

---

## Revegetação, matéria orgânica e a sustentabilidade nos procedimentos de recuperação de solos degradados

Maurício Novaes Souza, Priscila de Oliveira Nascimento, Roney José Monteiro, Guilherme Andrião Trugilho, Mauricio Ferreira Moreira, Geisa Corrêa Louback, Aline Marchiori Crespo, Igor Borges Peron, Willian Moreira da Costa, João Sávio Monção Figueiredo

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-14-5.c2>

### Resumo

A revegetação é um componente fundamental para a sustentabilidade dos procedimentos de recuperação de solos degradados. Geralmente, possuem pouca ou nenhuma cobertura vegetal, o que pode levar a uma série de processos e impactos ambientais, tais como erosão, compactação e perda de nutrientes. A revegetação pode ajudar a solucionar essas externalidades negativas, além de trazer uma série de benefícios socioambientais. Por seu intermédio, é possível promover a recuperação da fertilidade do solo, melhorar a infiltração de água, reduzir a erosão, aumentar a biodiversidade, reduzir a emissão de gases de efeito estufa e melhorar a qualidade do ar e da água. Além disso, a (re) vegetação é fundamental para a manutenção dos ciclos biogeoquímicos, como o ciclo do carbono e do nitrogênio, que são importantes para o equilíbrio dos ecossistemas. No entanto, para que os procedimentos de recuperação sejam bem sucedidos, a escolha das espécies vegetais a serem utilizadas na revegetação deve levar em consideração as condições ambientais do local, tais como o clima, o solo e a topografia. É importante também avaliar a capacidade das espécies em fixar nutrientes no solo e em atrair polinizadores e outros animais, contribuindo para a biodiversidade local. Em resumo, por meio da revegetação, é possível recuperar áreas degradadas, melhorar a qualidade do solo e do meio ambiente, além de promover a biodiversidade e a saúde dos ecossistemas. Há de se considerar que a perda de fertilidade da camada superficial dificulta a revegetação de áreas degradadas; por isso, a sua recuperação é fundamental. A atividade de mineração, por exemplo, gera grandes impactos no meio ambiente: para que estes sejam os menores possíveis é necessário planejamento, a fim de recompor a qualidade física, química e biológica do solo. O plantio de florestas e a sua integração com agricultura e pastagens (ILPF) são uma forma viável de recuperação destes solos degradados. Essa abordagem visa combinar os benefícios da vegetação arbórea com a produção de alimentos e, ou, forragem para o gado, resultando em uma forma mais sustentável de uso da terra. Algumas das diferentes técnicas de recuperação de áreas degradadas e técnicas de revegetação para a recomposição da matéria orgânica são fundamentais para a sustentabilidade dos procedimentos de recuperação.

**Palavras-chave:** Degradação. Impacto Ambiental. Topsoil. Mineração. Revegetação.

## 1. Introdução

As metas de recuperação ambiental mudaram consideravelmente ao longo dos anos, em função da evolução das pesquisas e do somatório de novos conhecimentos (TOY; DANIELS, 1998). Nos últimos anos surgiram vários programas visando à recuperação de ecossistemas, que consideram diversos fatores, tais como o ecológico, o silvicultural e o socioeconômico (SANTOS et al., 2012; SOUZA, 2018; 2021).

A exploração não planejada dos recursos naturais tem causado o aumento gradativo de impactos no meio ambiente (PIMENTA et al., 2022). Diante de uma crise ambiental mundial cada vez mais evidente é fundamental o desenvolvimento de programas voltados à recuperação de áreas degradadas (SALOMÃO; BARBOSA; CORDEIRO, 2020).

O controle da erosão, por exemplo, é necessário para estabelecer uma cobertura vegetativa (Figura 1). Porém, embora essa posição permaneça como objetivo fundamental é apenas uma parte de um plano mais amplo e audacioso de recuperação ambiental. Um planejamento cuidadoso que leve em consideração a comunidade local, a preservação das informações sobre o uso do solo anterior à sua perturbação e o monitoramento contínuo, são componentes cruciais para garantir a sustentabilidade em longo prazo (TOY; DANIELS, 1998; SOUZA, 2018; 2021).



**Figura 1.** Vegetação ciliar em fase de regeneração natural. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

A abordagem dos procedimentos de recuperação deve combinar cuidado com o ambiente, inclusão das comunidades locais e um olhar holístico sobre a recuperação: é fundamental para alcançar metas mais ambiciosas e favorecer a sustentabilidade em longo prazo (TOY; DANIELS, 1998; SOUZA, 2018; 2021).

Silva, Campagna e Lipp-nissinen (2018) destacam a restauração ecológica como uma prática em expansão. Laroca e Orth (2020) enfatizam a importância da preservação dos polinizadores na recuperação de áreas degradadas. Recomendam a promoção do reconhecimento do valor estético e prático dos polinizadores e das plantas melitófilas<sup>2</sup> e de sua importância na conservação dos ecossistemas e na restauração das áreas degradadas.

As metas de recuperação ambiental são estabelecidas para orientar as ações de recuperação de áreas degradadas, visando à restauração das funções ecológicas e da qualidade ambiental. Essas metas podem variar de acordo com a natureza e a extensão da degradação, bem como com os objetivos de conservação e uso da área recuperada. Algumas metas comuns de recuperação ambiental são (SOUZA, 2018; 2021; 2022; 2023):

- ✓ Restauração da biodiversidade: a meta de recuperar a biodiversidade visa a recuperar a diversidade biológica da área, restaurando a vegetação nativa e proporcionando condições para o retorno da fauna e da flora locais.
- ✓ Recuperação da qualidade do solo: a meta de recuperar a qualidade do solo envolve a adoção de práticas que promovam a fertilidade, a estrutura e a capacidade de retenção de água do solo, como a adição de matéria orgânica e a construção de sistemas de drenagem.
- ✓ Melhoria da qualidade da água: a meta de melhorar a qualidade da água busca a redução do impacto da degradação sobre os recursos hídricos, incluindo a recuperação de nascentes, a redução da erosão e a minimização do lançamento de poluentes.
- ✓ Mitigação das emissões de gases de efeito estufa: a meta de mitigar as emissões de gases de efeito estufa busca reduzir a contribuição da área

---

<sup>2</sup> Plantas melitófilas são aquelas que contribuem tanto para a manutenção alimentar da colmeia, como para a produção de mel, própolis, geleia real, cera e pólen.

recuperada para o aquecimento global, por meio da redução das emissões de gases de efeito estufa e da promoção de sumidouros de carbono.

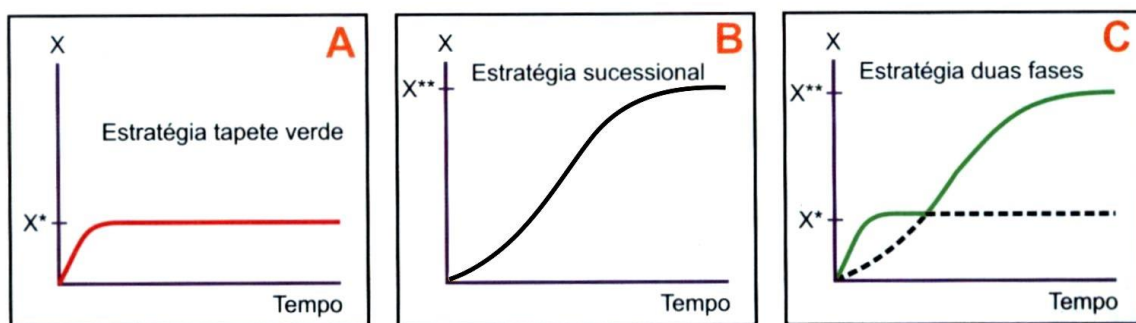
- ✓ Uso sustentável da área recuperada: a meta de uso sustentável visa à utilização da área recuperada de forma consciente e responsável, garantindo a continuidade dos processos de recuperação e a manutenção da qualidade ambiental.

Essas metas podem ser combinadas de acordo com as particularidades de cada caso, visando a uma recuperação efetiva e sustentável da área degradada.

## 2. Estratégias de revegetação

De acordo com Griffith, Dias e Marco Júnior (2000), até 1994, os processos de recuperação ambiental no Brasil apresentavam dois caminhos distintos, que envolviam estratégias mutuamente exclusivas de revegetação: a) o fechamento da área para regeneração natural, com possibilidade de enriquecimento - estratégia baseada na sucessão ecológica; e b) o estabelecimento de um “tapete verde” de espécies agressivas e de rápido crescimento, como capim-gordura (*Melinis minutiflora*) e braquiária (*Brachiaria decumbens*); ou arbóreas, como o eucalipto (*Eucalyptus* sp.). Essa estratégia era a mais usada, pois além de possibilitar uma rápida cobertura e proteção do solo, atendia às exigências da legislação.

Porém, os resultados verificados, apontaram que essa estratégia não tem sustentabilidade no médio e longo prazo. A partir dessa data, pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa (UFV) desenvolveram um novo modelo: a “estratégia de duas fases”, cuja proposta é combinar as duas abordagens anteriores, conjugando as potencialidades de cada método (Figura 2).



**Figura 2.** Estratégia de duas fases. Fonte: Griffith, Dias e Marco Júnior, 2000.

De acordo com esses mesmos autores,

as Figuras A e B ilustram, para cada estratégia, a evolução do produto ecológico X no tempo. Supõe-se que o produto desejado seja um sistema em desenvolvimento sucessional autossustentável e paisagisticamente atrativo. Comparando as curvas, verifica-se que a abordagem do tapete verde (Figura A) apresenta o desenvolvimento inicial rápido, mas atinge o equilíbrio em um nível inferior ( $X^*$ ) ao apresentado ( $X^{**}$ ) pela abordagem sucessional (Figura B). A proposta da UFV é combinar essas abordagens, proporcionando rápido aumento inicial na quantidade de  $X^*$  e permitindo grande produção em nível  $X^{**}$  (ótimo), quando a comunidade de plantas alcançar o ponto de estabilidade (Figura C). Desta forma, poder-se-ia conjugar as potencialidades de cada método.

Entretanto, conseguir essa complementaridade não é tarefa fácil. O procedimento para recuperação de áreas degradadas é lento e está relacionado à capacidade de restabelecimento do solo, principalmente em relação às suas propriedades físicas (SAMPAIO et al., 2012; SOUZA, 2018).

A Alcoa Alumínio S/A, executava trabalhos de reabilitação de áreas mineradas de bauxita no planalto de Poços de Calda, MG, conduzindo o seu trabalho no sentido de harmonizar as áreas mineradas com a paisagem local. Durante um longo período, as técnicas empregadas nesses projetos de recuperação foram sujeitas a várias reformulações, devido às necessidades detectadas por meio de avaliações periódicas, sendo algumas práticas revisadas e modificadas, em face da inviabilidade técnica ou econômica (FERREIRA et al., 1997).

De acordo com esses mesmos autores, foram incorporadas as seguintes técnicas: levantamento fitossociológico, uso de serapilheira, mudança no método de remodelamento do terreno, confecção de nichos, enriquecimento de áreas em sucessão, produção de mudas em tubetes, entre outras. Afirmam, que apesar das experiências e estratégias adotadas durante todo esse período, os resultados ainda não eram conclusivos. A busca deve ser por uma melhoria contínua, sabendo que o processo de reabilitação é incipiente e bastante dinâmico. O objetivo é o de restabelecer as funções e formas compatíveis com a capacidade de suporte dos ecossistemas perturbados.



Nos dias atuais, sabe-se que o desenvolvimento de uma equilibrada e autossustentada cobertura vegetativa é a meta da maioria dos projetos de recuperação. As estratégias de revegetação variam amplamente com o tipo de ecossistema a ser recuperado. Em geral, espécies introduzidas com rápido crescimento anual estabilizam o local, retêm nutrientes, controlam a erosão e a lixiviação, protegendo o solo de tal forma que espécies nativas, invadam com sucesso e passem a dominar com o tempo. A compatibilidade de espécies nativa e introduzida deve ser cuidadosamente considerada junto com a biodiversidade do local e as metas de recuperação e gestão (Figura 3).



**Figura 3.** Área ciliar sem a cobertura vegetacional original. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2013.

A área apresentada na Figura 3 pertencente ao Bioma Mata Atlântica, um dos mais diversos e ameaçados do Brasil e da América do Sul, passou por procedimentos de revegetação para recomposição da área ciliar com espécies características desse bioma. Dez anos após esse procedimento, a área revegetada se encontra em estágio avançado de sucessão (Figura 4).

Há de se considerar que a combinação de espécies que serão utilizadas deve estar localmente adaptada e resistente às tensões de pH, nutrientes, déficit de água e doenças, no longo prazo. Quando o uso futuro do solo escolhido for para a manutenção da vida selvagem, por exemplo, a vegetação é fundamental para promover o seu retorno (TOY; DANIELS, 1998; SOUZA, 2018).

Para o processo de revegetação, recomenda-se que no início sejam utilizadas plantas rústicas que tolerem as restrições químicas, físicas e biológicas do solo, além de contribuírem com o incremento de matéria orgânica, que permitirá a estruturação do substrato, ciclagem de nutrientes e preparo do meio para a implantação de espécies mais exigentes (SANTANA et al., 2020).



**Figura 4.** Área ciliar apresentada na Figura 3 com cobertura vegetal em estágio avançado de sucessão. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

Algumas estratégias de revegetação que demonstram a eficácia dessas técnicas:

- ✓ Plantio direto: em um estudo realizado em uma área degradada de pastagem na região amazônica brasileira, o plantio direto de mudas de espécies nativas resultou em maior crescimento e sobrevivência das plantas em comparação com o plantio em covas (BARROS et al., 2016);
- ✓ Plantio com preparo do solo: um estudo realizado em uma área degradada em Minas Gerais, Brasil, mostrou que o preparo do solo com aração e gradagem resultou em maior crescimento e sobrevivência das mudas de espécies nativas em comparação com o plantio direto (RIBEIRO et al., 2019);
- ✓ Semeadura direta: um estudo realizado em uma área degradada na Austrália, a semeadura direta de espécies nativas resultou em alta diversidade de plantas e rápida recuperação da cobertura vegetal (ERICKSON et al., 2012);
- ✓ Adubação verde: em um estudo realizado em uma área degradada de pastagem na região sul do Brasil, a utilização de espécies de leguminosas como adubação

verde resultou em aumento da fertilidade do solo e maior produção de biomassa vegetal (REINERT et al., 2015);

- ✓ Utilização de bioinsumos: estudo realizado em uma área degradada de mineração de carvão na Índia, a utilização de bioinsumos resultou em aumento da biomassa vegetal e da diversidade de espécies vegetais, além de redução da acidez do solo (KUMAR et al., 2019)
- ✓ Controle de invasoras: estudo realizado em uma área degradada de mineração de ouro na Amazônia brasileira, o controle das plantas invasoras por meio de capina e aplicação de herbicidas permitiu o estabelecimento de espécies vegetais nativas (LUIZÃO et al., 2009)
- ✓ Criação de corredores ecológicos: em um estudo realizado em uma área degradada na Nova Zelândia, a criação de corredores ecológicos permitiu o fluxo de animais e plantas entre áreas de floresta nativa e áreas recuperadas, contribuindo para a recuperação da biodiversidade (MOLLOY; DAVIS; FRAMPTON, 2011).

#### **Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e o Programa Reflorestar**

O estado do Espírito Santo é um dos pioneiros no Brasil na execução de políticas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)<sup>3</sup>. Atualmente, tal política é executada pelo programa “Reflorestar”, que oferece apoio financeiro a produtores rurais que queiram destinar parte da propriedade para preservação e recuperação do meio ambiente e dos recursos hídricos (TRUGILHO, 2023).

São elegíveis para participar do Programa Reflorestar proprietários de área rural que queiram destinar parte da propriedade para preservação e, ou, recuperação do meio ambiente e dos recursos hídricos. O produtor contratado fará jus ao recebimento de um recurso financeiro que varia conforme a modalidade de intervenção enquadrada e o tamanho da área destinada. As modalidades de intervenção apoiadas pelo Reflorestar são: Manutenção da Floresta em Pé (FPE), Restauração por meio do Plantio de Essências Nativas (REC) e Restauração por meio da Condução da Regeneração Natural (REG),

---

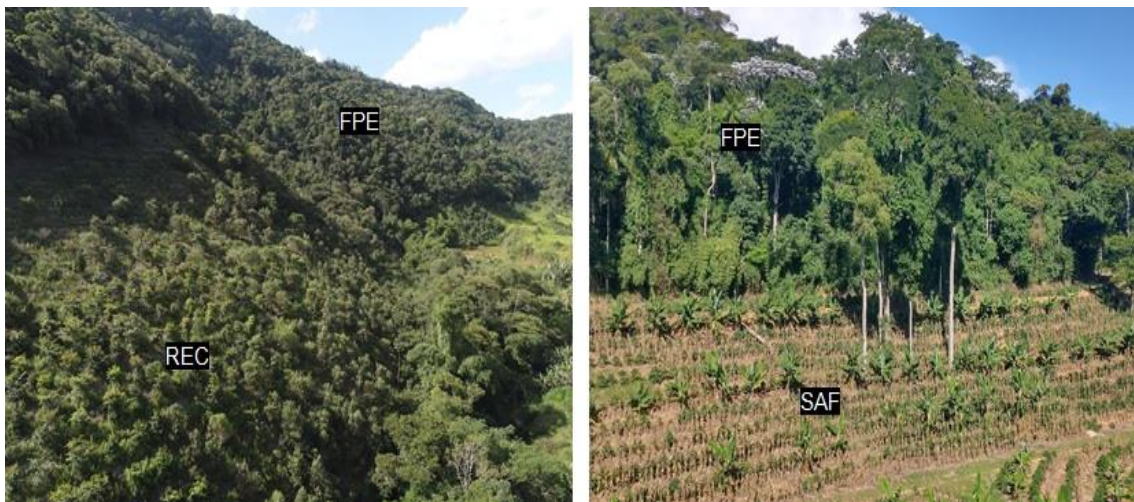
<sup>3</sup> O PSA é um instrumento econômico que busca recompensar todo aquele que, em virtude de suas práticas de conservação, proteção, manejo e recuperação de ecossistemas, mantêm ou incrementa o fornecimento de um serviço ecossistêmico (WUNDER, 2005; TNC, 2017).



Sistemas Agroflorestais (SAF), Sistemas Silvopastoris (SSP) e Floresta Manejada (FM) (ESPÍRITO SANTO, 2021).

Do ponto de vista ecológico, a estratégia dos corredores sugerida em projetos do Programa Reflorestar, na modalidade FPE - Manutenção Da Floresta Em Pé, é bastante interessante: além de garantir a preservação de remanescentes florestais, pode-se estimular a ampliação e a conexão de fragmentos florestais. Isso vai de encontro à afirmação de Rodrigues, Moreira e Freire (2020), que considera que programas de PSA são instrumentos aptos a viabilizar a criação de corredores ecológicos.

Cabe ressaltar, que a execução de corredores ecológicos prevê a necessidade de estudos aprofundados, com a aplicação de técnicas de mapeamento e geoprocessamento, visando garantir uma maior eficiência na conectividade dos fragmentos (CARNEIRO; BERNINI; SILVA, 2013) (Figuras 5 e 6).



**Figuras 5 e 6.** Áreas de FPE conectadas a outras modalidades de intervenção: na imagem da esquerda à REC e à direita, ao SAF. Fonte: Acervo Guilherme Andrião, 2022.

### 3. O uso do “topsoil” na atividade de mineração

A mineração é uma atividade altamente impactante ao meio ambiente: por isso é a única atividade cuja obrigatoriedade de Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) é imposta pela Constituição Federal do Brasil de 1988. A remoção do solo orgânico dificulta o estabelecimento da vegetação,

intensificando o processo erosivo. Assim, a busca por formas alternativas para adequada recuperação dos ambientes alterados, é uma necessidade econômica e ambientalmente importante para a sustentabilidade da atividade (SILVA; CAMPAGNA; LIPP-NISSINEN, 2018).

O sucesso da recuperação depende de condições específicas do local e de execução das melhores técnicas para neles reconstruir um determinado uso do solo. Nas atividades que envolvem a necessidade de revolvimento do solo, como na mineração, sempre que possível, o horizonte orgânico superficial natural do solo - "topsoils" (Horizontes O + A) - devem ser salvos, armazenados e retornados à superfície final, posto ser a camada fértil do solo e conter a memória da vegetação local (TOY; DANIELS, 1998; TOY et al., 2002).

Segundo esses mesmos autores, quando isto não for possível, um "topsoil" substituto deve ser criado do melhor subsolo ou materiais geológicos disponíveis, para servir como meio de crescimento às plantas. Em cenários críticos e sob determinadas circunstâncias, como em áreas de mineração abandonadas, o elaborador precisa recuperar um local degradado sem qualquer "topsoiling" (Horizontes A e B inexistentes), sendo necessária a seleção de meio substituto (material do Horizonte C, estéreis ou rejeitos).

Normalmente, as propriedades físicas e químicas dos estéreis ("spoil" ou "overburden", para estéril) e rejeitos ("tailings"), junto com sua fertilidade, são facilmente avaliadas e ajustadas a materiais encontrados potencialmente menos tóxicos. A comparação de diversos materiais de estéril (resíduos da mineração) ou materiais substitutos por meio de procedimentos padrão de análise de solo é uma prática útil para avaliar suas características físicas, químicas e biológicas em relação a solos naturais (TOY; DANIELS, 1998; TOY; FOSTER; RENARD, 2002).

De acordo com esses mesmos autores, esses procedimentos podem fornecer informações valiosas sobre a qualidade e a adequação desses materiais para uso em recuperação ambiental ou outros fins específicos, como cobertura de áreas mineradas. No entanto, é importante reconhecer que os resultados dessas análises podem não ser interpretados com a mesma precisão que ocorre para solos naturais, por razões diversas, tais com as variações dos materiais dos estéreis, aos processos de transformação e ao tempo de

maturação. O potencial de acidez e alcalinidade são as principais propriedades químicas a serem estimadas.

Apesar dessas limitações, as análises de solo ainda são valiosas para avaliar tendências gerais, identificar possíveis problemas ou desafios relacionados ao uso de materiais de estéril e orientar estratégias de recuperação ambiental. No entanto, é crucial interpretar os resultados com sensibilidade às diferenças entre os materiais de estéril e solos naturais e considerar o contexto específico de aplicação. A pesquisa contínua e a experiência prática ajudarão a refinar as abordagens de análise e a compreender melhor os materiais de estéril e sua viabilidade para diferentes usos (BOYD, 2017; PATI et al., 2017; SILVA; CAMPAGNA; LIPP-NISSINEN, 2018).

Em um estudo realizado em uma área de mineração de carvão na Austrália, a adição de "topsoil" em áreas degradadas resultou em melhorias significativas na qualidade do solo e no estabelecimento de espécies vegetais nativas (FERGUSSON, 2007).

### **3.1. Ajuste das condições físicas e químicas dos meios substitutos**

O passo fundamental para a avaliação dos riscos potenciais e, inclusive o planejamento da recuperação ambiental após a operação da mina, deve ser realizado a "análise da camada de estéril". Há de ser requerida para todos os materiais geológicos de solo encontrados no local, antes do início da perturbação. Os resultados preliminares dessa análise são usados (SOBEK et al., 1978; BOYD, 2017; PATI et al., 2017; YOUNGER, 2017):

- ✓ Para identificar estratos potencialmente tóxicos e desenvolver um plano para seu isolamento, evitando, assim, a contaminação do meio ambiente;
- ✓ Predizer a qualidade da água e impactos resultantes da manipulação e colocação dos materiais operados;
- ✓ Determinar as propriedades geotécnicas (por exemplo, resistência ao corte, dilatação e características de compactação) de todos os materiais; e
- ✓ Averiguar que estratos são apropriados para serem "topsoils" substitutos, onde for necessário.

De acordo com esses mesmos autores, esses passos são fundamentais para uma abordagem responsável e eficaz na gestão de áreas mineradas, visando minimizar os impactos ambientais e promover a recuperação do ecossistema após a operação da mina.

Também, essa avaliação irá avaliar as propriedades físicas dos rejeitos e estéreis prejudiciais à revegetação, tais como: a) alta densidade devido à compactação; e b) baixa capacidade de retenção da água no solo, que são de difícil ajuste após a perturbação do solo. Estas duas condições, solos compactados ou com baixa capacidade de retenção de água, são os fatores mais comuns que limitam o sucesso da recuperação. Solos compactados deformam as raízes e prejudicam o seu desenvolvimento (SILVA et al., 2021).

Também, segundo esses mesmos autores, possuem baixa capacidade de infiltração e distribuição da água, reduzindo a porosidade do solo e as trocas gasosas solo/atmosfera. Implica no impedimento da ação capilar da água e no aumento do escoamento superficial. Por este motivo, a profundidade da camada adensada deve ser identificada e promovida a sua descompactação, por meio de (IBAMA, 1990; TOY; DANIELS, 1998; TOY et al., 2002; YOUNGER, 2017; TERRA et al., 2019):

- ✓ **Práticas mecânicas:** 1) camadas superficiais - usar escarificadores até a profundidade de aproximadamente 30 cm; 2) camadas inferiores - fazer subsolagem com “ripper” ou subsolador, com o solo seco para evitar aumento da compactação, devendo ser realizada em curvas de nível ou com pequeno gradiente para que não se forme depósitos de águas; e
- ✓ **Práticas culturais:** 1) incorporação de matéria orgânica visando a redução da densidade do solo; 2) espécies herbáceas com sistema radicular profundo e com grande densidade radicular; e 3) adubação verde com leguminosas para posterior incorporação, entre outros.

O uso de materiais orgânicos é extremamente importante: trazem benefícios sobre os atributos físicos do solo, como uma melhor agregação. Conseqüentemente, altera a densidade, a porosidade, a aeração e a capacidade de retenção e infiltração de água (SAMPAIO et al., 2012). Solos ricos em matéria orgânica são biologicamente mais ativos, pois beneficiam a biota do solo,



permitindo uma maior taxa de decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos.

A acidez do solo, a salinidade e outras condições químicas tóxicas, também são limitantes para o sucesso da recuperação, mas estão mais especialmente localizadas que propriedades físicas prejudiciais. Deve-se considerar, num solo ácido, a adsorção dos elementos fertilizantes inorgânicos e orgânicos é prejudicada, sendo a calagem fundamental. Preferencialmente, deverá ser realizada entre 3 a 6 meses anteriormente ao plantio. Caso a quantidade requerida para a correção seja elevada, deve-se aplicar a metade da carga de corretivo sobre a superfície do subsolo e, após a colocação da camada fértil do solo, aplicar a outra metade (*ibidem*).

### 3.2. Proteção do “topsoil”

Na recuperação de áreas mineradas, por exemplo, o “topsoil” armazenado é particularmente susceptível às perdas de solo e nutrientes por erosão ou lixiviação, devido à saturação permanente, devendo ser cuidadosamente protegido (IBAMA, 1990; TOY; DANIELS, 1998; BOYD, 2017; PATI et al., 2017; YOUNGER, 2017):

- ✓ Os locais de empréstimos devem estar localizados longe do tráfico e as operações de manipulação do material devem ser feitas distantes, sempre que possível;
- ✓ O “topsoil” deve ser revegetado (com vegetação morta, serapilheira ou plantio de gramíneas/leguminosas), caso seja armazenado por um período mais longo, que não deve ultrapassar dois anos, para que sejam mantidas as suas características, atividade biológica e umidade do solo;
- ✓ Os estoques, em cordões ou leiras, com o máximo de 1,5 m de altura; ou em pilhas individuais de 5 a 8 m<sup>3</sup>, também não ultrapassando essa mesma altura de tal forma a evitar a sua compactação;
- ✓ Devem ser identificados com sinais e cercados por uma pequena berma de material geológico, que desvie o fluxo lateral da água, evitando a contaminação com materiais não pertencentes ao “topsoil”;

- ✓ Os estoques não devem ser usados para disposição de estéreis ou rejeitos, especialmente se estiverem contaminadas por produtos derivados de petróleo, evitando comprometer a camada fértil do solo;
- ✓ O revolvimento periódico desses estoques com a finalidade de promover uma maior aeração: trará como benefício uma melhor preservação da atividade biológica; e
- ✓ Finalmente, os estoques devem ser depositados em local de fácil acesso, em face à necessidade de repetidas operações exigidos para o seu transporte até o local definitivo (Figura 7).



**Figura 7.** Distribuição do “topsoil” em local definitivo: restauração florestal em área de mineração de bauxita. Fonte: <https://esalqlastrop.com.br/capa.asp?j=5>.

Nem sempre é possível o uso imediato do "topsoil" em operações de mineração, especialmente em situações em que as condições do terreno, os métodos de mineração empregados ou outros fatores limitam a viabilidade de preservar e reaplicar a camada superficial do solo imediatamente. No entanto, o ideal seria o seu aproveitamento imediato. Em determinadas situações, pode ser conseguido por meio de um bom planejamento, com duas ou mais frentes de lavra operando simultaneamente.

Múltiplas frentes de lavra pode permitir que uma frente extraísse os materiais de interesse enquanto outra coleta e armazena o "topsoil". Essa abordagem requer um planejamento cuidadoso, coordenação entre as equipes e a execução de medidas para proteger o "topsoil" durante a operação da mina. Além disso, é crucial considerar as características do solo, a topografia, o clima e outros fatores locais que podem influenciar o sucesso desse processo (BOYD, 2017; PATI et al., 2017; YOUNGER, 2017).

### 3.3. O acúmulo de matéria orgânica

A produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da atividade e biomassa dos microrganismos do solo. Na Figura 8 observa-se uma área de pastagem degradada isolada para que se estabeleça o processo de regeneração natural.



**Figura 8.** Área ciliar com baixa cobertura vegetal em área de pastagem degradada. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2013.

Neste contexto, a manutenção de resíduos vegetais no solo, em sistemas agropecuários, e a queda de restos vegetais para a formação de serapilheira, em sistemas florestais e agroflorestais, são determinantes na obtenção do



equilíbrio da matéria orgânica no solo (NOVAIS et al., 1990; SOUZA, 2018; 2023).

Na Figura 9, 10 anos após o fechamento da área de pastagem, com o avançado desenvolvimento vegetacional e a significativa deposição de serapilheira, ocorreu significativo acúmulo de matéria orgânica, favorecendo o desenvolvimento da microbiota do solo (SOUZA, 2015; 2018; 2021).



**Figura 9.** Área ciliar da Figura 8 com cobertura vegetal em estágio avançado de sucessão. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2023.

Os microrganismos exercem papel fundamental utilizando esses materiais como fonte de nutrientes e energia para a formação e o desenvolvimento de suas células, bem como para a síntese de substâncias orgânicas no solo. Dessa forma, o manejo dos substratos e dos processos biológicos permite alcançar um novo equilíbrio no ecossistema (NOVAIS et al., 1990; SOUZA, 2015; 2018; 2022; 2023).

Quando um determinado local for recuperado por meio de uma completa reconstrução do solo, com a utilização de um “topsoil” substituto, como ocorre na atividade de mineração ou em áreas com severas perdas de solo, seu sucesso no longo prazo dependerá do restabelecimento desses processos essenciais: acumulação de matéria orgânica e o restabelecimento da ciclagem



de nutrientes. Estes processos podem ser rapidamente restaurados, por um plano bem elaborado de seleção e reposição do material orgânico que aporta ao solo, proveniente de resíduos vegetais e animais, junto com o uso criterioso das correções necessárias (SOUZA, 2021).

A acumulação de matéria orgânica e nitrogênio (N) ao longo do tempo, com uma mínima fixação de fósforo (P) por óxidos de ferro presentes no solo, são fatores importantes no controle da produtividade vegetativa em longo prazo nas regiões úmidas; considerando que deficiência de água e condições sódicas e salinas, são importante em ambientes áridos e semiáridos (MEYER; RENARD, 1991; OLSON et al., 1994; TOY; DANIELS, 1998).

Muitos resíduos produzidos, tais como lodo de esgoto, compostos orgânicos, rejeitos alimentares e cinzas de carvão, são bastante úteis como corretivos de solos, com benefícios na reciclagem secundária. Porém, estes materiais devem ser avaliados e administrados cuidadosamente, para assegurar que o ambiente geoquímico em que eles serão introduzidos imobilizarão componentes tóxicos (TOY et al., 2002; PATI et al., 2017; YOUNGER, 2017).

As características químicas do solo, incluindo pH, nutrientes, sodificação, salinidade e metais, também influenciam: a) a produtividade das plantas; b) a adaptação das espécies; e c) a capacidade de uso do solo. A camada de “topsoil”, com o desenvolvimento da vegetação, é enriquecida com nutrientes e matéria orgânica provenientes da bioacumulação e reciclagem do “litter”. A espessura e o conteúdo de húmus do solo são bons indicadores da sua qualidade total (JENNY, 1980; PATI et al., 2017; YOUNGER, 2017; SOUZA, 2018).

Para esses mesmos autores, a matéria orgânica e o “húmus”: a) funcionam como solução tampão, impedindo que o solo sofra mudanças bruscas de acidez ou alcalinidade; b) provê nutrientes por mineralização; c) complexa metais potencialmente tóxicos; e d) proporcionam melhor agregação, aeração e capacidade de retenção de água da camada de “topsoil”. Por esses motivos, a acumulação e manutenção da matéria orgânica na comunidade são consideradas as mais importantes propriedades do solo afetando o crescimento das plantas, sendo, portanto, prioridade para o sucesso dos procedimentos de recuperação.

#### 4. Considerações finais

É inquestionável a importância da revegetação na recuperação de solos degradados e na promoção da sustentabilidade ambiental. Desempenha um papel crucial na restauração de áreas afetadas por atividades humanas, como a mineração, e ajudam a mitigar diversos problemas ambientais, tais como a erosão, a perda de nutrientes e a degradação da biodiversidade.

É interessante notar que a escolha adequada das espécies vegetais para a revegetação, levando em consideração as condições locais, é essencial para o sucesso desse processo. Além disso, as práticas de manejo como o consórcio de espécies florestais com pastagens, podem ser eficazes para a recuperação desses solos degradados.

A conscientização sobre a importância do planejamento no uso do solo é fundamental para evitar impactos ambientais graves e irreversíveis. A recuperação da fertilidade do solo e a promoção da biodiversidade são metas que podem ser alcançadas por meio da revegetação, contribuindo para a saúde dos ecossistemas e para o equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos, via acúmulo de serapilheira e sua conversão em matéria orgânica.

É fundamental prosseguirem as pesquisas e o desenvolvimento de técnicas de recuperação de áreas degradadas. Há de se buscar constantemente formas mais eficientes e sustentáveis de se recuperarem os ecossistemas. A colaboração entre governos, empresas e a sociedade em geral é essencial para garantir a adoção de práticas responsáveis de manejo do solo e para a promoção de uma abordagem mais sustentável na utilização dos recursos naturais.

#### 5. Referências

BARROS, A. C.; ROCHA JUNIOR, P. R.; LOPES, R. R.; NUNES, Y. R. F.; TRESMONDI, F.; PINTO, F. A. C. Crescimento e sobrevivência de mudas de espécies florestais em diferentes sistemas de plantio em uma área degradada de pastagem na Amazônia brasileira. **Revista Árvore**, v. 40, n. 6, p. 1169-1178, 2016. DOI: 10.1590/0100-67622016000600018.

BOYD, E. Sustainability in the Mining Industry: The Clean Energy Conundrum. **Sustainable Development**, 2017.

CARNEIRO, B. M.; BERNINI, H.; SILVA, A. G. Perspectivas de conexão entre fragmentos florestais do Corredor Ecológico Burarama-Pacotuba-Cafundó, na Mata Atlântica do Espírito Santo, através de recomposição de Áreas de Proteção Permanente de cursos d'água. **Natureza on line**, v. 11, n. 1, p. 20-28, 2013.

ERICKSON, T. E.; MERRITT, D. J.; DIXON, K. W.; MERRITT, R. B. Direct seeding for successful restoration of an Australian ironstone gravel road. **Ecological Management & Restoration**, v. 13, n. 3, p. 226-235, 2012. DOI: 10.1111/j.1442-8903.2012.00649.x

ESPÍRITO SANTO. **Portaria nº 011-R, de 04 de outubro de 2021**. Torna público o edital de convocação de produtores rurais que desejam participar do ciclo 2021 do Programa Reflorestar. Diário Oficial dos Poderes do Estado, Vitória, ES, 05 de outubro de 2021, p. 60-75.

FERGUSON, M. Topsoil replacement for restoring mined land in Australia: a review. **Land Degradation & Development**, v. 18, n. 2, p. 123-131, 2007. DOI: 10.1002/ldr.765

FERREIRA, C. A. G.; FUSER, J. E.; ZANATT, P. R.; DON WILLIAMS, D. Reabilitação de áreas mineradas de bauxita no planalto de Poços de Calda, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Trabalhos voluntários...** Viçosa, MG: SOBRADE; UFV/DPS, 1997. p. 27-35.

GRIFFITH, J. J.; DIAS, L. E.; MARCO JÚNIOR, P. A recuperação ambiental. **Rev. Ação Ambiental**, v. 2, n. 10, p. 8-11, 2000.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 96 p.

JENNY, H. **The soil resource**. New York: Springer-Verlag, 1980. p. 113-144.

KUMAR, A.; KUMAR, M.; SINGH, R. P.; KUMAR, R. Role of bioinoculants in restoration of degraded soils: a review. **Pedosphere**, v. 29, n. 3, p. 297-313, 2019. DOI: 10.1016/S1002-0160(18)60097-4.

LAROCA, S.; ORTH, A. I. Recuperação de áreas degradadas: polinizadores como uma nova dimensão. **Acta Biológica Paranaense**, Curitiba, v. 49, n. 1-2, p. 67-87, 2018.

LUIZÃO, F. J.; LUIZÃO, R. C.; PAIVA, R. Q.; MONTEIRO, T. F.; SOUSA, L. S.; KRUIJT, B.; BRAGA-NETO, R. Plant diversity and conservation in Amazonian gold rush areas. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 7, n. 7, p. 382-388, 2009. DOI: 10.1890/080089.

MEYER, L. D.; RENARD, K. G. How research improves land management. In: **Agriculture and the environment**. Washington, D. C.: U.S. Government Printing Office. USDA Yearbook of Agriculture, 1991. p. 20-27.

MOLLOY, S.; DAVIS, B.; FRAMPTON, C. Ecosystem restoration on New Zealand's public conservation land: synthesis of recent progress, remaining challenges, and future opportunities. **New Zealand Journal of Ecology**, v. 35, n. 2, p. 187-200, 2011. Disponível em: <https://newzealandecology.org/nzje/2890.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2022.

OLSON, K. R.; LAL, R.; NORTON, L. D. Evaluation of methods to study soil erosion-productivity relationships. **J. Soil Water Conservation**, v. 49, n. 6, p. 586-590, 1994.

PATI, C. S. et al. A Review on Technologies for Reducing CO<sub>2</sub> Emission from Coal Fired Power Plants. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, 2017.

PIMENTA, J. M. A.; SANTOS, A. L. R. dos; VERA, D. E.; DEKNES, L. B.; WOICIECHOWSKI, T. Diagnóstico ambiental e recomendações para recuperação de área degradada em Aquidauana, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Principia**, João Pessoa, v. 59, n. 2, p. 445-466, 2022.

REINERT, D. J.; GOMES, L. E.; JARENKOW, J. A. Potencial da adubação verde com leguminosas para recuperação de solos degradados na região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 752-763, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbcS20140522.

RIBEIRO, V. M.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; TEIXEIRA, W. G. Growth and nutrient accumulation of native tree species in reforestation areas with different soil tillage practices. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, 2019. DOI: 10.1590/2179-8087.043018.

RODRIGUES, J. G. V.; MOREIRA, S. A.; FREIRE, E. M. X. Relevância e estratégias para viabilização da criação de corredores ecológicos em área da Mata Atlântica setentrional. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 10, n. 3, 2020.

SALOMÃO, P. E. A.; BARBOSA, L. C.; CORDEIRO, I. J. M. Recuperação de áreas degradadas por pastagem: uma breve revisão. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 1-16, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.2057>.

SAMPAIO, T. F.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C.; HELIODORO, J. C. A.; RONCHI, H. S.; TANGANELLI, K. M.; CARVALHO, N. C. de; OLIVEIRA, F. C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 1637-1645, 2012.

SANTANA, P. H. L.; THIENGO, C. C.; BURAK, D. L.; OLIVEIRA, D. M. de; MENDONÇA, E. de S.. Adoção de biotecnologias para revegetação mais eficiente por feijão-de-porco e crotalária em rejeito de minério de ferro. **Colloquium Agrariae**, [S. L.], v. 16, n. 5, p. 1-13, 2020.

SANTOS, P. L.; FERREIRA, R. A.; ARAGÃO, A. G. de; AMARAL, L. A.; OLIVEIRA, A. S. Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de



semeadura direta para recuperação de áreas degradadas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 2, p. 237-245, 2012.

SILVA, I. A. da; CAMPAGNA, A. R.; LIPP-NISSINEN, K. H.. Recuperação de áreas degradadas por mineração: uma revisão de métodos recomendados para garimpos. **Pesquisas em Geociências**, [S.L.], v. 45, n. 3, p. 1-22, 2018. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://dx.doi.org/10.22456/1807-9806.91386>.

SILVA, L. da L.; RIBON, A. A.; BACKES, C.; LOPES, L. C. A.; MAGALHÃES, A. F.. Atributos físicos do solo e produtividade da pastagem em sistema de manejo de integração Lavoura-Pecuária-Floresta. **Scientific Electronic Archives**, [S.L.], v. 14, n. 11, p. 88-102, 2021. Scientific Electronic Archives. <http://dx.doi.org/10.36560/141120211445>.

SOBEK, A. A.; SCHULLER, W. A.; FREEMAN, J. R.; SMITH, R. M. **Field and laboratory methods applicable to overburdens and mine soils**. Cincinnati: EPA Industrial Environmental Research Lab., EPA 600/2-78-054, 1978.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. IV. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2022. 304 p. ISBN: 978-65-84548-10-7. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-10-7>.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. III. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2022. 347 p. ISBN: 978-65-84548-04-6. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-04-6>.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. V. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. 348 p. ISBN: 978-65-84548-12-1. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-12-1>.

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.

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.

TERRA, A. B. C.; FLORENTINO, L. A.; REZENDE, A. V. de; SILVA, N. C. D. e. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, [S. L.], v. 42, n. 2, p. 305-313, 2019.

TNC - THE NATURE CONSERVANCY DO BRASIL. Guia para a formulação de políticas públicas estaduais e municipais de pagamento por serviços ambientais. 2017. Disponível em: <https://www.tnc.org.br/content/dam/tnc/nature/en/documents/brasil/guia-politicas-publicas-PSA.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2023.

TOY, T. J.; DANIELS, W. L. Reclamation of disturbed lands. In: MAYER, R.A. (Ed.). **Encyclopedia of environmental analysis and remediation**. New York: John Wiley, 1998. p. 4078-4101.

TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. **Soil erosion**: processes, prediction, measurement, and control. New York: John Wiley, 2002. 338p.

TRUGILHO, G. A. **Contribuições do programa Reflorestar para implantação de intervenções conservacionistas e produtivas em propriedades rurais do Espírito Santo**. 2023, 70 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Instituto Federal do Espírito Santo campus de Alegre.

WUNDER, S. et al. Payments for environmental services: some nuts and bolts. **CIFOR Infobrief**. n. 9, 2005.

YOUNGER, P. L. et al. A Framework for Assessing the Environmental and Social Impacts of Mining. **Journal of Cleaner Production**, 2017.