
Impactos e externalidades ambientais negativos das atividades agropecuárias

Maurício Novaes Souza, Gilmara da Silva Rangel, Luana Soares Egidio, João Sávio Monção Figueiredo, Sandra Regina dos Santos Moreira de Oliveira, Taís Neves Calabianqui

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-23-7.c2>

Resumo

Em busca de ampliar a produção agropecuária, têm sido exploradas novas regiões e realizadas tecnologias, como nas áreas ao redor do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. O desenvolvimento do setor também é influenciado por políticas nacionais e tendências políticas globais. Compreender a situação atual do setor e antecipar possíveis cenários futuros é essencial para alcançar os resultados desejados. O agronegócio desempenha um papel vital na economia brasileira, contribuindo com 34% do Produto Interno Bruto (PIB), 42% das exportações e 37% dos empregos do país. Entre 1998 e 2003, o PIB do setor agropecuário cresceu a uma taxa anual de 4,67%. Em 2023, encerrou o ano com um crescimento de 2,9%, totalizando R\$ 10,9 trilhões. De 2022 para 2023, cresceu 15,1%, exercendo impacto significativo sobre o desempenho geral do PIB do país. Diversos fatores impulsionam o crescimento do setor agropecuário no Brasil, incluindo a reestruturação da pesquisa agropecuária com a criação da Embrapa, e o fortalecimento das instituições estaduais de pesquisa, universidades, institutos e sistemas de assistência técnica e extensão rural. Investimentos na capacitação de pesquisadores e adoção de tecnologias contribuíram para posicionar o Brasil como um dos principais produtores mundiais de diversos produtos agrícolas. No entanto, há desafios e impactos e externalidades ambientais negativos associados a essa atividade, como desmatamento, uso excessivo de agroquímicos, cultivo de espécies transgênicas ou exóticas e manejo inadequado da irrigação. Enfrentar esses desafios ambientais e integrar os pequenos e médios produtores, que enfrentam dificuldades para acessar os avanços da pesquisa agropecuária, são questões críticas que exigem atenção. A agroecologia pode ser uma alternativa viável e eficaz para promover sistemas agropecuários mais sustentáveis e resilientes.

Palavras-chave: Impactos e externalidades ambientais negativos. Pesquisa. Inovação tecnológica. Inserção dos produtores familiares.

1. Introdução

A modernização da agricultura baseada nos princípios da “Revolução Verde”, iniciada nos anos da década de 1960, tem desempenhado a função de fornecer alimentos para uma população em expansão, com a inovação tecnológica sendo uma dos principais focos. No entanto, apesar desses avanços, ainda persistem desafios significativos no acesso aos alimentos (Campagnolla, 2022). A Revolução Verde representa uma transformação fundamental na agricultura, introduzindo o uso de fertilizantes químicos, irrigação, maquinário, pesticidas e sementes geneticamente aprimoradas, com o objetivo de aumentar a produtividade (Hazell, 2009; Ameen; Raza, 2017; Souza, 2023; Effgen *et al.*, 2024; Malaquias *et al.*, 2024; Moreira *et al.*, 2024).

No Brasil, a manifestação dessa dinâmica de transformação, envolveu um conjunto integrado de políticas, tais como: a) a renovação nos currículos das principais escolas agrônômicas; b) a criação do “Sistema Nacional de Crédito” em 1966, intenso até os anos 1990, inclusive com subsídios mal administrados; c) o estímulo à transformação da grande propriedade em grande empresa, com o crescimento da mecanização em detrimento da permanência de famílias de baixa renda no campo; e d) o desinteresse pelo modelo familiar, que ficou praticamente excluído até recentemente, do crédito e da assistência técnica (Pádua, 2003; Souza, 2023).

A consequência foi o êxodo rural, proveniente principalmente do favorecimento excessivo a algumas regiões específicas. Apesar de existirem variações dentro de cada modelo de produção e de desenvolvimento, com inúmeras formas intermediárias entre eles, dois podem caracterizar e analisar as atividades agropecuárias, em nível mundial (Weid, 1996): a) modelo tradicional ou familiar; e b) modelo convencional ou agroquímico.

Wise (2021) destaca que o modelo aplicado na Revolução Verde, também não têm obtido resultados positivos no continente africano, destacando os seguintes fatores:

- ✓ A produtividade dos alimentos básicos não cresceu significativamente de maneira rápida, apesar do alto custo dos investimentos em tecnologias intensivas em capital;

- ✓ O sucesso moderado em um cultivo prioritário, a exemplo do trigo na Índia e milho na África, ocorreu a expensas do crescimento sustentado da produtividade em outros cultivos alimentícios importantes;
- ✓ Os subsídios e outros incentivos têm incorporado mais áreas com cultivos prioritários, incentivando a intensificação com impactos ambientais negativos no uso da terra;
- ✓ A fertilidade do solo tem diminuído como resultado da extração de nutrientes por monocultivos prioritários, sendo estes supridos por fertilizantes inorgânicos com pouca atenção à saúde geral do solo (Figura 1);
- ✓ O alto custo dos insumos muitas vezes excede o retorno financeiro que o agricultor tem com o aumento na produtividade, deixando muitos endividados.



Figura 1. Pastagem degradada próxima à expansão de área urbana, Aimorés, MG. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2017.

O principal problema e limitação desse modelo residem na diminuição da biodiversidade, o que torna a produção altamente dependente de fatores externos ao sistema agropecuário em si. Isso inclui a produção de sementes em laboratórios, o uso de fertilizantes de origem mineral processados industrialmente, a dependência de defensivos agrícolas provenientes de

indústrias químicas, a utilização de energia de fontes fósseis e a alta dependência de equipamentos com alto consumo energético, exigindo investimentos significativos e sujeitos a tributação por parte de sistemas financeiros (Weid, 1996; Souza, 2023; 2024).

Outra característica desse modelo é a concentração de propriedades e a redução dos postos de trabalho no campo. Seu principal sucesso é o aumento significativo da produtividade, o que resulta diretamente em segurança alimentar e redução dos preços dos produtos agropecuários (Alves; Contini, 1987; Weid, 1997; Alves, 2001; Santo, 2004). Esse modelo é predominante nos países desenvolvidos e emergentes, enquanto o modelo familiar prevalece nos países periféricos, onde 1,4 bilhão de pessoas dependem desse sistema para sobreviver. De acordo com outras estimativas, 80% das terras cultivadas em todo o mundo adotam o sistema tradicional (Weid, 1996).

O interesse pelo modelo convencional está concentrado em áreas de maior fertilidade, que já estão praticamente ocupadas. Observa-se uma desaceleração significativa na expansão das áreas cultivadas dentro do modelo agroquímico, sem ganhos substanciais em produtividade. Vários fatores dificultam o aperfeiçoamento da produtividade, incluindo as diferenças entre as condições reais e as controladas em situações de pesquisa, limitações econômicas que freiam o uso de opções tecnológicas disponíveis e as reações ambientais que levantam dúvidas sobre a eficácia dessas opções (*ibidem*).

A sustentabilidade do modelo agroquímico, além dos pontos já discutidos, pode ser questionada por três motivos principais (Weid, 1996; Malaquias *et al.*, 2024):

- ✓ A tendência de esgotamento da matriz energética;
- ✓ O horizonte reduzido de durabilidade de minerais essenciais, como o fósforo e o potássio;
- ✓ Os altos custos unitários dos insumos de produção.

Além desses fatores, os impactos ambientais provocados pelo modelo agroquímico são diversos, incluindo erosão do solo, poluição e assoreamento dos corpos d'água, desequilíbrio nas cadeias naturais, eclosão de novas pragas e doenças, chuvas ácidas, destruição da camada de ozônio e aumento dos

gases de efeito estufa, bem como a destruição das florestas e da biodiversidade de espécies da fauna e da flora. Essa perda de diversidade torna o modelo agroquímico cada vez mais vulnerável e, portanto, insustentável no longo prazo (Weid, 1996; Amador, 1999; Effgen *et al.*, 2024; Malaquias *et al.*, 2024).

A crescente concentração da produção em torno de uma única cultura, característica do modelo agroquímico, cria e continuará criando problemas econômicos, sociais e ambientais (Figura 2). Diante dessas questões, a extensão e a pesquisa têm se voltado cada vez mais para duas preocupações principais (Malaquias *et al.*, 2024; Souza, 2024):

- ✓ Intensificação do uso do solo nas terras já ocupadas, especialmente nas de agricultura e pecuária;
- ✓ Desenvolvimento de fontes de geração de renda em sistemas baseados na conservação dos recursos naturais.



Figura 2. Extensas áreas de monocultivo de pastagens degradadas com ausências de práticas conservacionistas, Aimorés, MG. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2017.

É necessário o desenvolvimento de um modelo capaz de ser produtivo, respeitando os recursos naturais, gerando emprego e renda com equidade social. Na visão de Altieri (1999), esse modelo deve aprimorar:

- ✓ A disponibilidade e o equilíbrio do fluxo de nutrientes;
- ✓ A proteção e conservação da superfície do solo;

- ✓ A utilização eficiente dos recursos água, luz e solo;
- ✓ A manutenção de um nível alto de fitomassa total e residual;
- ✓ A exploração da adaptabilidade, diversidade e complementaridade no uso de recursos genéticos animais e vegetais;
- ✓ A preservação e integração da biodiversidade.

Por essas razões, os problemas decorrentes da adoção de pacotes tecnológicos nem sempre adequados às características do ambiente têm chamado a atenção para o modelo familiar.

Diversos são os impactos gerados pelas atividades agrícolas. Alguns serão destacados, como a erosão, a contaminação por agroquímicos, a irrigação e a invasão por espécies exóticas, juntamente com algumas medidas mitigadoras e, ou, recuperadoras.

2. Erosão: importância e prevenção

A degradação do solo, incluindo a perda de fertilidade e a erosão, é um problema decorrente do monocultivo e de práticas inadequadas na agropecuária. No Brasil, ao contrário de países do Hemisfério Norte, a maioria do rebanho bovino é criada em pastagens naturais, representando 95% do total (Figura 3).

No entanto, o superpastejo e o manejo inadequado levam à degradação dessas pastagens. Em 2017, de acordo com dados do IBGE, cerca de 58 milhões de hectares, ou 37% do total de 158 milhões de hectares de pastagens, estavam degradados em algum grau (Silva, 2019).

A erosão dos solos é o principal meio pelo qual os fertilizantes fosfatados são transportados até os mananciais (Campagnolla, 2022). De acordo com Marques (2004), a erosão do solo pode ser: a) natural/geológica; ou b) acelerada, como resultado de processos antrópicos. O uso do solo pelo homem seja por meio da agricultura, pecuária ou outras atividades, representam fator decisivo de aceleração dos processos erosivos (Quadro 1).



Figura 3. Extensas áreas de monocultivo de pastagens degradadas com ausências de práticas conservacionistas, Aimorés, MG. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2017.

Quadro 1. Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão (médias ponderadas para três tipos de solo do Estado de São Paulo)

Tipo de uso	Perdas	
	Solo (ton ha ⁻¹)	Água (% de chuva)
Mata	0,004	0,7
Pastagem	0,4	0,7
Cafezal	0,9	1,1
Algodoeiro	26,6	7,2

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 1985.

Portanto, é fundamental considerar as atividades realizadas fora do ecossistema aquático, especialmente aquelas que causam erosão, contribuindo para o assoreamento e o transporte de substâncias químicas para os corpos d'água. Isso é particularmente importante sob a perspectiva das bacias hidrográficas, pois estas refletem o uso da terra e sua dinâmica, levando em conta as dimensões temporal e espacial (Allan, 1997; Souza, 2015; Effgen *et al.*, 2024; Moreira *et al.*, 2024).

De acordo com esses autores, além da CETESB (2002), o deslocamento de partículas de sedimento de maior diâmetro (como areia média e grossa) tem um efeito erosivo significativo ao longo de seu percurso. Ao mesmo tempo, as frações granulométricas de argila e silte são as mais relevantes nas discussões sobre a contaminação de sedimentos por substâncias químicas: devido ao seu tamanho menor, elas têm um maior potencial de adsorção de metais. Além disso, áreas há muito tempo contaminadas por acumulação de mercúrio nos sedimentos podem ser liberadas para a coluna d'água devido a atividades que alteram o leito dos canais, como a mineração de areia.

Na bacia do rio Paracatu, observou-se uma deterioração significativa do Índice de Qualidade das Águas (IQA) durante os períodos chuvosos, o que fortalece a teoria relacionada à erosão, como evidenciado nas Figuras 4 e 5. Nesta bacia, duas estações de monitoramento se destacam: PT001 e PT005, localizadas no rio Preto e no córrego Rico, respectivamente. Os resultados dos principais parâmetros envolvidos no cálculo do IQA, como coliformes fecais, turbidez e fósforo total, indicaram comprometimento da qualidade da água, refletido na média final do IQA (IGAM, 2005).

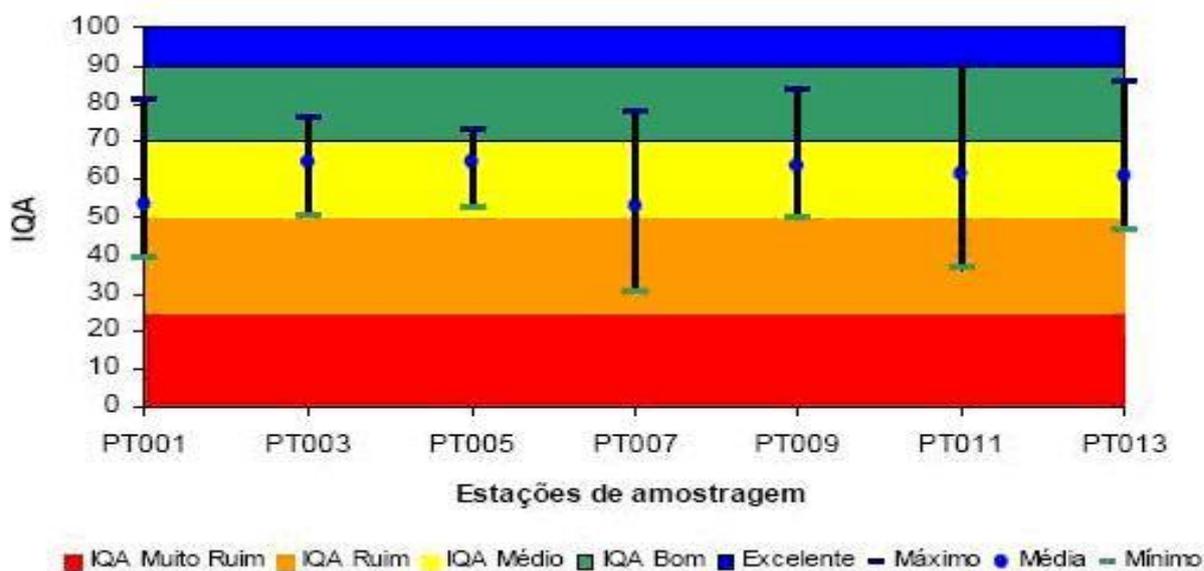


Figura 4. Resultado do IQA na bacia do rio Paracatu no “Período Chuvoso” (1997-2004). Fonte: IGAM, 2005.

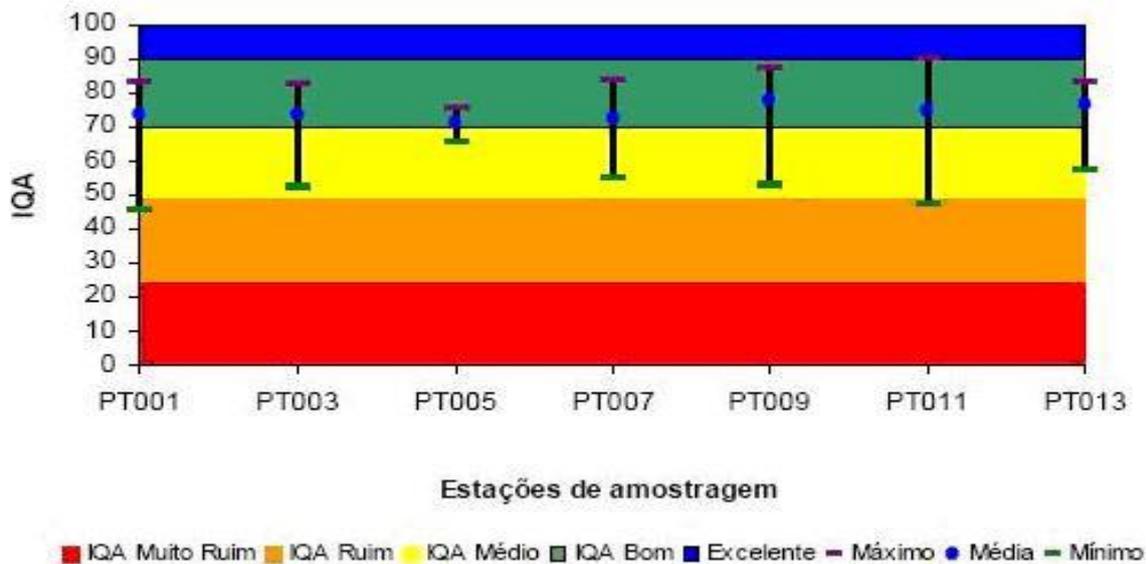


Figura 5. Resultado do IQA na bacia do rio Paracatu no “Período Seco” (1997-2004). Fonte: IGAM, 2005.

Na prática, todas as atividades agropecuárias e florestais, principalmente aquelas que se utiliza de mecanização intensiva, promovem a degradação física, química e biológica do solo, interferindo diretamente na quantidade e na qualidade da água produzida. Pode-se afirmar que a erosão do solo é o perigo ambiental mais preocupante da atualidade, implicando, principalmente, na degradação do solo e da água com diversos impactos e externalidades socioambientais negativos.

3. Impactos provocados por agroquímicos e metais pesados

O uso de agrotóxicos pode ser identificado como um dos principais fatores na redução da biodiversidade entre as práticas de produção agropecuária. Como resultado, observa-se o surgimento de novas pragas ou um aumento na resistência das já existentes, o que demanda doses mais intensivas a cada aplicação para seu controle, resultando em maiores danos ambientais.

O uso excessivo de agrotóxicos acarreta em perdas de recursos, uma produção não otimizada e pode gerar impactos ambientais significativos. Inicialmente, esses impactos podem ser de natureza física, como o desmatamento decorrente da atividade agropecuária. Em seguida, surgem os impactos de natureza química, como o processo de eutrofização. A irrigação,

quando realizada em regiões onde os níveis de metais presentes nas águas excedem os limites permitidos, juntamente com a erosão e o escoamento superficial agrícola, facilita a entrada de maiores quantidades de compostos químicos nos ecossistemas aquáticos (Figura 6).

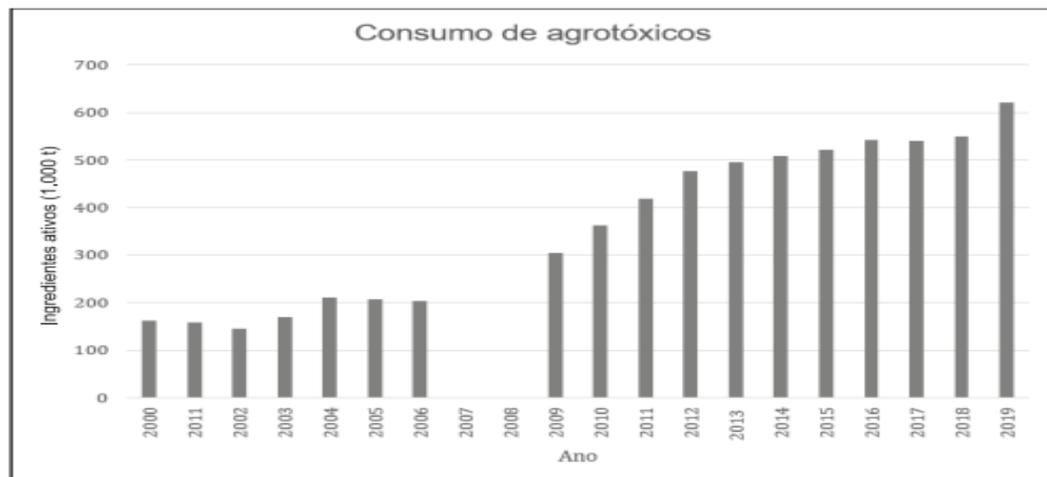


Figura 6. Quantidade comercializada de ingredientes ativos de agrotóxicos, por ano, em mil toneladas, no Brasil, no período 2000/2019. Fonte: Elaborado a partir de IBAMA, 2021.

Assim, ocorre uma modificação no estado trófico das águas, com potencial contaminação do lençol freático, tornando-as inadequadas para consumo e causando efeitos prejudiciais à vida aquática. Além disso, esse processo torna-se um meio de disseminação dos contaminantes metálicos do meio aquático para os alimentos, reintroduzindo esses compostos na dieta humana, com consequências negativas tanto em termos ecológicos quanto de saúde pública. Segundo a literatura, alguns metais apresentam concentrações que não são adequadas para a preservação da vida aquática, como o cobre (derivado do uso excessivo de sulfato de cobre) e o zinco, especialmente em águas de nascentes, onde suas concentrações podem ser suficientes para causar toxicidade crônica em peixes (Brigante *et al.*, 2003c; 2003d).

Os metais pesados são elementos com densidade maior que 5 g cm^{-3} ou com número atômico superior a 20. Eles abrangem 40 elementos químicos com características toxicológicas e efeitos específicos, seguindo uma ordem decrescente de toxicidade: Hg, Ag, Cu, Cd, Zn, Pb, Cr, Ni, Co, entre outros

(Malavolta, 1994). Os níveis de tolerância para metais pesados no solo podem variar dependendo das condições, como características edafoclimáticas ou até mesmo a rigidez da legislação, que difere entre países ou até mesmo entre estados. Geralmente, são considerados os valores do Quadro 2 do ponto de vista da fitotoxicidade, referindo-se aos teores totais e não aos disponíveis.

Quadro 2. Concentrações totais de elementos consideradas excessivas do ponto de vista de fitotoxicidez

Elementos	Teores (mg dm ⁻³)	Elementos	Teores (mg dm ⁻³)
Ag	2	Hg	0,3-5
As	15-50	Mn	1500-3000
B	25-100	Mo	2-10
Be	10	Ni	100
Br	10-20	Pb	100-400
Cd	3-8	Zn	70-400
Co	25-50	Se	5-10
Cr	75-100	Sn	50
Cu	60-125	Ti	1
F	200-1000	V	50-100

Fonte: Kabata-Pendias e Pendias, 1985.

No ambiente contaminado, a mobilidade dos metais pesados é diferenciada e variável devido a: a) sua natureza e forma química; e b) às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Dentre as diversas características do solo que influenciam na dinâmica dos metais pesados, destacam-se: a) pH; b) potencial redox; c) textura; d) composição mineral; e) capacidade de troca de cátions (CTC); f) teor e qualidade dos compostos orgânicos na fase sólida e na solução do solo; g) competição por sítios de adsorção e quelatação; e h) propriedades específicas de cada metal (Korcak; Fanning, 1985).

Por sua vez, o uso frequente de fertilizantes fosfatados pode degradar a qualidade da água, desencadeando o processo de eutrofização, que resulta no crescimento excessivo de algas e plâncton, afetando negativamente outros

organismos aquáticos devido à falta de oxigênio (Campagnolla, 2022). Esse fenômeno pode ocorrer naturalmente como resultado do enriquecimento com nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, despejados em lagos, represas e rios sob forma dissolvida ou particulada, que são transformados em partículas orgânicas e matéria vegetal viva pelo metabolismo das plantas.

A eutrofização "cultural" é originada dos despejos de esgotos domésticos e industriais, assim como da aplicação de fertilizantes na agricultura. Esse tipo de eutrofização acelera o processo de enriquecimento das águas superficiais e subterrâneas, levando ao rápido desenvolvimento de plantas aquáticas. Inicialmente, predominam cianobactérias ou "algas verdes azuis", que produzem substâncias tóxicas capazes de afetar a saúde humana, além de causar a morte de animais e intoxicações (Tundisi, 2003) (Quadro 3).

Quadro 3. Impactos ambientais associados à eutrofização

Impactos ambientais negativos	Fatores de eutrofização
<ul style="list-style-type: none"> • Qualidade, gosto e odor da água 	<ul style="list-style-type: none"> - Nutrientes e sedimentos suspensos degradam a qualidade da água, aumentando o custo da purificação de água potável; condições anóxicas e toxinas produzidas durante o crescimento de algas podem causar a morte dos peixes e fazer com que a água se torne nociva para diversos animais. - Antibióticos e substâncias orgânicas nos sistemas de agricultura, podem causar danos.
<ul style="list-style-type: none"> • Baixa diversidade de espécies 	<ul style="list-style-type: none"> - O crescimento estimulado de certos organismos diminui o número e o tamanho da população de outras espécies; com o tempo, os lagos passam a ser dominados por algas e peixes de rápido crescimento. Algumas espécies de algas, as cianofíceas, produzem neurotoxinas que podem levar à morte animais de grande porte.
<ul style="list-style-type: none"> • Prejuízos do uso em recreação e navegação 	<ul style="list-style-type: none"> - O aumento da sedimentação diminui a profundidade do lago, o crescimento vegetativo acelerado bloqueia as águas navegáveis; a biomassa de algas em decomposição promove a proliferação de insetos e produz espumas de odor repugnante.

Fonte: adaptado de Schaefer *et al.*, 2000.

A recuperação definitiva de áreas eutrofizadas é extremamente difícil e onerosa. O seu controle depende de ações iniciadas nas bacias hidrográficas e nas fontes pontuais de descarga (esgotos urbanos e industriais) e difusas (atividades agropecuárias) de N e P (Tundisi, 2003; Souza, 2015; 2018).

4. Impactos da irrigação sobre a qualidade da água

Terborgh (1999), ao avaliar questões relacionadas à conservação da natureza, identificou como os maiores desafios os problemas sociais, tais como: a) superpopulação; b) desigualdades de poder e riqueza; c) exaustão dos recursos naturais; d) corrupção e falta de leis; e) pobreza; e f) instabilidade social. Assim, as pressões decorrentes da busca pelo desenvolvimento econômico e pelo crescimento populacional, particularmente nos trópicos, são apontadas como as principais causas da destruição da natureza.

Além dessas questões, começa-se a analisar o papel da agricultura irrigada nesse cenário. No Brasil, particularmente nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, a prática da irrigação está em ascensão. Nas regiões noroeste e norte de Minas Gerais, bem como em grande parte do nordeste brasileiro, a quantidade de precipitação anual é insuficiente para suprir as necessidades hídricas das culturas, tornando a irrigação essencial para uma agricultura sustentável. Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, embora os índices de precipitação sejam adequados para o desenvolvimento das plantas, a distribuição irregular da chuva resulta em períodos de deficiência hídrica, afetando a produtividade agrícola (Souza, 2015).

Segundo Vieira, citado por Rebouças *et al.* (2004), a irrigação é classificada como "obrigatória" quando as condições climáticas a exigem e como "suplementar" quando, embora as precipitações sejam suficientes, sua irregularidade compromete o metabolismo das plantas e, conseqüentemente, a produtividade agrícola. Dentro desse contexto, a agricultura irrigada desempenha um papel importante, proporcionando segurança nos investimentos para a produção de alimentos e fibras (Mantovani *et al.*, 2003). É fundamental considerar a capacidade significativa de geração de renda dessa atividade, que, devido à sua capacidade de produzir durante todo o ano, cria empregos estáveis

e contribui para a permanência das comunidades rurais. A Figura 7 apresenta os valores médios de produtividade em condições irrigadas e não irrigadas.

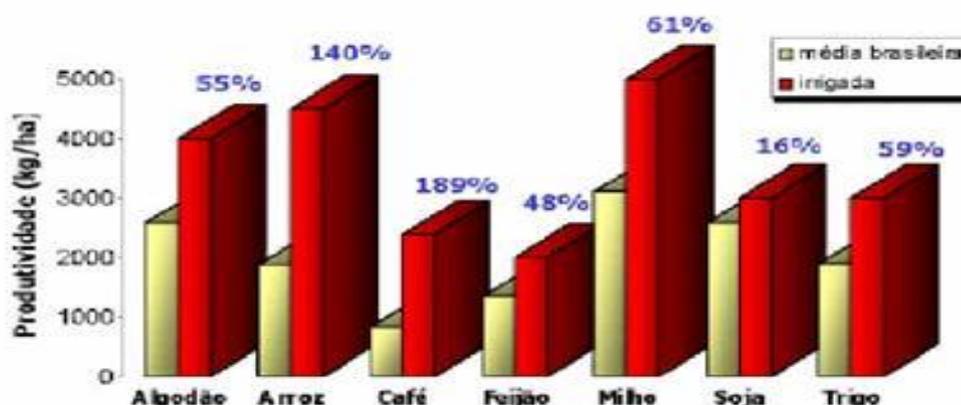


Figura 7. Comparação da produtividade de áreas irrigadas e não-irrigadas para diversas culturas. Fonte: ABIMAQ, 2002 *apud* Mantovani *et al.*, 2003.

É importante considerar que a agricultura irrigada é a maior usuária de água em nível mundial, demandando mais de 70% dos recursos hídricos disponíveis. No entanto, em muitos casos, o aproveitamento médio é inferior a 40%. Cerca de 60% da água é desperdiçada devido: a) aplicação excessiva de água; b) irrigação fora do período de necessidade das plantas, em horários de maior evaporação diurna; c) uso de técnicas de irrigação inadequadas; ou d) falta de manutenção nos sistemas de irrigação (Karam, 2001 citado por Gineste, 2006).

De acordo com a Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (1996), conforme citado por Mantovani *et al.* (2003), os dados coletados de órgãos estaduais responsáveis pelas ações de irrigação indicam que no Brasil existem 2.630.000 hectares irrigados, representando 4,8% da área cultivada no país. A região Sul se destaca como a mais irrigada, com cerca de 1.150.000 hectares, seguida pela região Sudeste, Nordeste, Centro-Oeste e Norte, com 800.000, 400.000, 200.000 e 80.000 hectares, respectivamente.

Os métodos de irrigação por superfície, geralmente os menos eficientes, são os mais utilizados, abrangendo cerca de 60% da área irrigada no Brasil. O pivô central cobre aproximadamente 20%, enquanto a aspersão convencional compreende mais de 16%, e os métodos de irrigação localizada, como microaspersão e gotejamento, abrangem em torno de 4% (Figura 8).

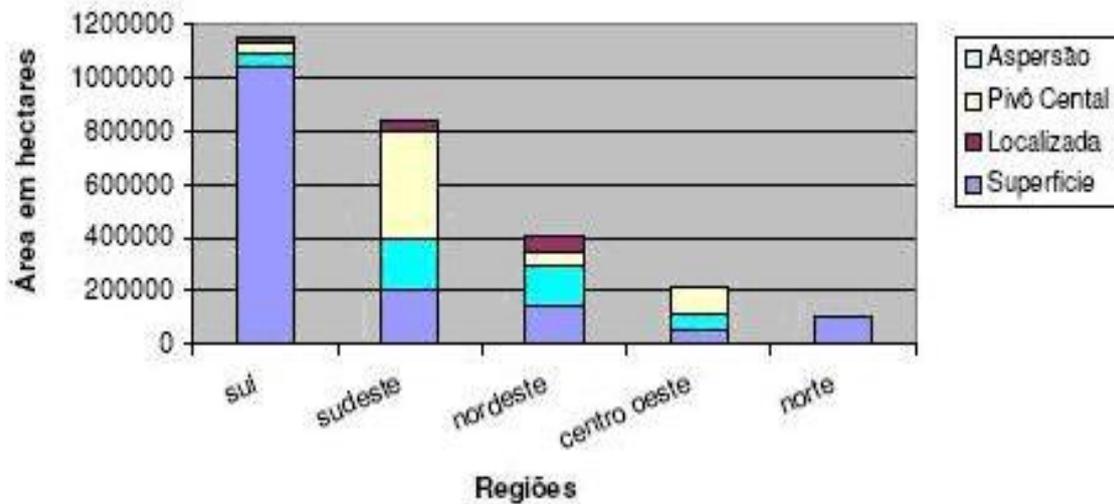


Figura 8. Métodos de irrigação no Brasil. Fonte: Rebouças *et al.*, 2004.

É evidente que a maioria dos sistemas de irrigação utilizados no Brasil carece de um planejamento adequado. Vazamentos de água nas tubulações e canais de distribuição são comuns, e a manutenção é frequentemente negligenciada ou realizada de forma precária. Muitos agricultores têm pouca informação sobre as melhores práticas de irrigação e tendem a fornecer mais água do que o necessário. Além disso, a maioria dos irrigantes não recebe treinamento adequado sobre técnicas de irrigação eficazes.

Fatores naturais, como o vento, também contribuem para o uso ineficiente da água na irrigação, especialmente em sistemas de aspersão, onde a distribuição da água pode ser comprometida. Esses problemas destacam a necessidade urgente de melhorias na gestão da água na agricultura irrigada, incluindo investimentos em infraestrutura, educação dos agricultores e adoção de tecnologias mais eficientes de irrigação.

Para atingir esses objetivos, foi realizado um estudo de caso envolvendo 33 propriedades rurais em comunidades ao longo da Bacia, que foram submetidas a questionários para identificar os procedimentos de irrigação locais. Após observações de campo, constatou-se que as propriedades rurais possuem áreas que variam entre 3 e 7 hectares, e que mais da metade delas possui áreas irrigadas iguais ou superiores a 50%. A captação de água é principalmente feita a partir de reservatórios, utilizando bombas hidráulicas acionadas por motores

movidos a óleo diesel. O método de irrigação mais comum é a aspersão convencional, encontrado em 91% das propriedades (Figura 9).

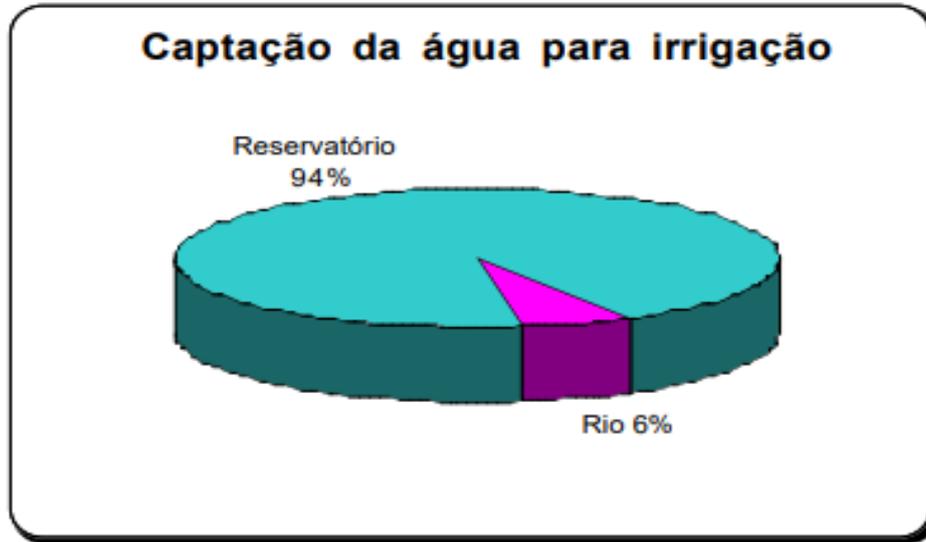


Figura 9. Captação da água para irrigação. Fonte: Gineste, 2006.

Segundo Gineste (2006), a Bacia do Miringuava é uma área significativa na produção de hortaliças no país. Nessa região, a técnica de irrigação é justificada devido à constatação da má distribuição da precipitação ao longo do ano. No entanto, observou-se que o uso da água pelos agricultores é rudimentar, sem programas específicos baseados em critérios técnicos, resultando em um consumo excessivo. A irrigação é realizada com base em suposições de quantidades satisfatórias de água, sem preocupação com o excesso de utilização e retirada de água.

Além da quantidade de água, a uniformidade de distribuição da água também é um aspecto fundamental para medir a eficiência dos sistemas de irrigação. Em sistemas de pivô central, o mais utilizado na Bacia do rio Paracatu, o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) recomendado está na faixa de 75 a 85%, para culturas com sistema radicular profundo, como o cafeeiro, enquanto o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) recomendado é acima de 70% (Bernardo, 1997).

A Figura 10 apresenta a distribuição das lâminas coletadas em dois pivôs com diferentes uniformidades. Observa-se uma grande variação na lâmina

coletada no pivô com menor uniformidade (Figura 10A) em comparação com o pivô de maior uniformidade (Figura 10B)

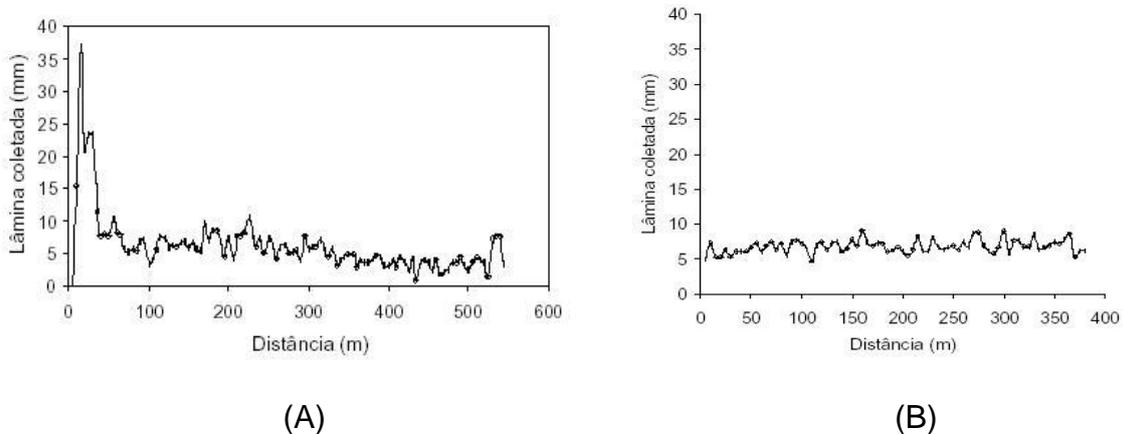


Figura 10. Lâmina coletada em função da distância ao longo da linha lateral dos pivôs. Pivô com CUC de 66% (A) e pivô com CUC de 89% (B). Fonte: Bonomo, 1999 *apud* Souza, 2006.

Consequentemente, para que a agricultura irrigada possa desempenhar seu papel de forma eficaz, é fundamental uma ação colaborativa de todos os envolvidos na execução de projetos que promovam o uso racional da água. O futuro dessa atividade depende desse compromisso. Quando a irrigação é mal gerida, pode se tornar uma das principais fontes de poluição e contaminação do solo, especialmente quando a água utilizada provém de rios que recebem uma carga significativa de poluentes (Figura 11).

Conforme apontado por Bernardo (1997), a prática da irrigação tem gerado impactos ambientais adversos nas condições físicas, químicas e biológicas do solo, na disponibilidade e qualidade da água, na saúde pública e na fauna e flora. Em alguns casos, esses impactos reverberam de maneira negativa nas condições socioeconômicas dos agricultores irrigantes ou até mesmo da comunidade local.

De acordo com von Sperling (1997), é importante ter em mente que o meio líquido possui duas características que definem a qualidade da água: a) capacidade de dissolução; e b) capacidade de transporte. A combinação dessas duas características resulta na qualidade de uma água, que é determinada pelos processos que ocorrem na bacia de drenagem do corpo hídrico.

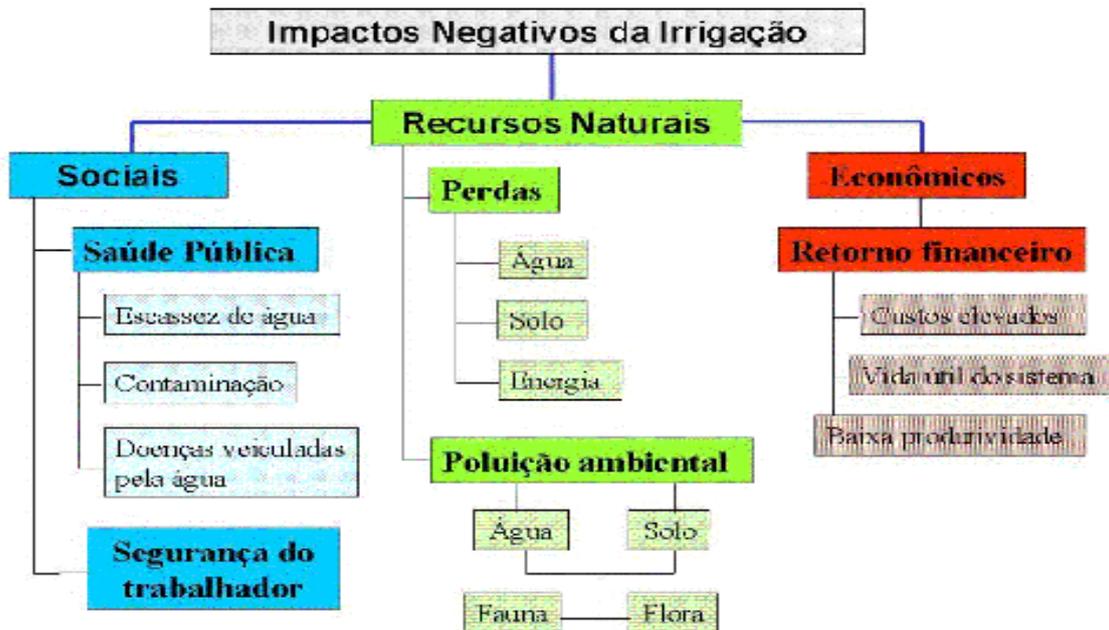


Figura 11. Impactos negativos pelo manejo incorreto da irrigação. Fonte: Drumond e Fernandes, 2001.

De acordo com Amaral Sobrinho (1996), o rio Paraíba do Sul recebe uma carga poluidora significativa proveniente de diversas fontes, incluindo indústrias, esgotos domésticos, fertilizantes, agrotóxicos, mercúrio de garimpos, entre outros. Consequentemente, ele apresenta um alto potencial de poluição do solo quando utilizado para irrigação, especialmente devido aos sedimentos em suspensão. Um estudo conduzido por Ramalho (1994), conforme citado por Amaral Sobrinho (1996), revelou os seguintes teores de alguns metais pesados como resultado de sua pesquisa, conforme apresentado no Quadro 4.

No Brasil, esse problema é agravado especialmente quando associado à exploração de várzeas inundáveis. Conforme apontado por Bernardo (1997), o uso de sistemas de irrigação por superfície, como a inundação ou sulcos, juntamente com a drenagem de vastas áreas seguidas de cultivo intensivo, causa perturbações em suas condições naturais. Esse processo começa com a remoção da vegetação nativa, o que resulta em alterações na microflora e fauna local e regional, na produção de peixes, na população de insetos, e nas condições de erosão e sedimentação na bacia hidrográfica.

Quadro 4. Teores de Cd, Pb, Cr, Co e Ni das amostras de um Cambissolo irrigado por sulcos de infiltração com água do rio Paraíba do Sul e sua respectiva área de controle

Profundidade (cm)	Metais pesados (mg/Kg)									
	Cd		Pb		Cr		Co		Ni	
	Irrig.	AC	Irrig.	AC	Irrig.	AC	Irrig.	AC	Irrig.	AC
0 – 5	1,5	0,7	43,3	35,9	50,2	35,8	33,7	25,5	26,5	35,0
5 – 10	1,4	1,2	51,7	34,9	47,4	37,7	32,3	26,6	28,5	36,5
10 – 20	1,3	1,1	49,1	36,7	48,0	40,8	32,9	31,6	31,0	37,5
20 – 30	1,5	1,2	50,6	46,0	48,7	48,6	34,9	35,5	37,0	38,0

Irrig. = Cambissolo irrigado, por sulcos de infiltração, com água de tomada direta do Rio Paraíba do Sul; AC = Área de controle.

Fonte: Amaral Sobrinho, 1996.

Além disso, há uma tendência à monocultura, o que aumenta o número de pragas devido à eliminação dos inimigos naturais, levando a uma maior dependência do uso intensivo de agrotóxicos para seu controle.

Para a implantação de um sistema de irrigação em uma determinada região, é fundamental obter um conjunto abrangente de informações para identificar o potencial de produção e as condições físicas e operacionais mais adequadas. Isso envolve considerar a compatibilidade do tipo de solo, a qualidade e quantidade de água disponível, o clima e outras influências externas e agronômicas. Além disso, o sistema de irrigação deve ser compatível com o preparo do solo, o cultivo e a colheita das culturas selecionadas (Vieira *et al.*, 1988; Bernardo *et al.*, 2019).

O excesso de água aplicada à área irrigada, que não é absorvida pelas culturas, retorna aos ecossistemas aquáticos por meio de escoamentos superficiais e subsuperficiais, carregando consigo sais solúveis, fertilizantes, resíduos de agrotóxicos, elementos tóxicos, metais pesados, sedimentos, entre outros. Segundo Bernardo (1997) e Bernardo *et al.* (2019), existem cinco principais tipos de impactos ambientais associados à irrigação: modificações do

ambiente, salinização do solo, contaminação dos recursos hídricos, consumo excessivo da disponibilidade hídrica da região e problemas de saúde pública.

Estimativas da FAO indicam que cerca de 50% dos 250 milhões de hectares irrigados no mundo apresentam problemas de salinização e saturação do solo. Aproximadamente 10 milhões de hectares são abandonados anualmente devido a esses problemas. No Nordeste brasileiro, aproximadamente 30% das áreas irrigadas de projetos públicos sofrem com a salinização, algumas delas já não sendo mais produtivas.

Considerando que a agricultura irrigada é o maior usuário de água doce no Brasil, representando 72,50% do volume captado, e que tem apresentado um crescimento acelerado, especialmente em regiões como as bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, é fundamental acompanhar de perto sua evolução por meio de um rigoroso monitoramento. Isso pode ser alcançado por intermédio da execução de um sistema eficiente de gerenciamento dos recursos hídricos, visando evitar novos conflitos de uso da água.

O Brasil possui um grande potencial para expansão da prática da agricultura irrigada, com aproximadamente 29,6 milhões de hectares de solos aptos para esse fim, dos quais apenas 2,87 milhões estavam sendo explorados em 1999. O manejo racional dessa atividade requer estudos que considerem os aspectos sociais, econômicos, técnicos e ecológicos da região. Portanto, é fundamental reunir esforços para obter dados confiáveis que permitam quantificar com precisão o impacto ambiental causado pela irrigação, a fim de incorporá-lo na execução e manejo dos projetos (Silva, 2002).

Segundo Faria (1987) e Klar (1991), há diversos equipamentos e processos de automatização integrados aos sistemas de irrigação que permitem a operação e controle total da aplicação de água com base em informações das condições da planta, do solo e do clima. Embora esses equipamentos atendam a objetivos sofisticados, seus custos de implantação ainda são elevados, o que dificulta sua adoção pela maioria dos agricultores. No entanto, ferramentas como o *software* IRRIPLUS estão se popularizando e se tornando mais acessíveis aos irrigantes.

Mantovani *et al.* (2003) destacam que, apesar da evolução dos equipamentos modernos, àquela época, havia negligência no manejo da

irrigação. Portanto, para evitar aplicação excessiva (o que é mais comum) ou insuficiente de água, é necessário um programa de manejo eficiente. Nesse contexto, programas de simulação, como o IRRIPLUS, podem ser úteis. Esse sistema de apoio à decisão na agricultura irrigada, desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI) da Universidade Federal de Viçosa, oferece ferramentas para o manejo da água, do sistema de irrigação e para avaliação da rentabilidade da área irrigada.

O IRRIPLUS incorpora uma abordagem técnica sem perder a praticidade necessária para seu funcionamento. Uma vez implantado, é uma ferramenta de fácil utilização que ajuda a determinar o momento adequado para irrigar, definir a quantidade e o tempo de irrigação necessária, além de auxiliar na avaliação e definição das condições de distribuição de água e perdas do sistema de irrigação.

Além disso, a viabilidade econômica é um fator crucial na prática da irrigação. Existem planilhas de viabilidade econômica disponíveis, como aquelas voltadas para a cafeicultura irrigada. A Figura 12 apresenta uma simulação de rentabilidade para áreas de baixa demanda hídrica, utilizando o sistema de irrigação por aspersão tipo malha, com produtividade de 30 e 60 sacas por hectare na primeira safra e média das demais safras, respectivamente, com o valor médio da saca do café de R\$ 180,00 à época.

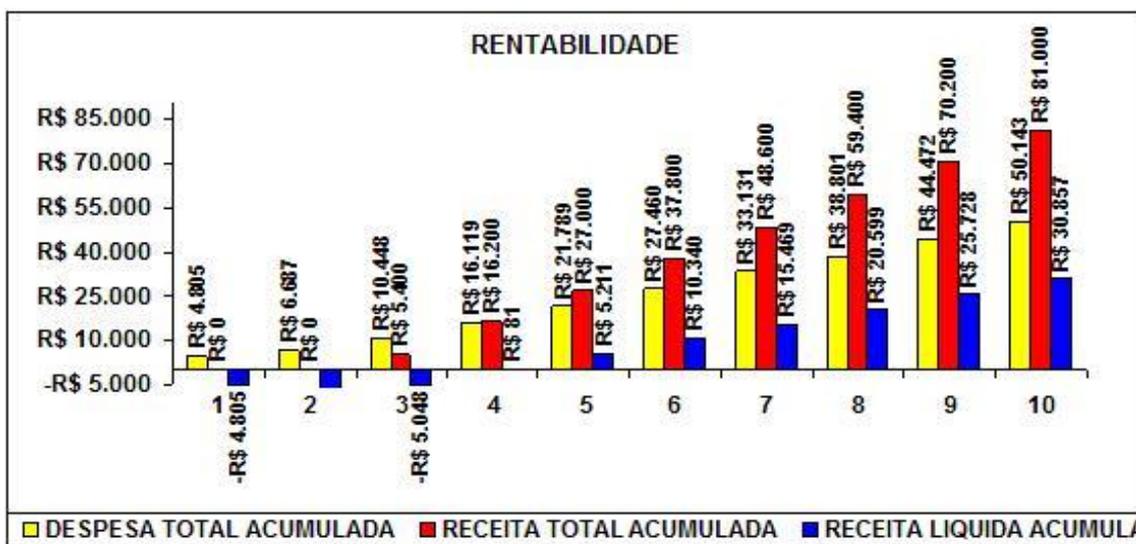


Figura 12. Simulação da rentabilidade para a cafeicultura irrigada, sistema malha, em regiões de baixa demanda hídrica. Fonte: Mantovani *et al.*, 2003.

Em 2021, a área total irrigada no Brasil era de aproximadamente 5,3 milhões de hectares, com potencial de expansão para mais 13,6 milhões de hectares, de acordo com o Atlas irrigação. A falta de água na agricultura pode levar a sérios prejuízos na produção e resultar em impactos econômicos.

O déficit hídrico pode levar às quedas de (Atlas irrigação, 2023):

- ✓ Até 56% na produtividade da soja, além de impactar de forma negativa na qualidade dos óleos produzidos e das sementes destinadas à próxima safra;
- ✓ De 30% até 100% na produtividade do milho; e
- ✓ Até 65% para a cana-de-açúcar.

Ou seja, a irrigação nas áreas agrícolas pode ser uma alternativa economicamente viável para garantir a produtividade nas propriedades rurais. O panorama da irrigação no Brasil de acordo com a ANA (Agência Nacional de Águas), estima-se que até 2040 mais de 9,3 milhões de hectares recebam irrigação no Brasil: corresponde a um aumento de 56% frente a 2021 (Figura 13).



Figura 13. Modernos sistemas de irrigação com manejo adequado dos sistemas.

Fonte: <https://boosteragro.com/>, 2021.

De acordo com esse mesmo autor, a adoção da irrigação vem ocorrendo, principalmente, devido às mudanças climáticas observadas nas últimas safras, com ocorrência frequente de déficit hídrico em muitas lavouras, o que provocou quedas na produtividade de diversas culturas. Os principais sistemas de

irrigação utilizados no Brasil são: o pivô central, a aspersão, a microaspersão e o gotejamento.

4. Impactos ambientais originados pela introdução de plantas exóticas

As primeiras translocações de espécies de uma região para outra do planeta tinham a intenção de suprir necessidades agrícolas, florestais e outras de uso direto. O potencial das espécies exóticas para modificar sistemas naturais é tão grande que as plantas exóticas invasoras são consideradas atualmente a segunda maior ameaça mundial à biodiversidade, perdendo apenas para a destruição de habitats pela exploração humana direta (Ziller, 2005).

Segundo esse mesmo autor, os impactos e as externalidades negativas, com consequências econômicas significativas, incluem: a) perda da biodiversidade; b) modificação dos ciclos e características naturais dos ecossistemas afetados; e c) alteração fisionômica da paisagem natural. Alguns ambientes são mais suscetíveis à invasão do que outros, devido a fatores como: a) menor diversidade natural, tornando o ecossistema mais suscetível à invasão por apresentar funções ecológicas não supridas que podem ser preenchidas por espécies exóticas; b) ausência de competidores, predadores e parasitas, conferindo vantagens competitivas às espécies exóticas em relação às nativas; c) maior grau de perturbação, aumentando o potencial de dispersão e estabelecimento de exóticas, especialmente após a redução da diversidade natural pela extinção de espécies ou exploração excessiva.

Práticas incorretas de manejo dos ecossistemas, como remoção de áreas florestais, queimadas anuais para preparo do solo, erosão e pressão excessiva de pastoreio, contribuem para a perda de diversidade natural e fragilidade do meio, tornando-o mais vulnerável à invasão. É fundamental avaliar esses processos de forma abrangente, considerando todas as variáveis que podem influenciar o ambiente (Souza, 2015; 2018; 2024).

Este é um problema global que não pode ser tratado isoladamente. As plantas exóticas invasoras podem alterar propriedades ecológicas essenciais, como ciclagem de nutrientes, cadeias tróficas, distribuição de biomassa,

densidade de espécies e processos evolutivos, levando ao empobrecimento dos ecossistemas (Ziller, 2005).

Segundo esse mesmo autor, essas plantas podem alterar o ciclo hidrológico e o regime de incêndios, levando a uma seleção das espécies existentes e, de modo geral, ao empobrecimento dos ecossistemas. No Brasil, algumas espécies de árvores já consagradas como invasoras incluem *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*, *Casuarina equisetifolia*, *Melia azedarach* (cinamomo), *Tecoma stans* (amarelinho), *Hovenia dulcis* (uva-do-japão), *Cassia mangium*, *Eriobothrya japonica* (nêspera), *Cotoneaster* sp. e *Ligustrum japonicum* (alfeneiro). Entre as gramíneas, o gênero *Brachiaria* é dos mais problemáticos.

A perda gradual em frequência e qualidade das espécies nativas pode levar à exaustão do modelo de pecuária sustentável estabelecido ao longo dos últimos séculos, além da introdução de hábitos de lavração e uso de herbicidas para controlar o avanço da invasora. Estima-se que, dos 15 milhões de hectares de campos naturais, três milhões estejam sofrendo processo de invasão, inclusive nas bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto, conforme Rodriguez (2004) e Latuf (2007).

5. Considerações

A atividade agropecuária, quando mal conduzida, resulta na supressão dos ecossistemas florestais nativos e em situações desastrosas de erosão do solo. Essa remoção de terra fértil representa perdas econômicas significativas para o país, exigindo cada vez mais a aplicação de fertilizantes para manter a produtividade agropecuária. Os sistemas de produção intensificados, embora consumam menos recursos naturais em um determinado local, introduzem novos elementos causadores de desequilíbrios, como os agroquímicos.

Apesar do volume considerável de pesquisas nessa área e do acúmulo de conhecimento, esses não são adequadamente adotados pelos produtores rurais, especialmente os do modelo de produção familiar, revelando uma lacuna entre pesquisa e extensão. Isso inevitavelmente resulta em impactos e externalidades ambientais negativos e redução da biodiversidade, tornando os sistemas insustentáveis.

Na atividade de irrigação, fenômenos como instabilidade e mudanças climáticas, junto com a constante redução dos recursos naturais, levam a maioria dos produtores a adotarem essa prática como indispensável ao sistema produtivo das culturas, mesmo em regiões com níveis elevados e uniformes de precipitação.

A escolha do sistema de irrigação é um dos grandes desafios para os produtores, dada a variedade de opções no mercado e a necessidade de maximizar a produtividade da cultura. É essencial considerar, desde o início do projeto, a meta de aumentar a produção, economizar água e trabalho, e minimizar a deterioração do solo e a perda de nutrientes. Infelizmente, o manejo adequado é deficiente na maioria das propriedades brasileiras, apesar de ter apresentado resultados positivos recentemente.

Quanto à introdução de espécies exóticas, seu potencial para modificar os sistemas naturais e os riscos à biodiversidade as tornam a segunda maior ameaça mundial, perdendo apenas para o desmatamento. Os processos de invasão se agravam com o tempo, à medida que as plantas exóticas ocupam o espaço das nativas, resultando em perda de biodiversidade, modificação dos ciclos naturais e alteração da paisagem.

O desconhecimento das normas ambientais torna a agropecuária a atividade poluidora com maior potencial de impacto e externalidade ambiental. Todo manejo agropecuário deve incluir preocupações com a proteção da qualidade ambiental, controlando os aportes sólidos e líquidos aos mananciais. A observância de princípios básicos e a valorização do capital natural podem eliminar os riscos associados à tecnologia moderna, promovendo práticas agropecuárias mais sustentáveis.

A abordagem da agroecologia valoriza o conhecimento local e promove a participação ativa dos agricultores nas decisões relacionadas à produção agropecuária. Isso pode contribuir para fortalecer as comunidades rurais, promover a autonomia dos agricultores e reduzir as desigualdades socioeconômicas no campo.

Embora a agroecologia ofereça muitos benefícios em termos de sustentabilidade, sua adoção pode enfrentar desafios, como a resistência

institucional, a falta de acesso a recursos e tecnologias apropriadas e a necessidade de capacitação e apoio técnico para os agricultores. No entanto, muitos estudos e experiências práticas demonstraram que a agroecologia pode ser uma alternativa viável e eficaz para promover sistemas agropecuários mais sustentáveis e resilientes.

6. Referências

ALLAN, J. D. Stream ecology: structure and function of running waters. New York: Chapman & Hall, 1997. 388p.

ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture Ecosystems & Environment**, n.74, p.19-31, 1999.

ALVES, E. R. A. Quem ganhou e quem perdeu com a modernização da agricultura brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 39, 2001, Recife. **Anais...** Recife: SOBER, 2001. p. 234-257.

ALVES, E. R. A.; CONTINI, E. Progresso tecnológico e desenvolvimento da agricultura brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 1987, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANPEC, v. 2, 1987. p.1 29-144.

AMADOR, E. S. Comentários sobre a crise ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 11-14.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Metais pesados em solos brasileiros. In: ALVAREZ, V. H. V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfológicos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, 1996. p. 837-853.

AMEEN, A.; RAZA, S. Green Revolution: a review. **International Journal of Advances in Scientific Research**, v. 3, p. 129-137, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7439/ijasr.v3i12.4410>.

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. DA; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. Viçosa: Ed. UFV. 2019. 545 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392p.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 224p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 1999.

BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; ELER, M. N. Análise dos principais impactos no rio Mogi-Guaçu: recomendações para orientar políticas públicas. In: BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. (Eds.) **Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: RiMa, 2003d. p. 205-230.

BRIGANTE, J.; SILVA, M. R. C.; QUEIROZ, L. A.; COPPI, E. Quantificação de metais na água do rio Mogi-Guaçu. In: BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. (Eds.) **Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: RiMa, 2003c. p. 85-120.

CAMPAGNOLLA, C.; MACÊDO, M. M. C. Revolução Verde: passado e desafios atuais. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 39, n. 1, p. 26952, 2022.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2001**, 2002. 387 p. (Série/Relatórios - ISSN 0103-4103).

DRUMOND, L. C. D.; FERNANDES, A. L. T. **Irrigação por aspersão em malha**. Uberaba: Ed. UNIUBE 2001. 84 p.

EFFGEN, G. F. M.; FIGUEIREDO, J. S. M.; SOUZA, M. N.; VARDIERO, L. G. G.; FRANCISCHETTO, B. de M.; XAVIER, S. A. B. Agricultura convencional, tradicional e agroecológica: gestão ambiental e as mudanças nos modelos de produção. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. I. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 67-97. **ISBN: 978-65-84548-22-0**. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-22-0.c2>

FARIA, R. T. **Tensiômetro: construção, instalação e utilização – um aparelho simples para se determinar quando irrigar**. Circular IAPAR, v. 0, n. 56, p. 1-22, 1987.

GINESTE, D. M.; MOURA, E. N. **Um estudo diagnóstico do consumo de água pela irrigação na bacia do rio Miringuava, região metropolitana de Curitiba, Paraná**. Rev. Acad., Curitiba, v. 4, n. 1, p. 21-30, 2006.

HAZELL, P. B. R. **The Asian Green Revolution**. Washington: IFPRI, 2009. (IFPRI Discussion Paper, 00911).

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Avaliação ambiental para registro de agrotóxicos, seus componentes e afins de uso agrícola**. 2016. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/avaliacaoambiental/avaliacao-ambiental->

para-registro-de-agrotoxicos-seus-componentes-e-afins-de-uso-agricola>. Acesso em: 29 mar. 2024.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. CRS Press Boca Raton, 1985. 315 p.

KARAM, K. F. **Agricultura orgânica**: estratégia para uma nova ruralidade. 2001. 232 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), UFPR - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

KLAR, A. E. **Irrigação**: frequência e quantidade de aplicação. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.

KORCAK, R. F.; FANNING, D. S. Availability of applied heavy metals as a function of type of soil material and metal source. **Soil Science**, v. 140, n. 1, p. 23-24, 1985.

MALAQUIAS, J. O. da S.; MARIANO, S. R.; GONÇALVES, J. M.; LOUBACK, G. C.; MENDONÇA, R. L. de P. D.; OLIVEIRA, S. R. dos S. M. de; EGIDIO, L. S.; VIEIRA, R. C.; CRESPO, A. M.; SOUZA, M. N. Degradação ambiental pelo fator antrópico e formas de mitigação: uma breve análise da agropecuária e seus impactos no meio ambiente. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. I. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 34-66. ISBN: 978-65-84548-22-0. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-22-0.c1>

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo: ProduQuímica, 1994. 153 p.

MARQUES, J. F. Feitiço contra o feiticeiro. **Safra**, v. 5, n. 51, p. 39-40, 2004.

MOREIRA, C. G.; CRESPO, A. M.; LOUBACK, G. C.; SOUZA, M. N.; OLIVEIRA, A. de F. M. de; PRETO, B. de L.; MEIRA, A. C. H.; RANGEL, O. J. P.; BERILLI, A. P. C. G.; VIEIRA, R. C.; MENDONÇA, R. L. de P. D.; CALABIANQUI, T. N. FELETI, N. C.; CARDOZO, L. G. C.; COSTA, A. L. Valoração ambiental e pagamento por serviços ambientais: um estudo de caso na sub-bacia do córrego horizonte, Rive-Alegre/ES. **OBSERVATORIO DE LA ECONOMIA LATINOAMERICANA**. v. 22, p.e3930, 2024. Disponível em: <https://ojs.obsevatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/3930>. DOI: 10.55905/oelv22n3-194.

PÁDUA, J. A. A insustentabilidade da agricultura brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DE AGROECOLOGIA (ENA), 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: AS-PTA, 2003. p. 42-47.

REBOUÇAS, A. **Recursos hídricos**. 2004. Entrevista concedida à TV Educativa, São Paulo, 16 fev. 2004.

SANTO, B. R. E. **Caminhos da agricultura brasileira**. São Paulo: Evoluir, 2004. 304p.

SCHAEFER, C. E.; ALBUQUERQUE, M. A.; CHARMELO, L. L.; CAMPOS, J. C. F.; SIMAS, F. B. Elementos da paisagem e a gestão da qualidade ambiental. **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 202, p. 20-44, 2000.

SILVA, D. D. Noções de recursos hídricos. In: ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANANCIAS DA ZONA DA MATA MINEIRA, 3., 2002, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: ABES-MG/DEA UFV, 2002. p. 226-269.

SILVA, F.C. da. **Avaliação dos contratos do plano de agricultura de baixo carbono, para recuperação de pastagens degradadas, por ferramentas de MVR (monitoramento, relato e verificação)**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. I. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. 325 p. **ISBN:** 978-65-84548-22-0. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-22-0>.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. VII. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. 336 p. **ISBN:** 978-65-84548-18-3. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-18-3>.

SOUZA, M. N. **Degradação antrópica e procedimentos de recuperação ambiental**. Balti, Moldova, Europe: Novas Edições Acadêmicas, 2018. 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.

TERBORGH, J. **Requiem for nature**. Washington, D.C.: Island Press, Shearwater Books, 1999. 235 p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, 2.ed., 2003. 248 p.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C.; VIEIRA, M. N. S. **Solos: propriedade, classificação e manejo**. Brasília: MEC/ABEAS, 1988. 154p. (Programa Agricultura nos Trópicos, v. 2).

Von SPERLING, E. Qualidade da água. 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.89-113.

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.

WEID, J. M. Conceitos de sustentabilidade e sua aplicação nos modelos de desenvolvimento agrícola. In: ALVAREZ, V. H. V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfológicos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, 1996. p. 353-376.

WISE, T. A. **Old fertilizer in new bottles**: selling the past as innovation in Africa's Green Revolution. Medford: Tufts University, 2021. (Global Development and Environment Institute. Working Paper, n. 21-01).

ZILLER, S. R. **A Estepe gramíneo-lenhosa no segundo planalto do Paraná**: diagnóstico ambiental com enfoque à contaminação biológica. Curitiba, PR: UFP, 2005. 268 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, 2005.