exemplo, infere-se que a agricultura familiar possui força necessária, independentemente da região onde é praticada, para suportar com dignidade e de forma sustentável as famílias das zonas rurais, permitindo-lhes dispor de todos os recursos naturais, humanos e industriais para desenvolver com sabedoria o seu modo de vida no campo.

Em contrapartida, uma família com poucos recursos e desprovida de qualquer conhecimento, industrial, econômico, tecnológico, educacional, ou seja, sem nenhuma oportunidade de escolha, sua condição aproxima-se da miséria, tendo talvez não mais que o mínimo de alimentos para a sobrevivência. Para essas famílias, talvez a única solução fosse a atuação sistêmica de órgãos governamentais e não-governamentais, para lhes proporcionar uma alternativa de viver com dignidade dentro de suas propriedades.

No Brasil é evidente os desafios que toda organização de extensão rural vinculada ao setor público deve enfrentar para sair de seu imobilismo e transformar-se em instituição dinâmica impulsionadora de um novo enfoque

participativo e agroecológico de desenvolvimento rural. Porém, toda transformação institucional é o produto da transformação interna de seu pessoal e da vontade política e liderança intelectual que propicie as mudanças necessárias.

O Estudo de Caso da Família Kern é um exemplo vivo desta nova concepção da Extensão Rural. A EMATER/SC tem sabido aproveitar o momento histórico privilegiado pelo qual atravessa o estado, e tem sabido definir sua missão histórica dando à agricultura familiar um papel de protagonista no desenvolvimento sustentável da região. A criação de parcerias estratégicas com organizações de agricultores, ONGs, Universidades e certos setores progressistas do mundo privado tem sido a chave para mobilizar todos os recursos humanos e materiais necessários para a tarefa, que nenhuma organização por si mesma poderia assumir.

Portanto, afirma-se que o conhecimento é a informação que você conquista, enquanto a sabedoria consiste em incorporar em si mesmo o conhecimento e transmiti-lo para quem está ao redor da melhor forma possível. A lição que pode ser deixada para as próximas gerações e a mudança que querem ver está nos reflexos de suas escolhas e ações diante da “sabedoria” e em lidar com cada situação e modo de vida.

## **8. Considerações finais**

É grave a falta de saneamento básico no Brasil, principalmente nas áreas rurais, deixando as localidades sem serviços de coleta de esgoto e tratamento de água, contaminando o solo e causando grandes riscos à saúde e vida dos residentes nesses locais. A população das zonas rurais merece o comprometimento do poder público, independentemente da esfera, cabendo-lhes propor soluções para estas áreas. O saneamento básico é parte fundamental para garantir a qualidade de vida das pessoas, prevenir doenças, conservar e manter a limpeza dos ambientes, evitando o descarte inadequado. Portanto, é de extrema importância que políticas públicas sejam desenvolvidas, para ofertar, principalmente, os sistemas de esgoto sanitário e de água potável para toda população. De forma eficaz deve atuar na sensibilização da população com os problemas relacionados ao descarte incorreto de resíduos,

deixando claros os danos causados ao meio ambiente, pois somente dessa forma esse cenário brasileiro será revertido.

Os representantes da Organização das Nações Unidas reuniram-se e comprometeram-se a tomar medidas transformadoras para promover o desenvolvimento sustentável no âmbito mundial, sendo criada a Agenda 2030 que é um plano de ação que apresentam objetivos e metas que busca fortalecer a paz universal e a erradicação da pobreza em todas as suas dimensões, sendo este um desafio global e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável.

A agroecologia é umas das alternativas que irá contribuir para o novo sistema produtivo, por ser um modelo de produção juntamente com outros sistemas de produção que visam a conservação e a preservação do meio ambiente, que precisam ser implementados de forma célere: para que se faça presente na “Quarta Revolução Industrial” - essa revolução será marcada pela convergência de tecnologias digitais, físicas e biológicas.

A agroecologia se encaixa perfeitamente nesse novo modelo produtivo, por meio de uma agricultura sustentável e eficiente, aproveitando dos ciclos biológicos e tecnologias para ampliar a produção de alimentos. É importante salientar que a recuperação e a melhoria da biodiversidade, com a diversificação dos cultivos, contribuem para garantir a segurança alimentar às famílias, a geração de renda, e a valorização da paisagem entre outras características. Tudo isso agrega na recuperação de matas ciliares e de outras áreas de preservação permanente, dentro de uma propriedade, promove o enriquecimento da biodiversidade e o equilíbrio biológico e valoriza a região.

Contudo, apesar da divulgação existente em relação à degradação ambiental e impactos ambientais, muito ainda deve ser feito para sensibilizar a população para que os danos causados ao meio ambiente sejam mitigados, para que o ser humano aprenda a viver em equilíbrio com o meio ambiente. Somente por meio de práticas ambientais corretivas, por meio de estudos, diagnóstico bem executado, de alternativas e propostas que possam vir mitigar, eliminar ou até mesmo compensar, ou melhor, recuperar parte destes impactos negativos gerados no país e no mundo pelo homem, assim alavancar rumo ao desenvolvimento agroecológico e totalmente sustentável.

## 9. Referências bibliográficas

ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**/Miguel Altieri. 3. ed. rev. e aum. – São Paulo. Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA 2012.

AGENDA 2030. **Plataforma Agenda 2030 - Acelerando as transformações para a Agenda 2030 no Brasil**. 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/>. Acesso em: 26 abr. 2021.

BARROS, R. P.; HENRIQUES, R.; MENDONÇA, R. Desigualdade e pobreza no Brasil: retrato de uma estabilidade inaceitável. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 15, n. 42, p. 123-142, 2000.

BARROS, R. T. V. *et al.* **Saneamento**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. (Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios – volume 2).

BITAR, O. Y.; ORTEGA, R. D. Gestão Ambiental. *In*: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 32, p. 499-508.

BRASIL. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/Ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/Leis/L6938.htm). Acesso em: 12 out. 2020.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 1**, de 23 de janeiro de 1986. Norma Federal - Publicado no Diário Oficial em 17 de fevereiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em [https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-1-1986\\_94898.html](https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-1-1986_94898.html). Acesso em: 05 out. 2020.

CAFÉ SOMBRA DA MATA. **Café sombreado**. Disponível em: <https://www.facebook.com/Café-Sombra-da-Mata-983633041760431>. Acesso em: 18 maio 2021.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia e extensão rural: contribuições para a promoção do desenvolvimento rural sustentável**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2004. 177 p.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia: enfoque científico e estratégico. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, n. 2, p.13-16, 2002a.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Análise multidimensional da sustentabilidade: uma proposta metodológica a partir da Agroecologia. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n.3, p. 70-85, 2002b.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Segurança alimentar e agricultura sustentável: uma perspectiva agroecológica. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 1, n. 27, p.153-165, 2003.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A.; PAULUS, G. Agroecologia: matriz disciplinar ou novo paradigma para o desenvolvimento rural sustentável. *In*: III Congresso Brasileiro de Agroecologia, Florianópolis, Brasil, **Anais...** Brasília (DF). Abril de 2006.

CAPRA, F. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. 11 ed. São Paulo: Cultrix, 1996.

CASTRO, J. **Geografia da fome**: o dilema brasileiro - pão ou aço. Rio de Janeiro: Edições Antares, 1984.

FIGUEIREDO, I. C. S.; SANTOS, B. S. C. dos.; TONETTI, A. L. **Tratamento de esgoto na zona rural**: fossa verde e círculo de bananeiras. Biblioteca Unicamp. Campinas, v. 1, p. 32, 2018. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2017/11/Fossa-Verde-e-C%C3%ADrculo-de-Bananeiras-UNICAMP.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.

FUNASA. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Sistema de esgotamento sanitário**. 2017a. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/sistema-de-egotamento-sanitario>. Acesso em: 10 out. 2020.

FUNASA. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Panorama do saneamento rural no Brasil**. 2017b. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/panorama-do-saneamento-rural-no-brasil>. Acesso em: 10 out. 2020.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2001, 653p.

GLOBO RURAL. **Família de agricultores de SC produz quase tudo o que consome**. 2018. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/agronegocios/globo-rural/noticia/2018/03/familia-de-agricultores-de-sc-produz-quase-tudo-o-que-consome.html>. Acesso em: 26 abr. 2021.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Saneamento básico**. 2007. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>. Acesso em: 01 out. 2020.

HUNDLEY, G. C. **Aquaponia**: uma experiência com tilápia (*Oreochromis niloticus*), manjerição (*Ocimum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de recirculação de água e nutrientes. 2013. 57 f., il. Monografia (Bacharelado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; MASCIA, D. L. V.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T. **Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais**: Como conciliar conservação com produção. Opções para Cerrado e Caatinga. Brasília: ISPN/ICRAF, 2016, 266p.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - UN General Assembly. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**, A/RES/70/1, Nova York, 2015.

PADOVAN, M. P.; CAMPOLIN, A. I. **Caminhos para mudanças de processos e práticas rumo à agroecologia**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011, 51p.

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. 2010. 36 f. Monografia de Especialização em Análise Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil, 2010.

SOUSA, A. C. M.; BOCARDI, M. I. B.; CARDOSO, T. L. Hábitos de vida como fator desencadeante a parasitoses intestinais. **Ideias e Inovação-Lato Sensu**, v. 2, n. 2, p. 77-92, 2015.

SOUSA, C. A.; CUNHA, G. H. M.; SOUZA JUNIOR, C. V. N. Pobreza no Brasil nos primórdios do século XXI: uma resenha da literatura, **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, 2018.

SOUZA, M. N. **Degradação antrópica e procedimentos de recuperação ambiental**. Novas Edições Acadêmicas/SIA OmniScriptum Publishing: Brivibas gatve 197, LV-1039, Riga, Letônia, União Europeia, 2018. 364 p.

SOUZA, M. N. **Degradação e Recuperação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 371 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SOUZA, M. N. **Elaboração e avaliação de projetos socioambientais**. Brasília: MEC/SETEC, 2014, v. 5000. 98 p.

SOUZA, M. N.; MANTOVANI, E. C.; ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G.; SANCHEZ ROMAN, R. M.; SOUZA, M. A. A. S. Dynamic systems and the modeling with the use STELLA. **ACADEMIC JOURNALS DATABASE**, v.4, p. 23-37, 2014.

SOUZA, M. N. **Mudanças do uso do solo e da água e a gestão dos recursos naturais**. Novas Edições Acadêmicas/SIA OmniScriptum Publishing: Brivibas gatve 197, LV-1039, Riga, Letônia, União Europeia, 2015. 376 p.

VAZ, B. **Qual a relação entre saneamento e agroecologia?** 2017. Disponível em: <https://saudecampofloresta.unb.br/qual-a-relacao-entre-saneamento-e-agroecologia/>. Acesso em: 14 out. 2020.

## **Autores**

Simone Wellita Simão de Carvalho, Euliene Pereira Henrique, João Sávio Monção Figueiredo, Maurício Novaes Souza, Marina Pereira Ribeiro Sardinha, Priscilla Moreira Curtis Peixoto, Tamyres Sanglard da Fonseca, Geisa Corrêa Louback, Marcus Vinicius Dutra de Magalhães, Stephan Lopes Carvalho

Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre. Caixa Postal 47, CEP: 29500- 000, Alegre-ES, Brasil.

\* Autor para correspondência: [mauricios.novaes@ifes.edu.br](mailto:mauricios.novaes@ifes.edu.br)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas últimas décadas, os processos impactantes com seus efeitos ambientais degradatórios, intensificaram-se de forma insustentável para a capacidade de suporte da Terra. Tais processos de degradação se devem, parcialmente, ao elevado grau de aceleração da tecnologia transformadora desenvolvida pelo homem, além da forma como vem sendo empregada ao interferir direta e indiretamente sobre os recursos naturais, renováveis ou não renováveis, com destaque para os combustíveis fósseis.

Soma-se a essa realidade, o crescimento demográfico concentrado especialmente nos centros urbanos, que atua radicalmente sobre os recursos naturais - limitados frente ao modelo de desenvolvimento que requer uma demanda ilimitada para a produção de alimentos, energia e bens de consumo. O crescimento desordenado do binômio população/consumo propicia a produção de resíduos tóxicos e elementos residuais não degradáveis ou degradáveis ao longo de centenas de anos. O passivo ambiental ou o depauperamento dos recursos ambientais geram danos irreparáveis: seja no esgotamento e perdas dos solos, da água, diversidade de plantas e animais, ou mesmo na descaracterização da paisagem e dos elementos que a compõe.

O desflorestamento e as mudanças de uso do solo, o aquecimento global e as mudanças climáticas, o uso abusivo de agroquímicos, a produção crescente de efluentes agroindustriais e urbanos, a ausência de saneamento básico, a escassez de água potável e os custos com o tratamento daquelas cada vez mais poluídas, são preocupações recentes. Agravam-se quando somados às desigualdades sociais, em particular nos países ou regiões subdesenvolvidas, onde desencadeiam situações extremas de descuido ou falta de informações, dentre outras causas, devido aos altos índices de analfabetismo, que sobrepõem e dificultam medidas de controle, execuções de programas e recuperação dos recursos ambientais: nos países mais ricos e educados, programas de recuperação obtêm adesão e sucesso de forma célere.

Assim, verifica-se nos dias atuais, que apenas quando o nível de degradação ambiental atingiu níveis alarmantes, o *Homo sapiens* começou a

tomar consciência da necessidade da preservação e, ou, conservação das condições ambientais do nosso planeta. Tal procedimento se deve ao fato dos processos de degradação ser acumulativos: destaque às últimas décadas, requerendo da sociedade, cuidados e atenção com o meio ambiente, que possibilitaram a criação de instrumentos e mecanismos de sua proteção por meio da prevenção, recuperação ou reabilitação, bem como dos ecossistemas ameaçados ou degradados pela ação antrópica.

Contudo, há de se considerar, quando o foco objetiva proteção, a noção de meio ambiente é muito ampla, abrangendo todos os bens naturais e culturais de valor para a sociedade. Alguns destes são detentores de mecanismos técnicos e legais que os protegem, tais como o solo, a água, o ar, a flora e a fauna, os elementos de belezas naturais e artificiais, como o patrimônio histórico, artístico e paisagístico, elementos arqueológicos e espeleológicos, sendo o homem, entretanto, o elemento central.

A legislação brasileira é rica e bem construída: apesar de sua aplicabilidade se dar por meio de um processo lento, por questões diversas (culturais e políticas), vem se tornando evidente o crescimento aos aspectos e às causas ambientais: pelos órgãos governamentais e pelos empresários, urbanos e rurais, com a cobrança e o apoio da sociedade.

Assim, as empresas urbanas e rurais, dentro dessa nova visão, devem realizar o planejamento ambiental para estabelecer os seus principais aspectos e diretrizes; ou seja, todos os fatores que direta ou indiretamente afetam ou possam afetar o meio ambiente, tais como a produção de resíduos sólidos, de efluentes líquidos, gasosos, consumo de energia e de água, devem ser abordados na implantação e, ou, na operação das empresas.

Com o surgimento e crescimento dos princípios propostos pela filosofia do “Desenvolvimento Sustentável”, surgem, no início dos anos da década de 1970, como ferramenta de auxílio à solução dessas questões tão polêmicas e alarmantes, na tentativa de conciliar os interesses econômicos aos socioambientais, os conceitos de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) - ganham espaço legal e institucional tais procedimentos: os Estudos de Impactos Ambientais e o Licenciamento Ambiental das atividades com potencial degradador.

Cabe considerar que os aspectos ambientais a serem avaliados se referem a um ou mais elementos das atividades, produtos ou serviços, que podem influir no meio ambiente, provocando impactos ambientais. Portanto, para iniciar o processo de implantação de um empreendimento é importante avaliar, além dos componentes do processo produtivo ou atividades prestadoras de serviços, os aspectos ambientais relacionados à mesma, tais como: a) características ambientais do local de implantação do projeto; b) recursos naturais utilizados; c) forma de utilização destes recursos; d) etapas do processo de produção ou das atividades geradoras de resíduos; e) tipos de resíduos gerados e a sua devida destinação; f) consumo de água; e g) consumo de energia.

Assim sendo, propõem-se passos para a inserção da variável ambiental na fase de implantação das empresas, sendo a primeira a Localização do empreendimento e a sua área de influência - devem-se analisar previamente as condições ambientais do local de instalação do empreendimento, avaliando: o histórico de ocupação da área, a qualidade do ar, dados meteorológicos da área (índices pluviométricos, direção e velocidades dos ventos), o balanço hídrico (necessário para alguns projetos, especialmente os agrícolas), a bacia hidrográfica em que está localizado e a qualidade ambiental da mesma, o zoneamento urbano e rural (caso de Unidades de Conservação), entre outros; caso se aplique ao tipo de empreendimento proposto. Deve-se neste quesito destacar, especialmente a situação da vizinhança, potencialmente afetada pelo empreendimento.

Além disso, é fundamental descrever a infraestrutura existente no local, especialmente a existência de saneamento (rede de esgoto e abastecimento de água) e energia. A análise ambiental da localização deve orientar o licenciamento ambiental prévio do empreendimento, sendo importante quesito para aprovar a viabilidade do projeto da empresa.

É importante mencionar, que deverá ser observada com extrema cautela a existência ou não de áreas naturais protegidas e de mananciais, tais como as Áreas de Proteção Permanente (APP), que geralmente inviabilizam a execução de empreendimentos de risco ambiental. Ainda, cabem ressaltar a necessidade de se conhecer o histórico de uso das áreas escolhidas, observando, especialmente, a existência de passivos ambientais de outras atividades

anteriormente usuárias da área, pois caso contrário estar-se-á assumindo ônus ambientais de terceiros.

Essas questões, tão amplas, exigem que se tenham uma visão holística da paisagem e conhecimentos técnicos profundos. É sabido que quanto mais são pesquisadas as questões ambientais, maior a consciência que se passa a ter de que elas não podem ser compreendidas isoladamente, posto serem sistêmicas, interconectadas e interdependentes. Grande parte dos problemas hoje existentes está associada ao descaso e desconhecimento humano de entender e controlar sistemas cada vez mais complexos.

No pensamento sistêmico, o princípio da interdependência demanda que mudanças em qualquer um dos componentes de determinado sistema, direta ou indiretamente, estão associadas ou afetarão os demais componentes. Por este motivo, as informações existentes dentro desse sistema, provocam a sua retroalimentação interna e nas suas relações com o meio no qual está inserida, podendo alcançar as mudanças desejáveis propostas, ou mostrar o direcionamento necessário para que lacunas diagnosticadas dentro do atual modelo sejam alteradas, atingindo, assim, os resultados esperados.

Devem ser considerados, também, os contextos político e socioeconômico, bem como as suas principais inter-relações onde o setor em estudo está inserido. Dessa forma, na maior parte do tempo, tais esquemas intervêm na parte introdutória dos relatórios de pesquisa e corresponde à fase de diagnóstico da situação do objeto de pesquisa, aquela onde se torna precisa a definição concentrada das principais questões a serem estudadas.

O fato é que a situação brasileira caminhava para a busca do estabelecimento de “novos marcos” na área ambiental: uma boa legislação e o início de sua efetividade. No entanto, neste segundo ano da administração de Jair Bolsonaro, observou-se na área ambiental o aprofundamento de medidas adotadas a partir de 2019 para eliminar regulamentações, por um lado; e, por outro, abdicar da gestão ambiental.

A célebre intervenção do ministro Ricardo Salles na reunião ministerial de 22 de abril de 2020, onde o incoerente Ministro Salles demonstra tal comportamento dia-a-dia: passando a boiada! Ao mesmo tempo em que desmonta a governança ambiental construída desde a Constituição de 1988, o governo se recusa a fazer política pública, como ficou evidenciado neste início

de 2021, pelos números da execução orçamentária do Ministério do Meio Ambiente: vivem-se um retrocesso na área ambiental, infelizmente!

Apesar desse descaso, é sabido nos dias atuais, que ultrapassada a escala ótima de produção e não respeitada a capacidade de suporte dos ecossistemas, o crescimento torna-se desconexo no curto prazo, posto impossível sê-lo mantido no longo prazo. Desta forma, é necessário legitimar as demandas da sociedade relativas à obtenção de informações completas sobre a tecnologia a ser utilizada num processo produtivo ou de serviços, bem como os riscos associados à saúde, à segurança e ao meio ambiente que eles acarretam. É necessário fortalecer a base legal necessária ao manejo e aproveitamento dos recursos naturais, em especial ao solo e ao uso das águas e conservação dos mananciais.

Para isso é preciso que sejam estabelecidos horizontes de tempo: a) no curto prazo, são necessárias ações que busquem uma melhoria do processo de vigilância, em especial no que se refere aos métodos utilizados e aos procedimentos técnicos de controle e monitoramento; e b) no médio prazo, é necessário estabelecer uma melhoria sensível na capacitação dos Recursos Humanos para que se tenha competência técnica capaz de minimizar os riscos da tecnologia, possibilitando o autocontrole e a certificação dos processos e a construção de bancos de dados capazes de garantir a confiabilidade das operações; e c) no longo prazo, é necessário que as medidas que darão o respaldo à sustentabilidade tenham continuidade, independente da inércia governamental atual, como a educação ambiental nas escolas e universidades, fundamentada na ética e que tenha por objetivo a formação política dos agentes indutores e realizadores do futuro, sejam mantidas e constantemente revistas e atualizadas.

Portanto, as políticas públicas e organizacionais devem estimular a criação de alternativas educacionais, bem como a disponibilidade de acesso a sistemas de informação e certificação, tornando mais seguras as tecnologias utilizadas, onde exista uma maior harmonia entre os ciclos produtivos e os ciclos naturais. Considerando nosso planeta como um ativo do qual se pode apenas utilizar os benefícios de seu “bom manejo”, sem comprometer as oportunidades para as gerações futuras, pode tornar-se possível o desenvolvimento sustentável.

Encontrar soluções tecnológicas capazes de produzir desta forma, sem a geração de degradação, é o grande desafio das empresas e da sociedade como um todo. No meio rural, a “Agroecologia” com seus processos produtivos, que considera os aspectos legais, sociais e ambientais, por meio de suas práticas conservacionistas, pode contribuir significativamente para que se atinjam tais objetivos.

O objetivo deste livro foi o de apresentar Estudos de Casos que apontassem propostas no sentido de contribuir para o estabelecimento do “Desenvolvimento Rural Sustentável”.

Professor Maurício Novaes Souza  
Guarapari, junho de 2021.

