

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Manejo Integrado da Vegetação (MIV) em áreas de linhas de transmissão
de energia elétrica (LTEE) e seu potencial impacto no solo: revisão de
literatura**

Laiane Pinto da Silva Pereira

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas.

**Piracicaba
2024**

Laiane Pinto da Silva Pereira
Engenheira Agrônoma

Manejo Integrado da Vegetação (MIV) em áreas de linhas de transmissão de energia elétrica (LTEE) e seu potencial impacto no solo: revisão de literatura

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof.^o. Dr.^o. **CARLOS EDUARDO PELLEGRINO CERRI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Pereira, Laiane Pinto da Silva

Manejo Integrado da Vegetação (MIV) em áreas de linhas de transmissão de energia elétrica (LTEE) e seu potencial impacto no solo: revisão de literatura / Laiane Pinto da Silva Pereira. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2024.

69 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Impactos ambientais 2. Saúde do solo 3. Manejo sustentável I. Título

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sua infinita bondade e amor. É ele quem sabe, detalhadamente, cada sonho meu, e sinto o seu carinho e cuidado no direcionamento da realização destes objetivos.

À Universidade de São Paulo (USP) e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) agradeço o acolhimento. És tão, ou mais, gloriosa quanto dizem.

Ao PPG solos e nutrição de plantas e docentes constituintes que me forneceram as bases necessárias para a realização deste trabalho, agradeço com profunda admiração pelo vosso profissionalismo.

Ao meu orientador, Carlos Eduardo P. Cerri, jamais terei palavras que sejam suficientes. Agradeço a oportunidade, apoio e compreensão. Excelente profissional e excepcional ser humano, sem dúvidas um exemplo a ser seguido. Professor, seu empenho foi essencial para a minha motivação à medida que a todas as dificuldades que surgiram ao longo do percurso.

Ao programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico da Companhia Paranaense de Energia - Copel Distribuição S.A., pelo financiamento deste estudo por intermédio do projeto de P&D-2866-480/2017 "Manejo Integrado de Vegetação em abertura de faixa de passagem em linhas de distribuição de alta e média tensão", regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

À minha família que é dona de todo o meu amor.

Muito obrigada!

Todo solo é um corpo individual na natureza, com suas características próprias, sua história de vida e sua capacidade de sustentar plantas e animais.

(Hans Jenny, 1899-1992)

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. ENERGIA ELÉTRICA: BREVE RETOMADA HISTÓRICA.....	13
3. DIREITO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	15
4. O IMPACTO AMBIENTAL DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	19
5. UMA ALTERNATIVA AO DESFLORESTAMENTO: MANEJO INTEGRADO DA VEGETAÇÃO (MIV)	25
5.1 Etapas do Manejo Integrado da Vegetação (MIV).....	27
6. METODOLOGIA.....	31
Base de dados e termos de busca.....	31
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
Cálculo de estimativa de emissão evitada, expressa em carbono e em CO ₂ , em função da adoção do Manejo Integrado da Vegetação em LTEE.....	53
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS	59

RESUMO

Manejo Integrado da Vegetação (MIV) em áreas de linhas de transmissão de energia elétrica (LTEE) e seu potencial impacto no solo: revisão de literatura

Obtida a partir de diferentes tipos de energia, a eletricidade é transportada e chega aos consumidores por meio de sistemas elétricos complexos, compostos de quatro etapas: geração, transmissão, distribuição e consumo. A instalação de linhas de transmissão de energia elétrica (LTEE) pode causar impactos significativos no meio ambiente durante todas as fases de construção e operação, caso não haja, conjuntamente, a utilização adequada de práticas e ações sustentáveis no intuito da redução destes prejuízos ambientais. Importantes estudos em todo o mundo mostram que o tipo de manejo adotado tem grande influência sob a cobertura vegetal, qualidade do solo e sob a variação nos estoques de C do solo. O manejo integrado da vegetação (MIV) é uma técnica adotada há mais de 50 anos em países como Estados Unidos e Canadá visando a redução dos impactos ambientais provenientes da implantação das estruturas para transporte de energia elétrica. Nesse contexto, o objetivo geral deste estudo foi elaborar uma revisão bibliográfica acerca do MIV com foco na saúde do solo, sobretudo no que se refere ao carbono do solo. A metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho foi a revisão sistemática. A base de dados utilizada foi *Web of Science*®, englobando assim, 43 anos de pesquisa. A quantidade de artigos publicados nesta temática é escassa. O MIV pode reduzir drasticamente a quantidade de vegetação derrubada e conseqüentemente a transferência de carbono para a atmosfera na forma de CO₂ é sensivelmente reduzida. Como o solo não fica exposto, promove benefícios a saúde do solo auxiliando no combate a processos erosivos e no desenvolvimento dos micro-organismos do solo. Portanto, o MIV parece ser uma estratégia interessante para ser amplamente adotada nas LTEE do Brasil.

Palavras-chave: Impactos ambientais, Saúde do solo, Manejo sustentável

ABSTRACT

Integrated Vegetation Management (IVM) in areas of electric power transmission lines and their potential impact on the soil: literature review

Obtained from different types of energy, electricity is transported and reaches consumers through complex electrical systems, made up of four stages: generation, transmission, distribution, and consumption. The installation of electrical power transmission lines (EPTL) can cause significant impacts on the environment during all phases of construction and operation, if there is not, together, adequate use of sustainable practices and actions with the aim of reducing these environmental damages. Important studies around the world show that the type of management adopted has a great influence on vegetation cover, soil quality and variation in soil C stocks. Integrated vegetation management (IVM) is a technique adopted for over 50 years in countries such as the United States and Canada aiming to reduce environmental impacts arising from the implementation of structures for transporting electrical energy. In this context, the general objective of this study was to prepare a bibliographical review about the MIV with a focus on soil health, especially about soil carbon. The methodology used to prepare this work was systematic review. The database used was Web of Science®, thus encompassing 43 years of research. The number of articles published on this topic is scarce. MIV can drastically reduce the amount of vegetation cut down and consequently the transfer of carbon to the atmosphere in the form of CO₂ is significantly reduced. As the soil is not exposed, it promotes soil health benefits by helping to combat erosion processes and the development of soil microorganisms. Therefore, MIV seems to be an interesting strategy to be widely adopted in EPTL in Brazil.

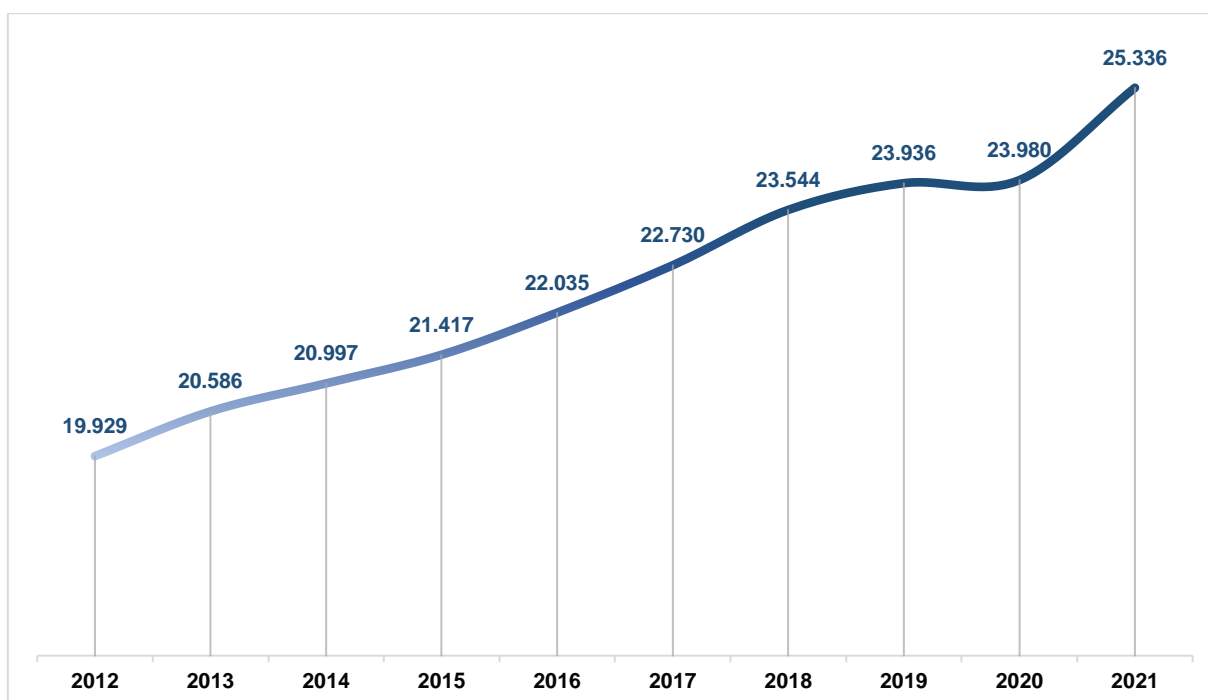
Keywords: Environmental impacts, Soil health, Sustainable management

1. INTRODUÇÃO

Eletricidade é o fenômeno físico associado a cargas elétricas estáticas ou em movimento (COPEL, 2024). A ideia de energia mais comum está na capacidade de realizar trabalho (SIMABUKUL et al., 2017), portanto, desempenha um papel fundamental na sociedade e nas organizações e a cada ano que passa o seu potencial torna-se mais competitivo devido aumento do consumo de bens e serviços (GEHRKE et al., 2021).

Outro fator relevante para o incentivo a esta tecnologia é o crescimento populacional mundial que está diretamente relacionado à crescente procura do serviço (gráfico 1). Um relatório da Organização das Nações Unidas (ONU) publicado em 2019, mostra que a previsão é de chegarmos a 9,7 bilhões de pessoas habitantes no planeta terra até 2050.

Gráfico 1 - Consumo de energia elétrica mundial entre 2012 e 2021 - 10 principais países (Terawatt-hora/ TWh).

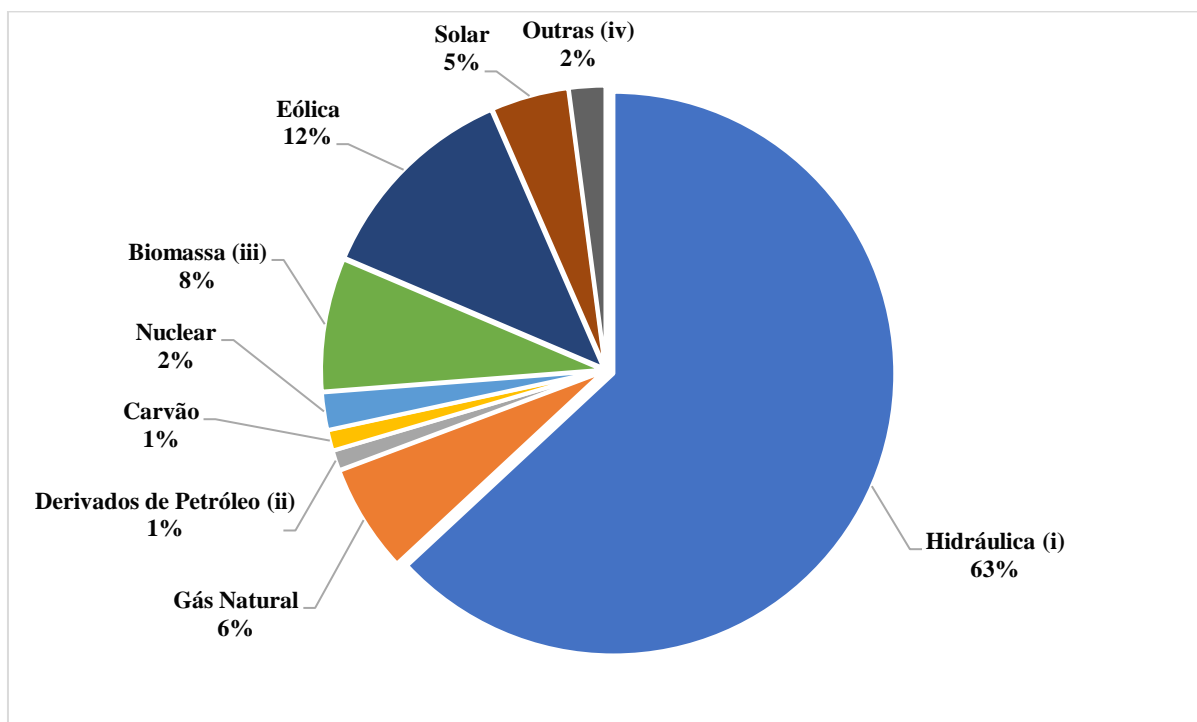


Fonte: A autora. Dados de U.S. *Energy Information Administration* (EIA).

Segundo dados divulgados pela *Energy Information Administration* (EIA) (2022), no ranking consumo de energia entre os anos de 2012 e 2020, China e os Estados Unidos ocupam, respectivamente, os primeiros lugares, onde juntos, são responsáveis por 46,5% da utilização do serviço. Entre os 10 principais países consumidores, o Brasil ocupa o 6º lugar, com representação de 2,3%.

Obtida a partir de diferentes tipos de energia (gráfico 2), a eletricidade é transportada e chega aos consumidores por meio de sistemas elétricos complexos, compostos de quatro etapas: geração, transmissão, distribuição e consumo (MELO, 2018). Em virtude da distância entre as fontes geradoras de energia e os centros de consumo, a energia chega até os consumidores finais através de uma extensa rede de transmissão e distribuição (BIASOTTO, 2018), sendo estas majoritariamente aéreas no Brasil.

Gráfico 2 - Geração elétrica por fonte no Brasil (GWh). Notas: (i) Inclui PCH, CGH e autoprodução; (ii) Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível; (iii) Biomassa: lenha, bagaço de cana e lixívia; (iv) Outras: gás de coque, outras não renováveis e outras renováveis.



Fonte: A autora. Dados de Balanço Energético Nacional 2023 fornecidos por EPE.

A instalação destas linhas de transmissão de energia elétrica (LTEE) é de suma importância para o desenvolvimento do Brasil e mundo, não somente porque transporta a energia necessária aos centros de carga, mas também porque oferece diversas possibilidades de emprego direto nos canteiros de obra, nas empresas transmissoras de energia e, indiretamente, nas indústrias e empresas fornecedoras de materiais, equipamentos e serviços (MENEZES, 2015).

As empresas concessionárias de energia elétrica estão distribuídas por todo território nacional, e segundo dados do Centro Brasileiro de Infraestrutura e Energia (ANEEL, 2022), o Brasil tem mais de 179.311,5 milhões de quilômetros de linhas de transmissão, e, devido a sua

extensão, a transmissão e distribuição passa por áreas com diferentes climas, solos e grande diversidade de biomas, definidos, sobretudo, pelo tipo de cobertura vegetal. Este fato promove diversos debates e discussões. Entretanto, GEHRKE et al. (2021) afirmam que esta crescente e constante demanda por recursos naturais traz como consequência alguns problemas ambientais.

2. ENERGIA ELÉTRICA: BREVE RETOMADA HISTÓRICA

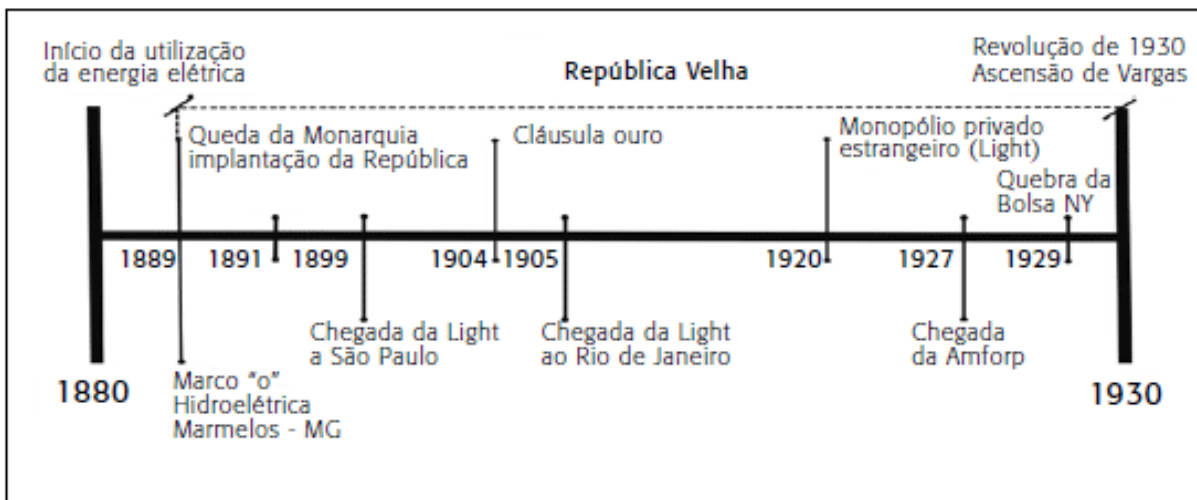
Ao longo dos séculos, a matriz energética das sociedades humanas tem evoluído bastante. Por muito tempo, no início da história, a força muscular foi a principal fonte de energia utilizada pelo homem até a chegada do primeiro avanço tecnológico: o uso do fogo e de utensílios para a caça e a pesca. Até meados de 1940, a principal fonte primária de energia do país era a lenha, que respondia por mais de 75% do consumo energético (CARVALHO, 2014).

No Brasil, os primeiros usos da energia elétrica se deram já no final do século XIX através das adoções das invenções de Thomas Alva Edison para fins de iluminação pública, financiadas e incentivadas pelo até então imperador Dom Pedro II, que reinou o Brasil de 1840 a 1889 e foi o responsável por trazer a novidade para o país. Segundo Santos e Reis (2002, p. 17):

No Brasil, a primeira demonstração de iluminação elétrica ocorreu no Rio de Janeiro, em 1879, quando da inauguração da Estrada de Ferro D. Pedro II. A seguir, em 1883, o imperador inaugurou em Campos (RJ) a primeira rede de iluminação pública, alimentada por uma máquina a vapor. Nesse mesmo ano ocorreu a primeira experiência de geração hidrelétrica em Diamantina (MG), quando uma pequena usina foi instalada no Ribeirão do Inferno por uma empresa interessada na produção de diamantes. Desta forma, a energia elétrica materializou-se como uma tecnologia disponível a partir do esforço combinado entre a ciência e a tecnologia, se transformando-se em uma valiosa mercadoria destinada a diferentes usos.

As mudanças na matriz energética mundial (figura 1), em termos da diversidade de fontes e padrões de uso, não mudaram muito ao longo dos séculos até a Revolução Industrial. A Revolução Industrial (entre 1760 e 1840) foi o período de grande desenvolvimento tecnológico que teve início na Inglaterra a partir da segunda metade do século XVIII e que se espalhou pelo mundo, causando grandes transformações, favorecendo, a partir de 1920, com a economia voltada para a industrialização, o número de usinas hidrelétricas começou a ter um constante crescimento.

Figura 1 - Apresenta os acontecimentos mais importantes entre os anos 1880-1930.



Fonte: Gomes & Vieira, 2002.

Os processos de urbanização e industrialização e o conseqüente desenvolvimento dos transportes rodoviários induziram um rápido crescimento do consumo de energia, levando o país a implantar dois sistemas fundamentais, o elétrico – para alimentar as cidades, o setor de serviços e uma parte das indústrias, e o do petróleo e gás – para suprir os transportes e outra parte das indústrias (CARVALHO, 2014).

Embora o sistema elétrico brasileiro sempre tenha sido alvo de debates e críticas, a possibilidade do uso da eletricidade permitiu que o Brasil passasse de país essencialmente exportador de produtos agrícolas para aos poucos se converter em país industrializado, propiciando notáveis transformações sociais, tornando, assim, a [...]eletricidade uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser um recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões (ANEEL, 2002).

Assim, fica evidente a importância do setor elétrico para o desenvolvimento da sociedade, contribuindo, inclusive, com a melhoria da qualidade de vida da população, haja vista que por meio do setor elétrico desenvolvem-se tecnologias que primam pela qualidade de vida das pessoas, contudo, embora salutar, o desenvolvimento desse setor é imprescindível a observância de regras e princípios que visem à proteção do meio ambiente como um direito humano (SALDANHA, 2012).

3. DIREITO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O desenvolvimento sustentável, que até a década de 1980 não era abordado como um assunto relevante, apresenta-se cada vez mais estudado e aplicado diante do rápido crescimento populacional e, conseqüentemente, a maior degradação do meio ambiente e seus recursos (Guimarães, Rover, & Ferreira, 2018).

De acordo com o Relatório *Brundtland* (no original em inglês, *Our common future*, e publicado em português sob o título “*Nosso futuro comum*”), desenvolvimento sustentável pode ser definido como:

[...] Um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforça o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações futuras [...] é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades (NOSSO..., 1988, p. 46).

O desenvolvimento sustentável integra e analisa as dimensões ambiental, social, econômica e institucional. Este modelo de avanço está conquistando cada vez mais destaque nas pautas internacionais, surgindo como alternativa ao enfrentamento da má administração dos recursos naturais.

No ano de 2015, o IBGE apresentou os indicadores de desenvolvimento sustentável para cada uma destas dimensões. No aspecto ambiental, uma das pautas mais discutidas, são avaliadas questões de atmosfera (emissões de origem antrópica de gases associados ao efeito estufa), terra (uso de fertilizantes e agrotóxicos e às queimadas e desmatamento), água doce (qualidade), oceanos, mares áreas costeiras (população e balneabilidade), biodiversidade (espécies extintas ou ameaçadas, áreas protegidas e espécies invasoras) e saneamento (acesso e abastecimento de água, acesso e esgotamento sanitário, acesso e serviço a coleta de lixo doméstico e tratamento de esgoto).

A Lei nº 6.938/81 estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) (BRASIL, 1981), onde o licenciamento ambiental tornou-se parte integrante da política nacional. Este ato tem por objetivo compatibilizar o desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico, essenciais à vida. Sendo assim, todas as atividades e empreendimentos que utilizam recursos ambientais e que possam causar riscos efetivos ou potenciais de impactos ao meio ambiente precisam obter as devidas licenças do órgão ambiental competente.

Outro grande e importante instrumento da legislação brasileira está previsto na constituição Federal de 1988, que dedica um capítulo à defesa do meio ambiente. O artigo 225.º diz que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (BRASIL, 1988, p. 58).

Desta forma, a instalação, ampliação, modificação ou operação de qualquer projeto, que de alguma forma interfira no meio ambiente, necessita de autorização. É o caso de métodos convencionais de instalação e limpeza de faixa que utilizam máquinas pesadas, como tratores com correntes ou desbastadores florestais e, eventualmente, reviram o solo quando ocorre o arrancamento da vegetação, evento este que promove, ao longo do tempo a degradação do solo, com conseqüente surgimento de erosão, compactação, lixiviação etc. Além de uma pressão negativa sob o meio ambiente e inúmeros impactos relacionados à sustentabilidade e saúde do solo, haja vista que nesta modalidade de corte, em grande parte do tempo, o solo das áreas de servidão fica desprotegido das intempéries climáticas. Importantes estudos em todo o mundo mostram que o tipo de manejo adotado tem grande influência sob a cobertura vegetal, qualidade do solo e sob a variação nos estoques de C do solo (BOLIN & SUKUMAR, 2000; CERRI et al., 2007; DENG et al., 2016; ZHANG et al., 2014), as quais têm grande implicação na manutenção da qualidade e saúde do solo e na estabilidade do clima, e, portanto, estão diretamente relacionadas à prestação de serviços ambientais.

Xavier (2007) reitera ainda que dentre os problemas mais relevantes à manutenção da vegetação sob as LTEE estão as espécies de rápido crescimento que exigem podas constantes, o tombamento de árvores de grande porte sobre as linhas, principalmente devido à ação de ventos e/ou pelo efeito de borda, a presença de áreas com declividades muito acentuadas, com potencial erosivo elevado e o risco de incêndio.

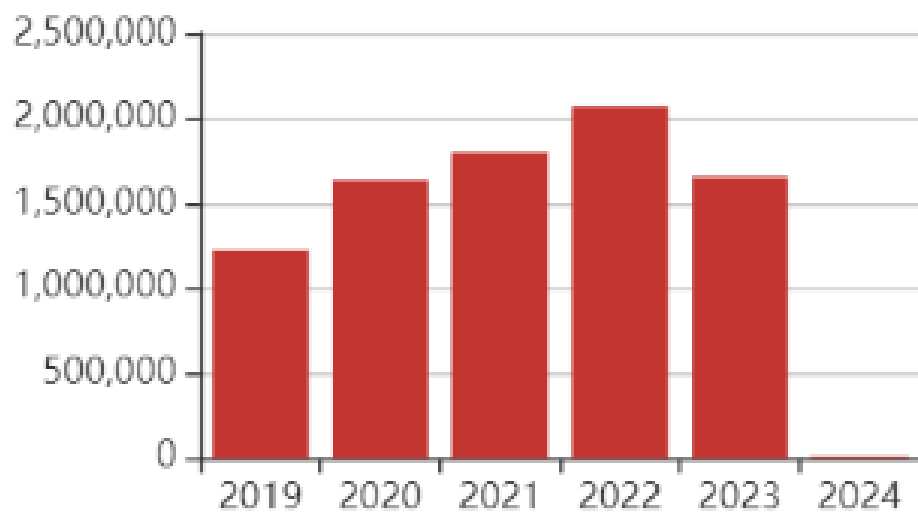
Paralelamente a esse cenário, sabe-se que as mudanças climáticas interferem consideravelmente na matriz energética de uma determinada região, causadas em grande parte pela emissão de gases provenientes da queima de combustíveis fósseis, evidenciando, e até gerando, a crise energética (SILVEIRA, 2018). Na identificação dos impactos causados ao meio ambiente é relevante considerar os principais aspectos ambientais que interagem com os meios físico, biótico e social, permitindo assim, propor as intervenções capazes de evitar conflitos, muitas vezes irreversíveis, que se interpõe na convivência da obra implantada e os atores direta ou indiretamente influenciados (SILVA & BRITO, 2014). O reconhecimento

destas alterações provocadas no meio ambiente representa significativa contribuição que, no entanto, ainda é um grande desafio para todo o setor elétrico no que diz respeito ao tratamento dos impactos ambientais (SILVA & BRITO, 2014), sobretudo aos impactos relacionados a saúde solo.

4. O IMPACTO AMBIENTAL DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo o *MapBiomas*, que fornece informações atualizadas sobre desmatamento no Brasil, é possível observar a tendência de crescimento desta problemática ao longo dos anos. Por esse motivo, atualmente, discussões em torno da temática ambiental ocupam lugar de destaque na agenda nacional e internacional.

Figura 2 - Evolução da área nacional de desmatamento.

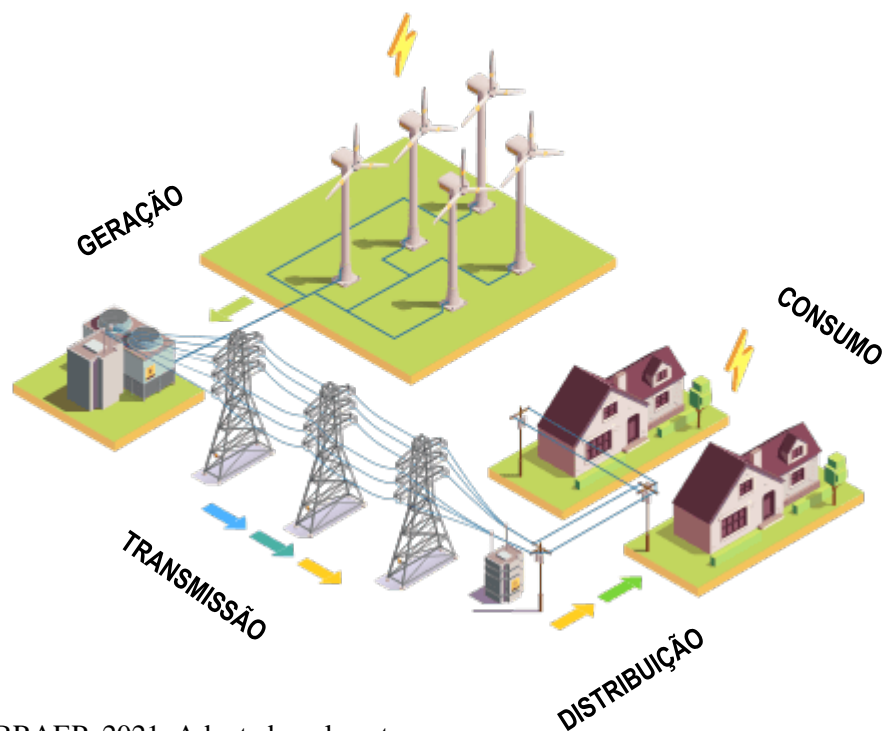


Fonte: MapBiomas, 2024.

Diversos órgãos privados e públicos, de todos os segmentos industriais têm investido em ciência e tecnologia a fim de traçar caminhos de desenvolvimento sustentável, promovendo a conservação e um modelo não-predatório de utilização de recursos naturais.

Para que a eletricidade chegue ao consumidor final, é transportada por meio de sistemas elétricos complexos, compostos de quatro etapas (figura 3): geração, transmissão, distribuição e consumo (MELO, 2018).

Figura 3 - Funcionamento das redes de energia elétrica.

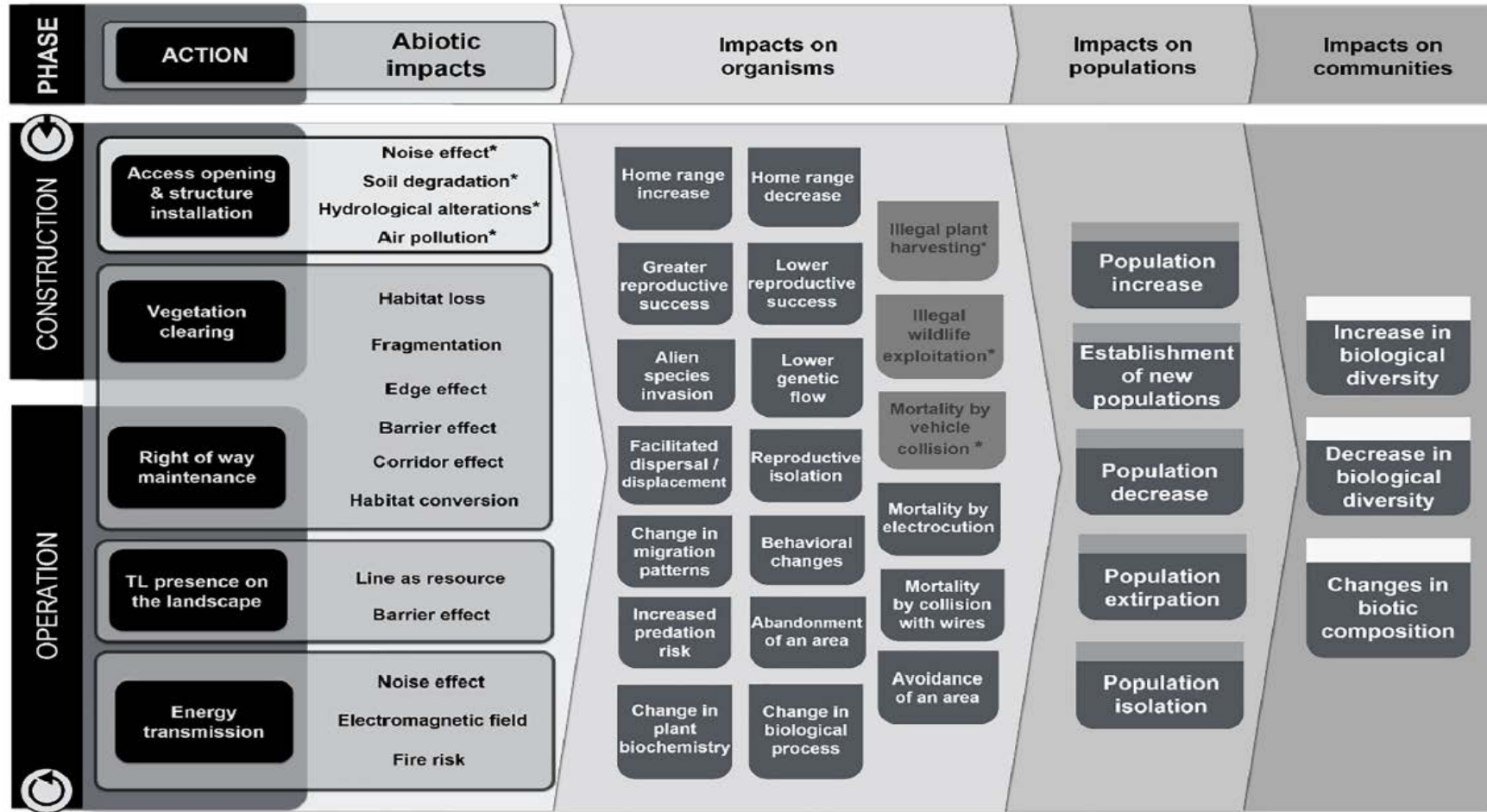


Fonte: INBRAEP, 2021. Adaptado pela autora.

A transmissão de energia elétrica é realizada através da implantação de grandes estruturas metálicas em percurso pré-determinado, através de análises de demanda e de paisagem. Para se criar resoluções efetivas, faz-se necessário entender as principais problemáticas ambientais sofridas pelo setor elétrico brasileiro, sobretudo no que se refere a implantação de LTEE.

Segundo alguns estudos, a instalação destas estruturas estão diretamente associadas a inúmeros impactos significativos no meio ambiente durante todas as fases de construção e operação (BAGLI et al., 2011; SILVA & BRITO, 2014; BIASOTTO, 2018) (quadro 1), caso não haja, conjuntamente, a utilização adequada de práticas e ações sustentáveis no intuito da redução destes prejuízos ambientais, já que há décadas o setor elétrico brasileiro tem mantido a estrutura das LTEE em segurança por meio do corte com ceifa total da vegetação (figura 4), através de métodos manuais ou mecanizados. Em média, a cada dois anos, equipes de manutenção, contratadas pelas concessionárias, realizam o controle da vegetação numa mesma área, aos quais proporciona, invariavelmente, a rebrota das espécies controladas (TORRE et al., 2019). TORRE et al. (2019) afirmam que este fato produz diversos efeitos indesejados como custos constantes com atividade recorrente, exposição dos trabalhadores a riscos associados e mobilização frequente da equipe de manutenção.

Quadro 1 - Quadro resumindo os impactos abióticos e bióticos.



Fonte: Biasotto, 2018.

A área submetida a supressão da vegetação é conhecida como faixa de servidão. Áreas localizadas ao longo do eixo de uma LTEE que representa a projeção longitudinal no solo onde são impostas restrições ao seu uso necessária para garantir a segurança das instalações da LT e das pessoas que convivem com a linha, mas cujo domínio permanece com o proprietário do terreno. Segundo Menezes (2015).

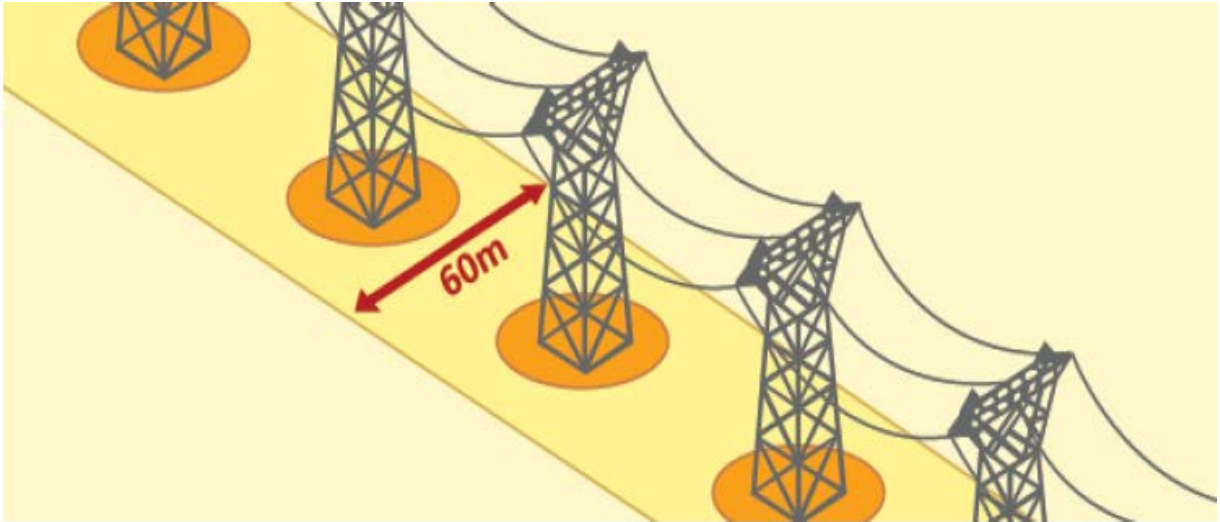
Figura 4 - Esquema de operação convencional das linhas de distribuição.



Fonte: A autora, 2024.

A largura desta faixa de passagem deve respeitar critérios que estipulam distâncias seguras em relação ao campo elétrico, variando de 30 a 60 metros, a depender da tensão transmitida. Normalmente, para linhas de 230 kV são utilizadas faixas de servidão com largura de 40 metros, enquanto para linhas de 345 ou 500 kV considera-se 60 metros de faixa (figura 5).

Figura 5 - Largura da faixa de servidão para LTEE de 500 kV.



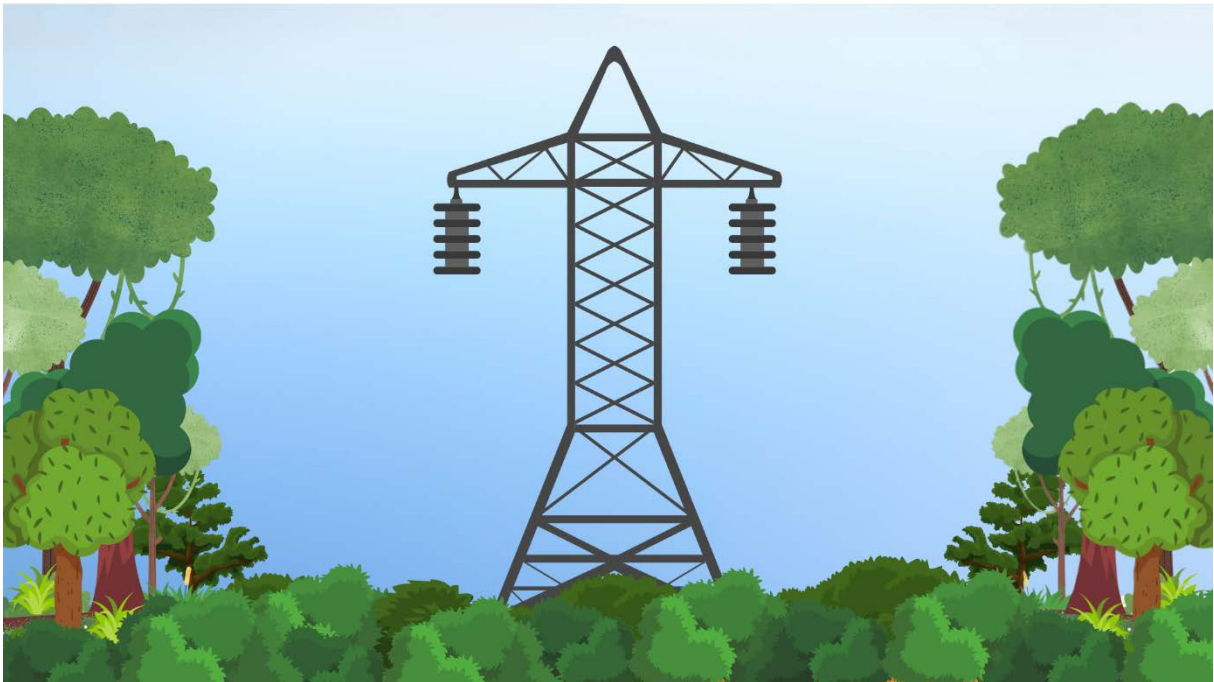
Fonte: Menezes, 2015.

Uma alternativa à resolução destes problemas em LTEE é o manejo integrado de vegetação (MIV), que estimula a adoção de práticas que favoreçam o crescimento de plantas que não interfiram no desempenho operacional das instalações elétricas.

5. UMA ALTERNATIVA AO DESFLORESTAMENTO: MANEJO INTEGRADO DA VEGETAÇÃO (MIV)

O manejo integrado da vegetação (MIV) pode ser definido como: um tipo de manejo que promove o desenvolvimento estável de uma comunidade de plantas de baixo porte e a eliminação de espécies de árvores de grande porte, combinando vários métodos de controle da vegetação, como os biológicos, químicos, manuais, mecânicos e culturais (US EPA, 2008; CASTRO et al., 2015; FREIRE, 2016; LEAL et al., 2021) e tem o objetivo geral de promover efeitos ecossistêmicos positivos, economicamente viáveis e socialmente responsáveis (NOWAK & BALLARD, 2005).

Figura 6 - Esquema de implantação do MIV.

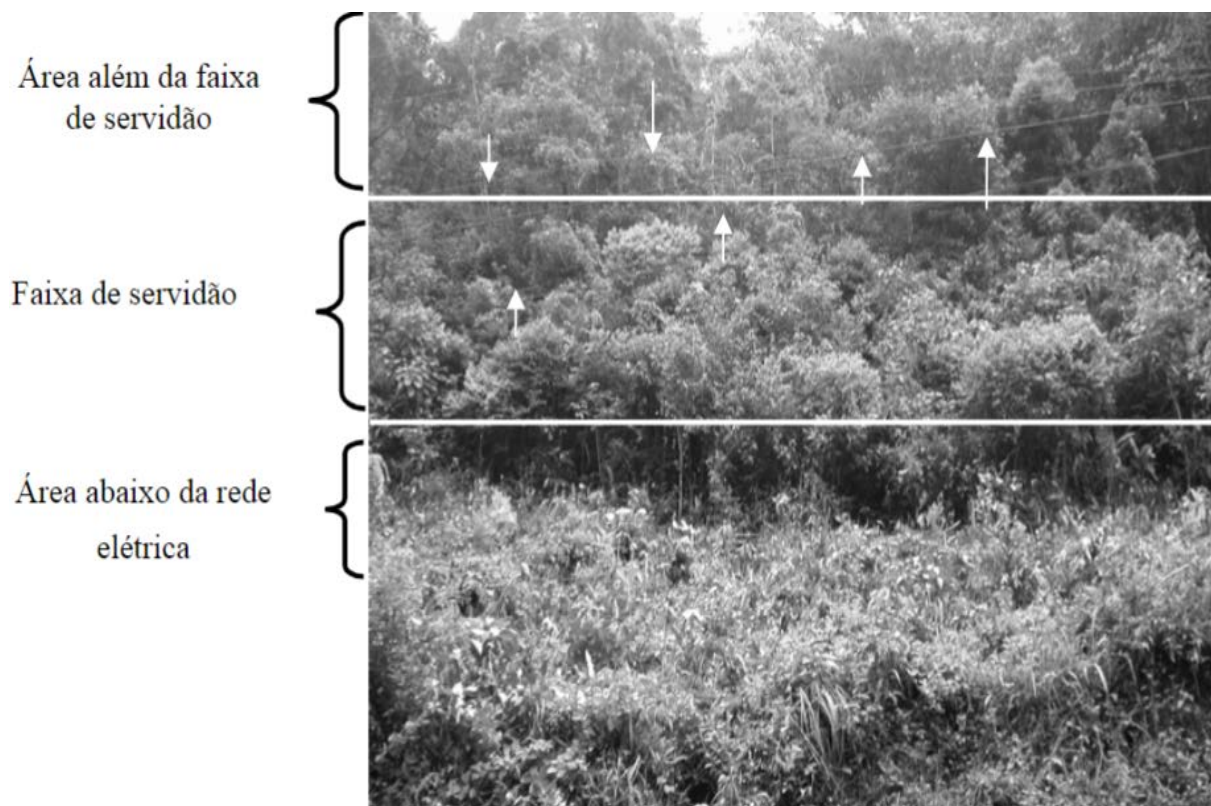


Fonte: A autora, 2024.

O MIV é um tipo de manejo que visa compreender, justificar, escolher, aplicar seletivamente e monitorar diferentes tipos de tratamento – englobando o corte e a aplicação de herbicidas, realizada de forma seletiva e direcionada às plantas cujas características não se enquadrem no perfil desejado em locais de aplicação pré-determinados (figura74), estimulando a formação de um grupo de plantas que exijam menor manutenção nas áreas de servidão e assim, preservando a formação de liteira e a continuidade dos processos químicos (reação do solo, disponibilidade de nutrientes e interações entre estes), físicos (textura,

densidade, aeração, retenção de água, compactação, estruturação, estabilidade de agregados) e biológicos (teor de matéria orgânica, respiração, biomassa de carbono, biomassa de nitrogênio, taxa de colonização e espécies de microrganismos, ciclagem de nutrientes).

Figura 7 - Locais de aplicação do manejo da vegetação em áreas sob linhas de transmissão de energia elétrica na Serra de Baturité. Setas brancas apontam a presença dos cabos de eletricidade.



Fonte: Xavier et al., 2007.

No Brasil, existem duas empresas qualificadas para fazer o gerenciamento, aplicação e participar de licitações das concessionárias de energia (FREIRE, 2016) entretanto, o MIV é utilizado apenas na manutenção de faixas de passagem e em caráter experimental por algumas concessionárias (áreas demonstrativas), principalmente para LTEE, onde a largura da faixa de segurança é maior e permite estratificação de partes da vegetação. É uma tecnologia que não tem sido efetivamente utilizada no Brasil, muito provavelmente pela ausência de informações anteriores como os tipos de produtos adequados, períodos para reaplicação dos tratamentos, eficácia em diferentes espécies vegetais e magnitude da resiliência da vegetação; entretanto seu estudo é de extrema relevância, pois sua utilização nas faixas de servidão de linhas de distribuição de energia permitirá que este processo e posterior manutenção seja simplificado, mais eficiente, menos oneroso e com menor impacto ambiental.

5.1 Etapas do Manejo Integrado da Vegetação (MIV)

O MIV é composto de 6 etapas bem definidas, sendo elas (figura 8):

Figura 8 - Etapas componentes do Manejo Integrado da vegetação em faixas de servidão de linhas de transmissão de energia elétrica.



Fonte: A autora (2023), adaptado de Nowak e Ballard (2001).

Etapa 1 - Avaliação da dinâmica do ambiente: Para implementação do MIV, o primeiro passo é a compreensão da dinâmica do ambiente - plantas e animais – que podem ser afetados pelo tratamento. Segundo o instituto de pesquisa de energia elétrica (EPRI, 2022), o manejo da vegetação necessariamente coloca um foco em plantas, mas todos os organismos afetados por atividades de gerenciamento devem ser considerados, incluindo microorganismos e vida selvagem. Um estudo detalhado das espécies vegetais presentes (reprodução, velocidade de crescimento e resistência) auxiliam na escolha dos indivíduos submetidos ao tratamento e são essenciais para o sucesso na implantação do manejo.

Etapa 2 - Definição de objetivos: As chamadas faixas de servidão (faixas de uso restritivo situadas embaixo das LT) apresentam cobertura vegetal, dimensões e contornos muito variados em função de características do terreno, da tensão transmitida e da técnica utilizada. Nóbrega (2019), apresenta um tabela com possíveis áreas para implantação das LTEE bem como alguns critérios para seleção no projeto (tabela 2). Dessa forma os objetivos

a serem avaliados na aplicação da metodologia do MIV podem variar de acordo com a localidade.

Tabela 2 - Critérios para estudos da seleção das áreas de implantação das LTEE.

Critério	Classe
Aeroportos	-
Áreas alagadas	-
Áreas de Preservação Permanente	Com vegetação rasteira
	Com fragmentos florestais
Hidrografia	Menor que 500m
	500-900m
	900-1800m
	Maior que 1800m
Rios navegáveis	-
Rodovias	-
Sistema Interligado Nacional	-
Unidades de Conservação	-
Uso do solo	Áreas urbanas
	Fragmentos florestais
	Solo exposto
	Vegetação rasteira
Estruturas	-

Fonte: Nóbrega, 2019.

Embora o principal objetivo do MIV seja a associação da permanência quase que inalterada da vegetação primária e o fornecimento da eletricidade de forma segura, há muitas formas de atingir este objetivo. Um dos exemplos citando em EPRI (2022), seria a possibilidade associando a contribuição para a conservação da biodiversidade em várias escalas, gerenciando o habitat de espécies ameaçadas e em perigo de extinção, ou favorecendo o habitat de plantas sucessionais que podem estar ausentes na região.

Etapa 3 - Definição das opções de tratamento: O manejo da vegetação pode ser agrupado em quatro categorias: física ou mecânica ou manual, químicos, culturais e biológicos (US EPA, 2008; EPRI, 2022). Esta etapa é uma parte crucial da prescrição (NOWAK & BALLARD, 2005). A coleta das informações do passo anterior, irão garantir o sucesso na escolha do tratamento adotado. Em LTEE, diferentes métodos de tratamento com herbicidas podem ser comumente utilizados para a redução dos problemas associados a implementação e operação não sustentável destas estruturas, incluindo métodos de corte de toco, basal, foliar e caule-foliar (EPRI, 2022), a fim de estimular impactos positivos a saúde e segurança pública e

ao ecossistema (MASON, 2000). Todos os herbicidas utilizados no MIV necessitam de avaliação pelo IBAMA para uso Não Agrícola – NA (EPA, 2008).

Etapa 4 - Análise econômica e ambiental do manejo: Após conclusão das etapas anteriores, serão avaliados aspectos socioeconômicos e o impacto ambiental de cada tipo de tratamento. Os custos dos tratamentos incluem investimentos em materiais e/ou mão de obra, e também custos associados a externalidades (EPRI, 2022).

Etapa 5 - Implementação de tratamentos específicos: Nesta etapa, após avaliação criteriosa das possibilidades e definição de orçamentos, o MIV é implementado.

Etapa 6 - Gerenciamento e monitoramento: Após a conclusão das etapas básicas de coleta de informações e implantação do MIV, os efeitos do tratamento são monitorados ao longo do curso de um ciclo de tratamento. Segundo EPRI (2022), no final do ciclo de tratamento, as condições da vegetação são comparadas as apresentadas durante as etapas de “definição de objetivos” (2ª etapa) e “implementação de tratamentos específicos” (5ª etapa). Quaisquer semelhanças ou disparidades entre os resultados "desejados" e os "alcançados" são analisadas e os planos de tratamento futuros poderão sofrer qualquer tipo de ajuste, conforme necessário. Este monitoramento é muito importante para a garantia da efetividade do tratamento e auxilia no ajuste de possíveis deficiências, contribuindo para a melhora da performance do MIV (EPRI, 2022).

Devido a diversos fatores como banco de sementes existentes na faixa, carreamento de sementes por ação do vento e de pássaros e eventuais novas brotações que possam ocorrer, a atividade deve ser cíclica e realizada em etapas bem definidas (TORRE, 2019). Nesse contexto, utilizando uma abordagem de revisão sistemática de literatura, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicabilidade do manejo integrado da vegetação (MIV) em áreas de linhas de transmissão de energia elétrica (LTEE) e sua relação com a qualidade do solo, sobretudo no que se refere ao carbono do solo.

6. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho foi a revisão sistemática, que segundo Schütz (2011) consiste em um movimento que tem base em critérios pré-determinados e evidências científicas consistentes, tendo como objetivo final colaborar com a escolha de estudos e/ou ferramentas para o desenvolvimento de artigos com informações originais. Para Sampaio & Mancini (2007) uma revisão sistemática é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada.

Base de dados e termos de busca

A fim de compreender a definição e etapas de implantação do manejo integrado da vegetação (MIV) e seus benefícios atrelados direta ou indiretamente à saúde do solo, sobretudo no que se refere ao carbono, foram selecionadas publicações que contivessem trabalhos completos e referenciais com resumo, em um período compreendido entre os anos de 1980 e 2023 indexados em uma das principais bases de busca de dados: *Web of Science*[®] englobando assim, 43 anos de pesquisa.

Os termos de busca foram inseridos na categoria “todos os campos”, e a pesquisa foi baseada em combinações de um grupo principal de palavras-chave com outros três grupos complementares, aplicados às bases de dados. O principal grupo foi relacionado ao tipo de manejo e incluiu “*integrated vegetation management*” OR “*integrat* vegetat**”. Os outros três grupos foram combinados com o grupo principal pelo operador booleano “AND” e foram relacionados ao meio ambiente e estrutura: (“*power line**” OR “*power-line**” OR “*powerline**” OR “*transmission line**” OR “*transmission system**”); (“*soil health*” OR “*soil degradation*” OR “*environmental impacts*”); (“*carbon*” OR “*organic matter*” OR “*decomposition*”).

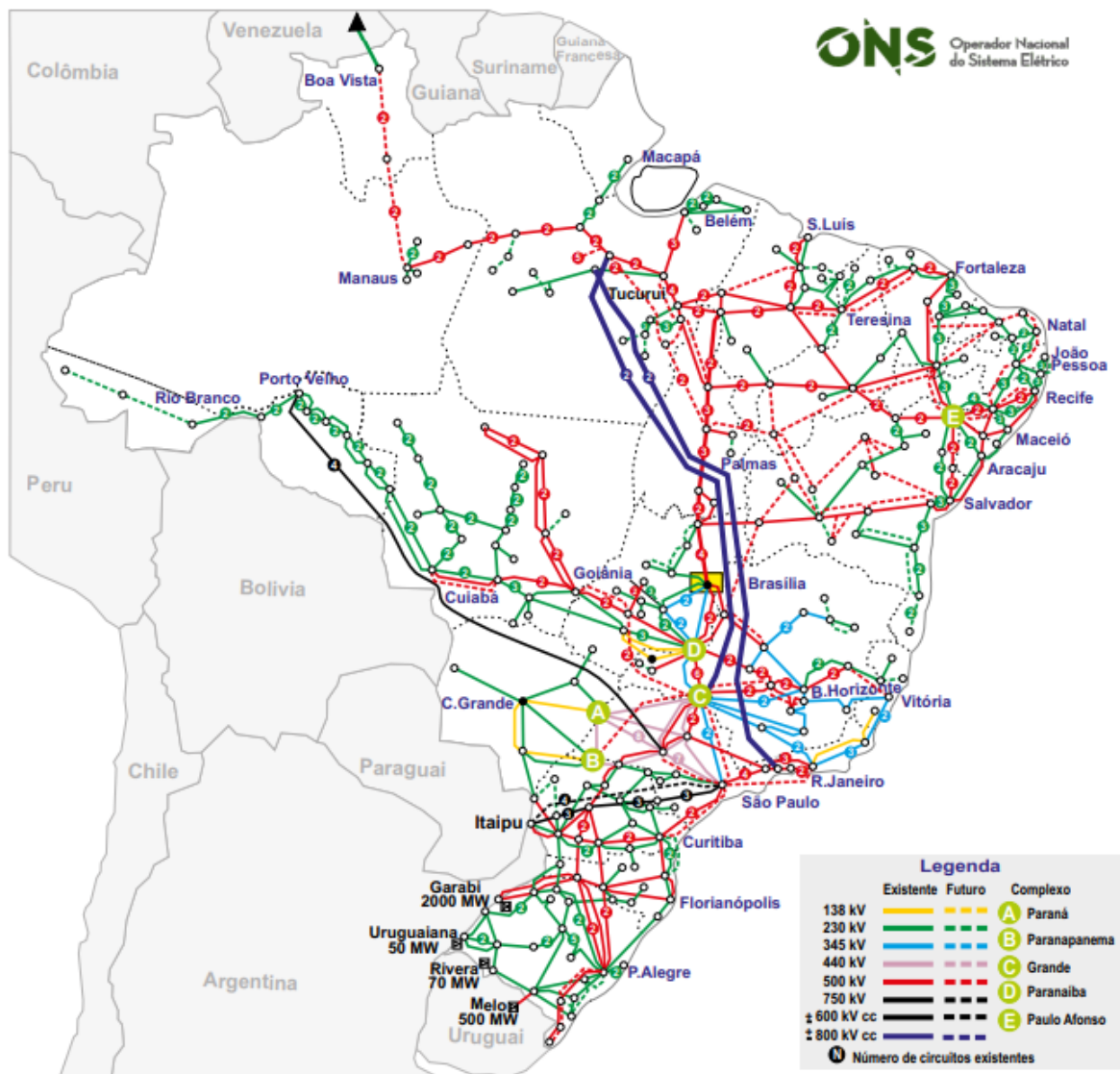
Neste trabalho foram consideradas bibliografias publicadas nas línguas inglesa e portuguesa às áreas de pesquisa relacionadas a esta revisão (ciências ambientais; saúde do solo; tecnologia e meio ambiente) publicadas até 30 de novembro de 2023. A revisão incluiu estudos brasileiros e para aumentar a representatividade mundial, estudos de países de outros continentes. Utilizamos também a literatura cinzenta, através do mecanismo de busca geral do Google combinando os termos “*manejo integrado da vegetação*”, MIV, “*linhas de energia*”,

linhas de transmissão”, “*impactos ambientais*”, “*propriedades do solo*”, *saúde do solo*”, “*dinâmica do C*”. Cortês (2006) reitera que apesar das restrições manifestadas pela comunidade acadêmica quanto ao uso deste tipo de referência, em muitos casos, ela constitui a única fonte primária de informação disponível sobre determinados temas.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo o mapa da dinâmica de distribuição de linhas de transmissão (figura 8) disponibilizados pela ANELL, em maio de 2022 o Brasil atingiu 183.082 km de linhas de transmissão, das quais cerca de 37,44% do total corresponde à classe de tensão de 230 kV e 39,06% de 500 kV.

Figura 8 - Dinâmica de distribuição de linhas de transmissão brasileira.



Fonte: Aneel – até 16/12/2022; Dados Abertos ONS – dez/2022.

Como pode ser observado no mapa, há uma grande concentração destas linhas nas regiões do nordeste, sudeste e sul do país. As linhas tracejadas mostram um aumento significativo das linhas de transmissão em breve, e ainda é possível perceber uma possível

grande área de exploração e implantação destas estruturas na região norte do país (figura 9). Segundo relatório especializado em acompanhar os progressos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável elaborado e divulgados pelos Banco Mundial, Organização Mundial da Saúde (OMS), Divisão de Estatística das Nações Unidas (UNSD) e outros parceiros como a Agência Internacional de Energia (IEA) e a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), no ano de 2022 aproximadamente 733 milhões de pessoas em todo o mundo continuam sem acesso à eletricidade e 2,4 bilhões de pessoas ainda cozinham usando combustíveis prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. No Brasil, quase um milhão de pessoas vivem sem acesso a eletricidade e a maioria desse contingente está disposto em zonas rurais e isoladas (IBGE, 2018).

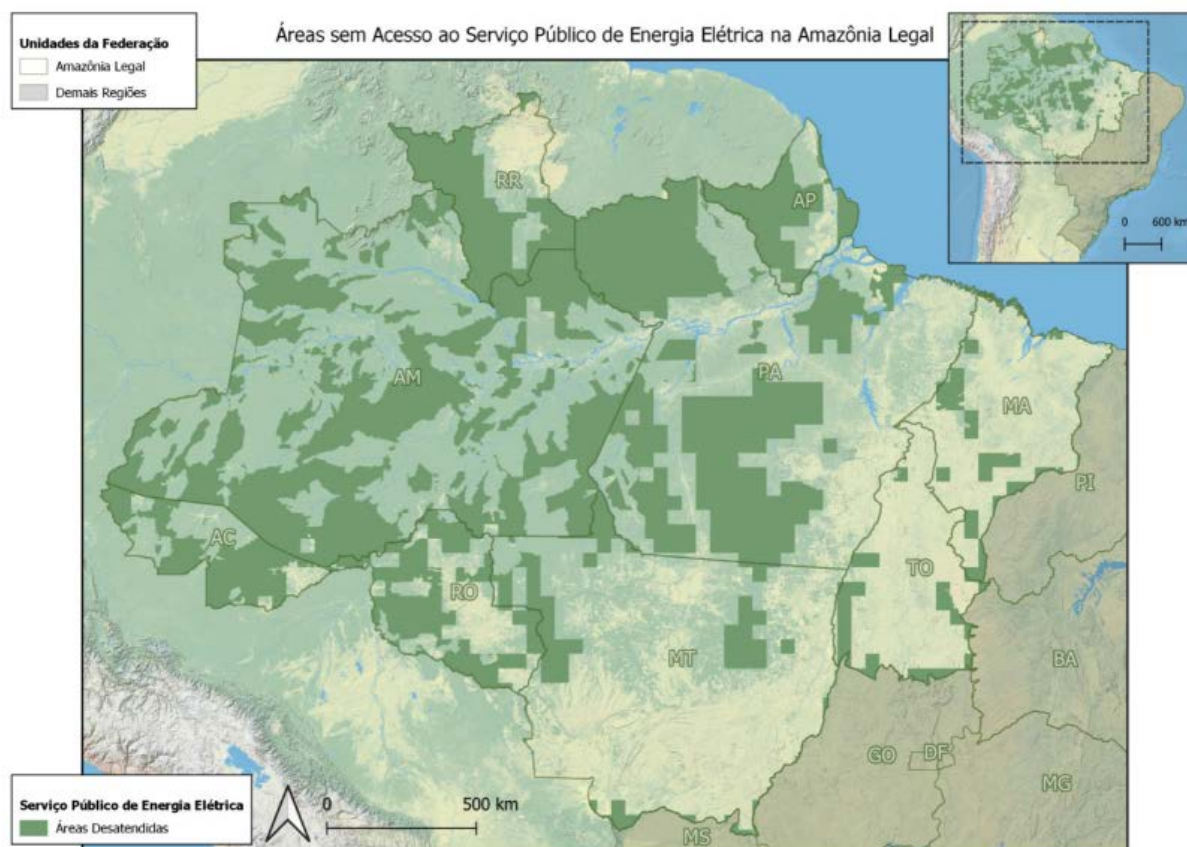


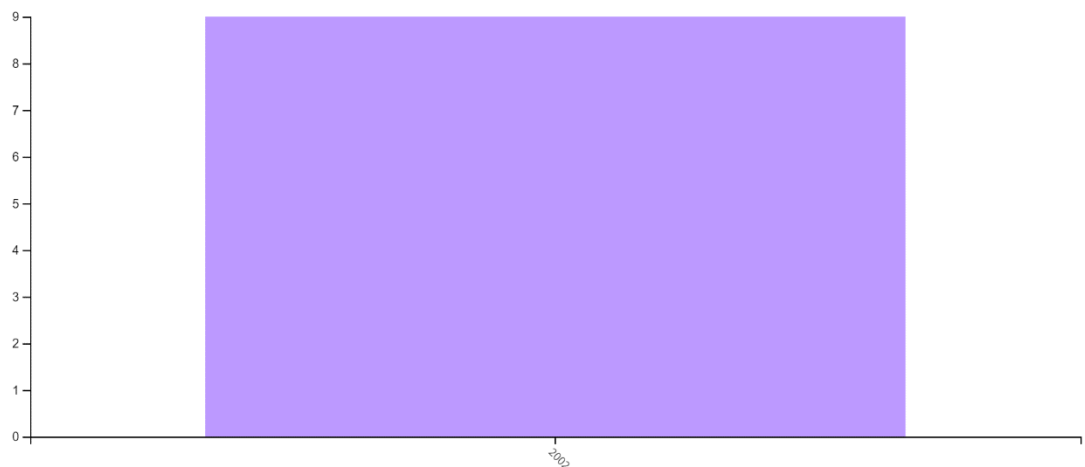
Figura 9 - Áreas sem acesso à energia elétrica nos estados da Amazônia Legal.

Fonte: Ferreira & Silva, 2021.

Na base de busca *Web of Science*® foram encontrados 9 (nove) artigos sobre manejo integrado da vegetação.

O MIV já é utilizado em países como Estados Unidos e Canadá há mais de 30 anos e foi introduzido no Brasil recentemente, inicialmente em áreas de Cerrado e Mata Atlântica, e surge como uma alternativa sustentável para resolução de grande parte dos problemas apresentados pela instalação das redes de distribuição de energia elétrica, sendo eficaz para o controle da vegetação, com bons resultados no controle de árvores de maior porte nas faixas de servidão (NATIONAL GRID, 1989; YAHNER & HUTNIK, 2004; TORRE et al., 2019). Este tema está majoritariamente atrelado a temática de ciências ambientais e todos estes artigos tiveram publicação no ano de 2022 (gráfico 3). Em um cenário ainda de pandemia, a ONU enfatiza os crescentes e recorrentes registros de queimadas, crises prolongadas de mudança do clima, perda da biodiversidade, poluição e resíduos. O interesse populacional na resolubilidade destas problemáticas leva pesquisadores e ambientalistas em todo o mundo a criar estratégias ambientalmente sustentáveis, socialmente justas e economicamente viáveis. Os principais países responsáveis pela elaboração dos artigos científicos são Estados Unidos e Canadá, os mesmos países que já fazem a utilização do manejo a anos, porém é possível perceber como escasso e recente o maior interesse na divulgação sobre a utilização desta tecnologia, haja vista que a estrutura de transmissão de eletricidade é um bem necessário e utilizado em todo o mundo.

Gráfico 3 – Ano de publicação dos artigos relacionados ao MIV na plataforma *Web of Science*®.

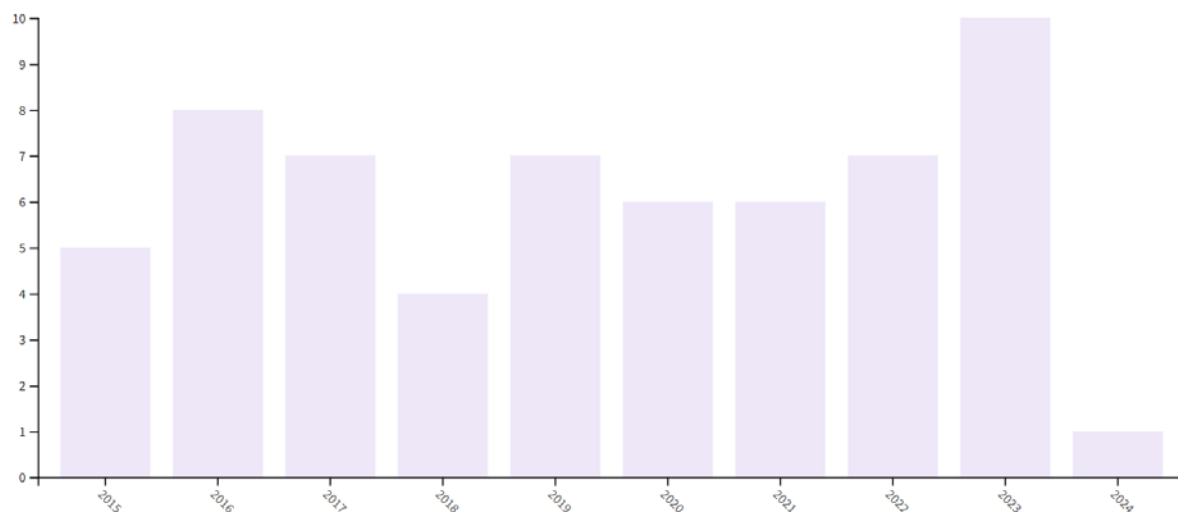


Fonte: Web of Science®, 2024.

Quanto aos impactos ambientais causados pela implantação de linhas de transmissão, 91 (noventa e um) artigos foram encontrados, totalizando, assim, 100 artigos contribuintes para a elaboração deste trabalho. Nenhum estudo relacionado o impacto do MIV sobre o solo e MOS foi encontrado. E através destes números apresentados, é possível afirmar que materiais publicados sobre MIV relacionados saúde do solo e, sobretudo, a dinâmica do C em áreas de LTEE são muito escassos, principalmente no Brasil. Esta é a primeira revisão sistemática que engloba a combinação destas temáticas.

Os estudos ambientais relacionados ao mercado elétrico vêm crescendo nos últimos anos (gráfico 4) e possui uma diversidade maior de países envolvidos nas pesquisas científicas. Neste quesito, o Brasil soma como segundo maior país interessado nestas temáticas tão relevantes (gráfico 5).

Gráfico 4 – Publicações relacionadas aos impactos ambientais das linhas de distribuição de



energia elétrica.

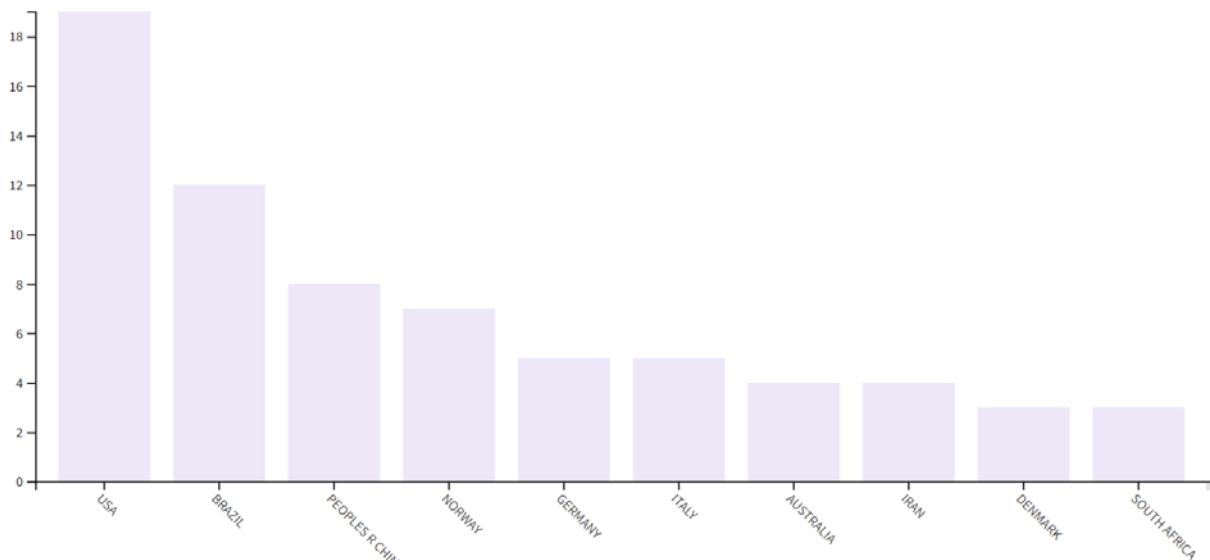
Fonte: Web of Science[®], 2024.

O solo é o substrato básico para a manutenção dos recursos naturais (organismos, ar e água), promovendo inúmeros e significativos serviços ambientais. Segundo a Organização das Nações Unidas (FAO, 2015) as principais funções do solo estão relacionadas a: sequestro de carbono, purificação de água e degradação de contaminantes, regulação do clima, ciclagem de nutrientes, habitat para organismos, regulação de enchentes, fonte de recursos genéticos e farmacêuticos, fornecimento de materiais de construção, herança cultural, produção de

alimentos, fibras e combustíveis e ademais, o solo suporta construções e fornece material para a edificação de estruturas tais como as necessárias para instalação e operação das LTEE. Diante de tamanha importância, o manejo adequado e sustentável é indispensável para a sobrevivência de todos os seres vivos.

Segundo *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), um programa de pesquisas sobre as mudanças ambientais e suas projeções para as próximas décadas, o conceito de qualidade física do solo engloba o conhecimento de propriedades e processos relativos à habilidade do solo em manter efetivamente os serviços ambientais ou serviços ecossistêmicos essenciais à saúde do ecossistema. Em ambientes onde o tipo de uso e manejo adotado não favorece a sustentabilidade dos solos (NOVAK, 2017), estes se tornam susceptíveis a degradação, um estado indesejável resultado da erosão (FAO, 2015; XIANGPING et al, 2021; OKTAN et al., 2022), lixiviação, compactação, laterização e desertificação (BAKKER et al., 2008; BESTELMEYER et al., 2015; LAMCHIN et al., 2015).

Gráfico 5 – Países de maior envolvimento em pesquisas relacionadas aos impactos ambientais das linhas de distribuição de energia elétrica.



Fonte: Web of Science®, 2024.

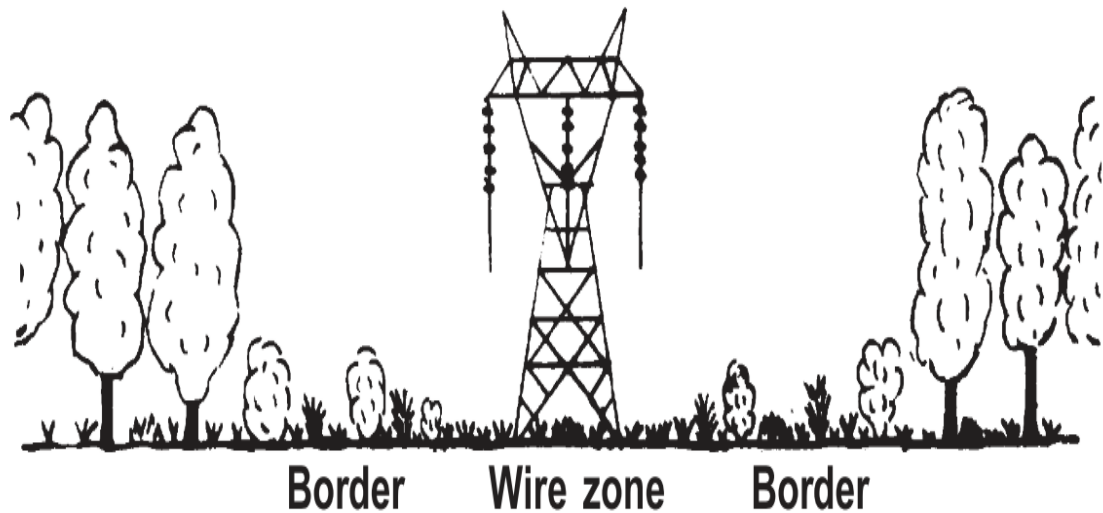
Os atributos mais amplamente utilizados como indicadores de qualidade física do solo são aqueles que levam em conta a profundidade efetiva de enraizamento, a porosidade total e a distribuição e tamanho dos poros, a distribuição do tamanho das partículas, a densidade do

solo, a resistência do solo à penetração das raízes, o intervalo hídrico ótimo, o índice de compressão e a estabilidade dos agregados (TOPP et al., 1997; SCHOENHOLTZ et al., 2000; SINGER e EWING, 2000; GOMES & FELIZOLA, 2006). A partir da instalação das LTEE e formação da faixa de servidão, estes atributos são comprometidos.

O crescimento de uma planta é determinado, entre outros fatores, pela quantidade de elementos essenciais a ela fornecidos (MENDES, 2007). Um solo produtivo deve ter as características químicas necessárias para que os nutrientes fiquem disponíveis e sustentem o crescimento das plantas, ter equilíbrio nutricional e boa interação entre o solo e os nutrientes. Nesse sentido, a reação do solo é o fator que, em geral, mais afeta a disponibilidade dos nutrientes às plantas. Esta reflete a atividade de íons H^+ e OH^- na solução do solo, cuja escala varia de 0 a 14 (BATISTA et al., 2018). A reação do solo pode ser caracterizada como reação ácida, reação alcalina ou reação neutra. Na reação ácida ($pH < 7,0$), há predomínio de íons H^+ na solução do solo, na reação alcalina ($pH > 7,0$), há predomínio de íons OH^- e na neutra ($pH = 7,0$), há equilíbrio entre estes íons. A remoção da vegetação nas LTEE pode resultar em acidificação do solo, uma vez que qualquer material vegetal é muito rico em bases (CAMARGOS, 2005). Além disso, em trabalho publicado por Oliveira & Zaú (1998), os autores abordam os impactos diretos da operação das LTEE, resumindo-os em dois aspectos básicos, quais sejam: nos impactos diretos do desmatamento propriamente dito, que se configura na destruição da flora e da fauna na faixa de servidão e no efeito indireto deste, o chamado efeito de borda, sobre as áreas de mata adjacentes.

Forman & Godron (1986) definem o efeito de borda como uma alteração na composição e/ou na abundância relativa de espécies na parte marginal de um fragmento (figura 10). Tabanez et al, (1997) complementam ao definir como a influência que o meio externo à área florestada tem em sua parte mais marginal, causando alterações físicas e estruturais, como observado em resultados obtidos por Pohlman et al. (2009), onde indicaram que as clareiras de infraestruturas de linhas de alta tensão e rodovias podem reduzir a disponibilidade de habitat de interior de matas, haja vista que arbustos árvores de menor porte são cultivadas nas zonas de borda e gramíneas são estimuladas e manejadas na zona de transmissão.

Figura 10 - Abordagem da zona de borda e do corredor de passagem dos linhões de energia elétrica.



Fonte: Adaptado de Yahner et al., 2010.

Com a ausência da cobertura vegetal as chuvas auxiliam no desprendimento das partículas do solo, favorecendo o carregamento do material superficial, podendo provocar pequenas ravinas que poderão evoluir para sulcos e até voçorocas, prejudicando assim a própria infraestrutura do empreendimento gerando impacto em grande escala (SILVA & BRITO, 2014). Embora o solo seja amplamente conhecido pelo seu robusto potencial na armazenagem de água (AMER, 2011; KLEIN e KLEIN, 2015), este atributo é influenciado diretamente por níveis de aeração. Este é o processo pelo qual os gases, produzidos ou consumidos no solo, são trocados por gases da atmosfera (PHENE, 1986). A deformação do solo tem uma relação direta com a porosidade total do solo, especialmente a macroporosidade, indicando que, quanto maior a deformação do solo, maiores serão as reduções de macroporosidade e porosidade total do solo (SUZUKI, 2005).

Vários são os problemas que um solo compactado pode apresentar. A resistência do solo a penetração tenta representar a força que as raízes das plantas devem exercer para romper o solo (AGUIAR, 2008). Ela é influenciada diretamente pela densidade do solo, indicando assim o estado de compactação. A porosidade do solo é determinada pela forma como se arranjam suas partículas sólidas, destacando que se elas se arranjam em íntimo contato, ocorre predominância de sólidos na amostra de solo e a porosidade total é baixa; e se, ao contrário, as partículas se encontram arranjadas em agregados, há a predominância de vazios na amostra de solo e a porosidade é alta (RIBEIRO, 2007). Quando a densidade do solo é aumentada e promove consequente redução da porosidade, há interferência na permeabilidade das raízes e na disponibilidade de água e nutrientes (GRANT, 1993). Em

LTEE, pode ocorrer com facilidade, principalmente na fase de instalação de estruturas pelo tráfego de tratores e outros grandes maquinários.

De modo geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas adequadas ao desenvolvimento normal das plantas (ANDREOLA et al., 2000). Neste quesito, a implantação do MIV aumenta a resistência do solo à compactação ao estimular o desenvolvimento vegetal, diminuindo sua magnitude ou seus efeitos, e estas são algumas dos fatos que reforçam a necessidade de adoção de técnicas de manejo adequadas para sua preservação. A implantação do MIV em áreas de linhas de distribuição elétrica se apresenta como uma alternativa eficiente para otimização destas questões ao estimular a permanência da vegetação e a rebrota de novas unidades com características desejáveis, favorecendo a cobertura do solo.

Um solo ideal para o bom desenvolvimento das plantas e para habitat microbiano apresenta uma composição volumétrica aproximada de: 25% de ar, 25% de água, e 50% de sólidos, sendo 45% de matéria mineral (areia, silte e argila) e 5% de matéria orgânica (4,5% de matéria orgânica morta e 0,5% de organismos vivos (EMBRAPA, 1994; BATISTA et al., 2018). Embora pareça pouco em termos matemáticos, os microrganismos são os mais diversos possíveis e a sua quantidade no solo é enorme.

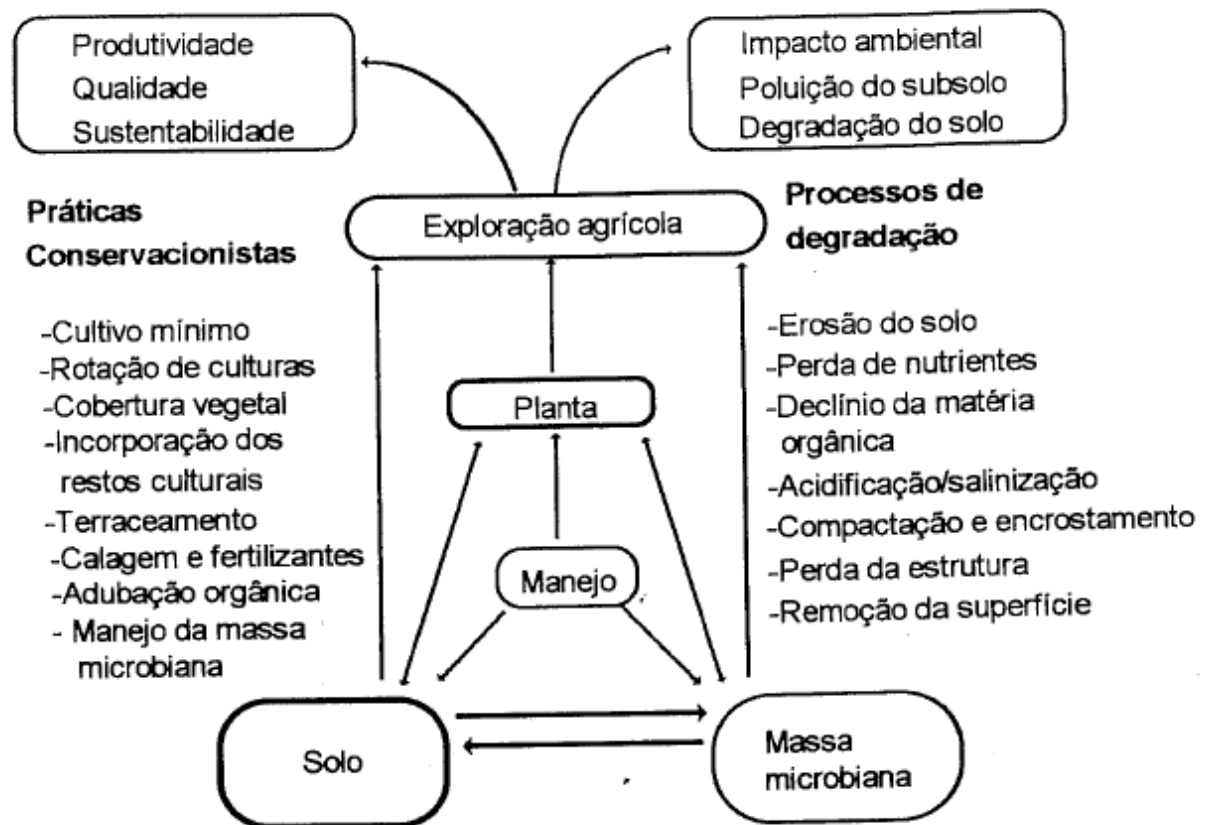
Em seu estado natural, o solo se encontra coberto pela vegetação, que protege da erosão e contribui para a manutenção do equilíbrio entre os fatores de sua formação e aqueles que provocam sua degradação (SIQUEIRA et al., 1994). Como já citado, a necessidade da remoção da cobertura vegetal nas áreas de linhas de servidão é preocupante em vários aspectos. Além da presença de cabos e torres que transportam a energia, as LTEE interagem com o ambiente através da faixa de servidão, a área aberta exigida para a instalação dessas estruturas, que varia a largura conforme a tensão (BMTE 2015).

Este impacto sobre a cobertura vegetal promove, além da perda das espécies suprimidas, alterações na composição e na quantidade de biomassa, podendo desencadear processo de esgotamento do substrato por desequilibrar a reciclagem de nutrientes, pois é a fração da MOS que se decompõe mais rapidamente (VASCONCELOS et al., 2015). Siqueira et al., (1994) afirmam que qualquer, na verdade, qualquer sistema produtivo oferece riscos ao meio ambiente, mas que existem práticas que podem ser adotadas para a minimização destes impactos.

Os organismos desempenham importantes papéis na gênese do habitat onde vivem (Quadro 1). Em ecossistemas em clímax, a biota e o solo encontram-se em equilíbrio dinâmico, para garantir sua sustentabilidade e a biodiversidade. Sendo este equilíbrio

facilmente perturbado pelo homem, e até mesmo por fenômenos naturais (SIQUEIRA et al., 1994).

Quadro 2. Componentes do agroecossistema sob ação climática, relações entre eles, e implicações no meio ambiente.



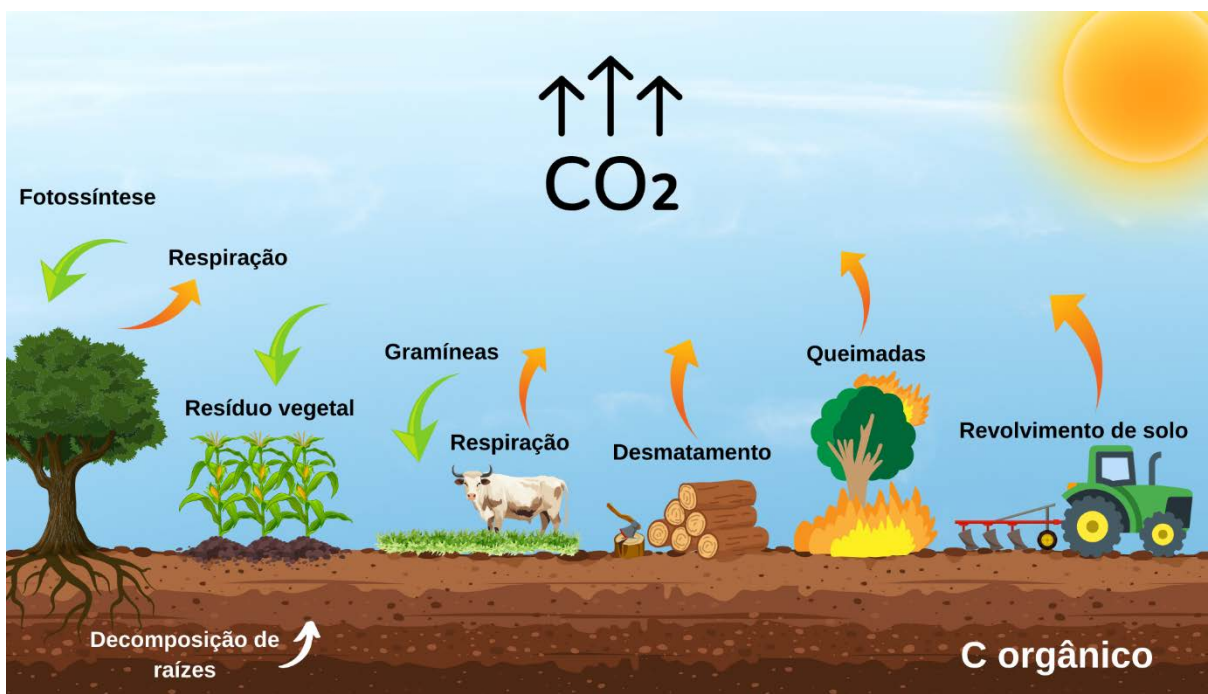
Fonte: Siqueira et al., 1994.

Uma das principais características mencionadas sobre o MIV é o estímulo e a preservação da vegetação, favorecendo o de acúmulo de matéria orgânica sob a superfície de solo. O material orgânico contribui de várias formas para a fertilidade do solo, dando uma estrutura favorável e estável sendo um reservatório de elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas por meio de sua oxidação de nutrientes liberados de uma forma aproveitável pelas plantas, além de ser um corretivo do solo ao combinar-se com o alumínio, ferro, manganês e outros elementos que podem tornar-se tóxico quando em excesso. Dessa forma, aumenta a disponibilidade dos nutrientes benéficos para as culturas (SILVA et al. 1989).

O carbono orgânico é um dos indicadores mais frequentemente usados na avaliação da qualidade e da sustentabilidade do solo (MAIA, 2015). Segundo Cerri, (2009) a *Encyclopédia of Soil Science* (2006) descreve a matéria orgânica como sendo “todos os derivados de materiais vegetais e animais incorporados ao solo ou dispostos sobre sua superfície, na forma viva ou nos vários estádios de decomposição, excluindo-se a parte aérea das plantas, sendo indispensável no solo para boa disponibilidade de nutrientes, agregação do solo e no fluxo de gases do efeito estufa entre a superfície terrestre e a atmosfera (LEITE et al, 2003).

A dinâmica do C orgânico é determinada pelo balanço entre “*inputs*” e “*outputs*”, com influência direta das condições climáticas, propriedades de solo e tipo de manejo adotado (figura 11), e a sua persistência é baseada na recalcitrância, inacessibilidade espacial ou proteção física, e na adsorção à superfície de minerais ou metais (SIX et al., 2002; LÜTZOW et al, 2006; SCHMIDT et al., 2011; DUNGAIT et al., 2012).

Figura 11 - Representação esquemática da dinâmica do C.



Fonte: A autora, 2024.

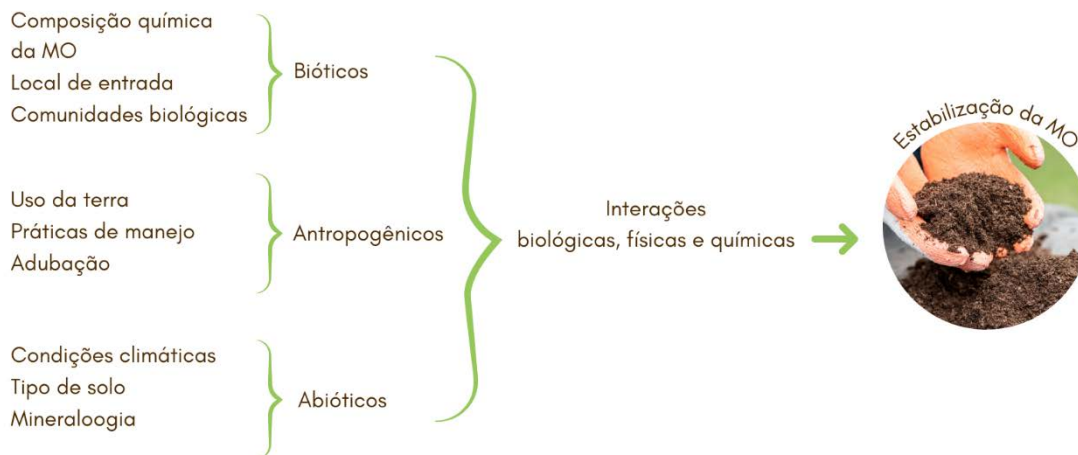
Apesar de serem tratados individualmente, tais mecanismos atuam de forma integrada e simultânea no solo, com efeito sinérgico ou antagonista, e com a importância relativa de cada um deles dependendo das condições ambientais, comunidades biológicas e propriedades do solo (clima, uso de terra, fauna edáfica, mineralogia, profundidade do solo).

Milne et al., (2015) em artigo intitulado “Carbono do solo – Múltiplos benefícios”, afirmam que aumentar, ou pelo menos manter o conteúdo de carbono do solo, produz benefícios múltiplos e substanciais. Em ecossistemas terrestres, a MOS é um importante reservatório de carbono, nutrientes e energia, e não há dúvidas quanto à sua essencialidade na fertilidade, produtividade e sustentabilidade das áreas agrícolas e não-agrícolas (LEITE, 2004). A MOS, por sua vez, tem papel vital na manutenção do solo e é o fator chave nas modernas práticas de manejo sustentável da terra, além da melhoria na capacidade de retenção de água (BUDZIAK et al., 2004). SILVA et al. (1999) ressaltam que ela contribui de várias formas para a fertilidade do solo, dando uma estrutura favorável e estável, sendo um reservatório de elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas por intermédio de sua oxidação de nutrientes em formas assimiláveis, além de aumentar a capacidade de troca de cátions em solos arenosos (CTC), elevando a retenção de cátions para evitar, assim, a lixiviação.

O equilíbrio entre a entrada e saída de C no solo é perturbado pela mudança do uso da terra até que um novo equilíbrio seja eventualmente alcançado no novo ecossistema. Durante esse processo, o solo pode agir como fonte ou sumidouro de carbono, conforme a diferença entre entradas e saídas (GUO & GIFFORD, 2002).

Neste sentido, dois fatores principais que influenciam a estabilização/desestabilização da MOS são destacados: (i) os mecanismos bióticos relacionados às plantas, fauna e microrganismos, e (ii) mecanismos abióticos relacionados à localização espacial da MO no solo e interações organominerais (DIGNAC et al., 2017). Adicionalmente, é interessante considerar os fatores antropogênicos, relacionados ao uso de terra, práticas de manejo e outras ações que alteram rapidamente a dinâmica do C no ambiente (figura 12).

Figura 12 - Fatores bióticos, abióticos e antropogênicos afetam as interações químicas, físicas e biológicas que regulam os processos de estabilização e desestabilização da MOS.



Fonte: A autora, 2023.

Fatores abióticos tais como o clima, a fertilidade do solo e a topografia, juntamente com fatores antrópicos, interagem e definem o tipo de vegetação, que por sua vez determinam a quantidade, localização e composição do C a ser incorporado no solo (JACKSON et al., 2017). As plantas são componentes integrais do ciclo global do C, e como organismos autotróficos são capazes de fixar o C da atmosfera para produção de biomassa. Os resíduos vegetais que são depositados no solo desempenham um papel preponderante para a formação da MO através do processamento por microrganismos heterotróficos (LEHMANN e KLEBER, 2015).

De acordo com KUZUYAKOV & DOMANSKI (2000), o aporte de C das plantas no solo se dá através de duas vias principais: (i) produção de liteira de raízes e parte aérea, e (ii) exsudatos radiculares e outras substâncias orgânicas produzidas e liberadas na região da rizosfera. Ao iniciar seu desenvolvimento e lançar suas raízes, as plantas influenciam o microambiente ao seu redor e o crescimento das raízes altera a estrutura física do solo.

As raízes extraem nutrientes do ambiente, competindo com microrganismos, além de extrair água e alterar a umidade do solo (WALLENSTEIN, 2017). Alterando o ambiente físico e químico ao seu redor, bem como as comunidades biológicas na rizosfera (LAMBERS et al., 2009), as interações planta-microrganismo-solo, principalmente na rizosfera, representam um mecanismo chave para a persistência da MOS (figura 13).

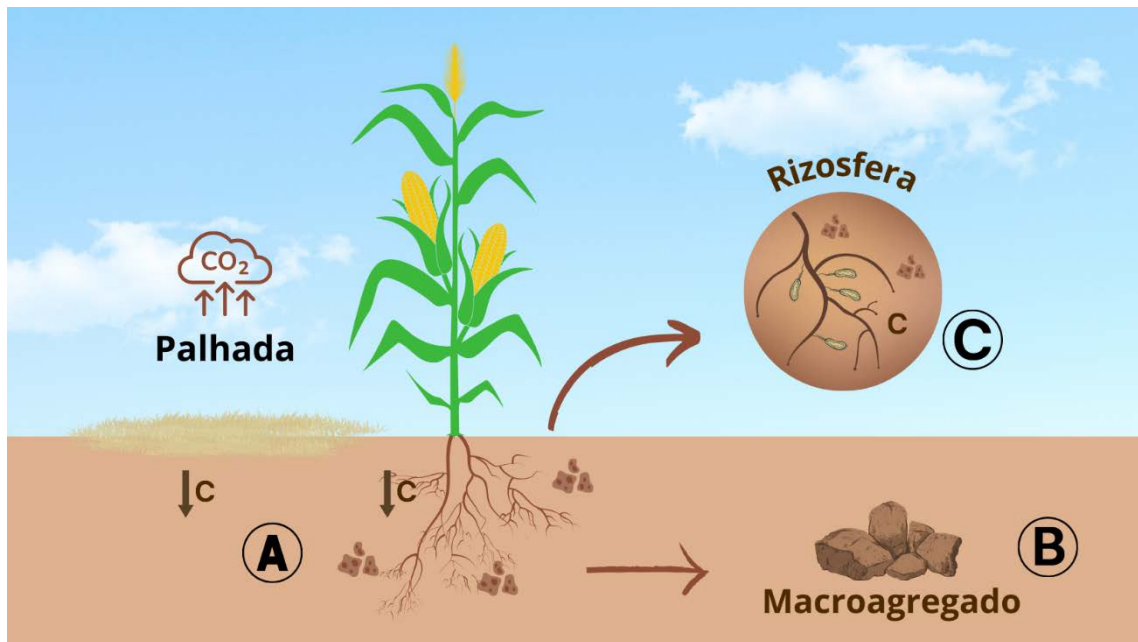


Figura 13 - Interações planta-microorganismo-solo, na região da rizosfera.

Fonte: A autora, 2023.

Interações planta-microorganismo-solo, na região da rizosfera afetam diretamente a dinâmica do C no ambiente. (A) as entradas de C dentro do solo, principalmente vias exsudatos radiculares e necromassa, constituem a principal fonte de MO para o solo; (B) tais entradas de C mais lábeis em profundidade tem efeito positivo sobre as comunidades biológicas. Hifas fúngicas se desenvolvem e juntamente com a ação física das raízes e secreção de mucilagem, a macroagregação e, conseqüentemente, a proteção física do C é favorecida. (C) compostos orgânicos com baixa massa molecular liberados na rizosfera são facilmente metabolizados por microrganismos, que sintetizam produtos secundários preferencialmente associados à matriz mineral do solo.

Dois terços dos fotoassimilados produzidos pelas plantas permanecem acima do solo e são usados para a produção de biomassa e respiração (PAUSCH e KUZYAKOV, 2018), sendo o restante direcionado para as raízes (FRESCHET et al., 2013). As plantas possuem sistemas radiculares com características e funções diferentes (e.g., arquitetura, morfologia, associações mutualísticas), as quais determinam a influência do sistema radicular sobre a MOS.

A maioria das espécies de plantas comumente se associam com organismos simbióticos para melhorar a aquisição de nutrientes do solo (JANSSON e HOFMOCKEL, 2020). A presença de organismos simbiontes, como bactérias fixadoras de nitrogênio e fungos

micorrízicos, influencia a formação de agregados do solo e contribui para a entrada de resíduos que “alimentam” o reservatório intermediário da MO. Segundo Zhou et al. (2020), a associação com fungos micorrízicos arbusculares aumentam a rizodeposição líquida, favorecendo o acúmulo de MOS na região da rizosfera. Sistemas radiculares mais profundos, densos e ricos em raízes finas melhoram a estabilidade de agregados do solo e aumentam o aporte de MO em profundidade, onde interações químicas com a fração mineral do solo estabilizam a MO (JONES et al., 2009).

A rizosfera é conhecida como uma estreita zona no entorno das raízes, a qual é influenciada pela atividade radicular (HINSINGER et al., 2009). Os compostos orgânicos liberados na rizosfera são chamados de rizodepósitos (JOBÁGY e JACKSON, 2000). Todos os compostos presentes nos tecidos radiculares podem ser liberados dentro do solo na forma de rizodepósitos, incluindo carboidratos, amino ácidos, ácidos graxos e até mesmo hormônios (JONES et al., 2009). A liberação destes compostos na rizosfera pode ocorrer a partir da renovação das células de fronteira das raízes, a senescência de tecidos da epiderme e dos pelos radiculares, secreção de mucilagem e volatilização (JONES et al., 2009).

Desta forma, a rizodeposição é uma importante fonte de C orgânico para o solo, e é responsável por induzir mudanças na natureza física, biológica e química do solo (JONES et al., 2009), regulando os fluxos de água (MORADI et al., 2012), o *turnover* e sequestro de C (KÖGEL-KNABNER, 2002), e a atividade das comunidades microbianas (NGUYEN, 2003). Estudos indicam que cerca de 40% do C fixado pelas plantas é alocado para o solo (JONES et al., 2009). Diferentemente do C derivado de tecidos vegetais da parte aérea, os quais são basicamente compostos por polímeros estruturais, a rizodeposição é composta principalmente de compostos orgânicos de baixo peso molecular, os quais são facilmente metabolizados por microrganismos do solo (VAN HEES et al., 2005; JONES et al., 2009), e quando adicionados em grande quantidade ao solo, frequentemente alteram a taxa de mineralização nativa da MOS (HUO et al., 2017), processo amplamente conhecido como efeito *priming* (KUZUYAKOV, 2010).

Historicamente, assumia-se que a quantidade e a qualidade dos resíduos estruturais depositados acima do solo eram responsáveis pela manutenção e/ou aumento dos níveis de C no solo. Contudo, avanços científicos têm mostrado que a contribuição das entradas que ocorrem dentro do solo excede àquelas acima do solo para a formação da MOS estável (BALESDENT et al., 1996; RASSE et al., 2005) (tabela 2).

Tabela 3 - Contribuição relativa dos aportes de C acima e dentro do solo para formação da MOS estável.

Tipo de vegetação ou tratamento	Carbono aportado dentro do solo e retido na MOS (%)	Carbono aportado acima do solo e retido na MOS (%)	Relação
Agricultura convencional	35%	4,8%	7,3
Agricultura de baixo insumo	65%	4,9%	13,3
Agricultura orgânica	91%	3,6%	25,3
Culturas C3 e C4 mistas	36%	4,0%	9,0
Culturas C3 e C4 mistas (adub.)	18%	10%	1,8
Milho	61%	5,0%	12,2
Soja	80%	3,0%	26,7
Centeio de cobertura (5 meses)	26%	5,2%	5,0
Centeio de cobertura (12 meses)	27%	3,5%	7,7
Centeio de cobertura	24%	5,9%	4,1
Milho	21%	12%	1,8
Milho	38%	11%	3,5
Milho	73%	14%	5,2
Milho adubado	58%	16%	3,6
Ervilhaca	49%	13%	3,8
Milho	34%	8,0%	4,3
Média	48%	7,7%	6,2

Fonte: Adaptado de Jackson et al., 2017.

A maioria do material orgânico aportado acima do solo na forma de folhas, troncos e ramos, permanece retido na camada superior do solo, principalmente na forma de matéria orgânica particulada (MOP), a qual é rapidamente perdida em um curto espaço de tempo, pouco se transloca para camadas mais profundas do perfil e tem uma contribuição limitada para o acúmulo de MOS (LIEBMANN et al., 2020). Em adição, é estimado que o C derivado de raízes apresenta um tempo de residência no solo 2,4 vezes maior que o C derivado da parte aérea (RASSE et al., 2005).

A maior contribuição das raízes para a formação da MOS pode ser atribuída à composição química dos exsudatos radiculares e sua ampla distribuição no solo, pois os tecidos radiculares após a morte interagem com os minerais do solo, microrganismos e agregados. Segundo Jobbágy e Jackson (2000), as raízes tendem a possuir compostos mais alifáticos que são rapidamente sorvidos à superfície mineral, e sua composição, bem como a dos exsudatos radiculares, permite maior eficiência do uso de carbono pelos microrganismos. Essa alta eficiência promove o crescimento microbiano e os produtos do metabolismo

microbiano são os principais precursores da formação da MOS estável (COTRUFO et al., 2013). Todavia, a maioria dos modelos de simulação utilizados para prever o turnover da MOS não leva em consideração a contribuição dos inputs de MO que ocorrem dentro do solo, tais como a rizodeposição (KÖGEL-KNABNER, 2002).

Além de fonte primária de MO para o solo, as plantas contribuem para a estabilização da MOS, principalmente via promoção direta e indireta de agregados estáveis que contribuem para a persistência da MOS, além de controlar processos erosivos (DIGNAC et al., 2017). Já é bem conhecido que os exsudatos radiculares e mucilagem, bem como os microrganismos presentes na rizosfera, contribuem positivamente para a formação de agregados do solo e sua estabilidade (TISDALL e OADES, 1982), favorecendo a oclusão da MO dentro dos agregados do solo (SIX et al., 2002). Recentemente, Baumert et al. (2018) demonstraram que a entrada de altas doses de C lábil via rizodepósitos, especialmente exsudatos radiculares solúveis induzem forte efeito sobre a estrutura do solo e no crescimento de micélios fúngicos em torno das raízes, fatores que combinados proporcionam a melhoria da macroagregação do solo. Segundo os autores, os efeitos do alto aporte de C via exsudatos radiculares é mais pronunciável em camadas mais profundas do solo do que em superfície, pois tipicamente esta última é normalmente mais rica em MOS e, conseqüentemente, bem estruturada. Adições elevadas de C mais lábeis são capazes de promover um aumento de 86% na macroagregação subsuperficial em solos pobres em MOS (BAUMERT et al., 2018).

Há, portanto, a oportunidade de se manejar adequadamente o solo de modo a estimular o fornecimento adicional de exsudatos radiculares e outras fontes de MO prontamente disponíveis para induzir o aumento da macroagregação biótica na região da rizosfera e, conseqüentemente, aumentar os estoques de MOS em subsuperfície. Todavia, em condições de solos tropicais, há uma carência de estudos que exploram o efeito das raízes, da rizodeposição e dos microrganismos na promoção de agregação e proteção física da MOS, principalmente em camadas mais profundas do solo, consideradas por muito tempo menos biologicamente ativas e pouco relevantes para a estabilização da MOS (RUMPEL et al., 2015).

O sistema radicular das plantas se desenvolve ao longo do perfil do solo, entretanto, a maior parte está concentrada na camada superficial do solo. A distribuição do sistema radicular no perfil do solo influencia fortemente a dinâmica da MOS em profundidade (OTA et al., 2013), sobretudo porque o aporte de MO fresca é cada vez mais limitado em camadas mais profundas (CHABBI et al., 2009), e a principal via de entrada de C para essas camadas

mais profundas são as raízes das plantas, que fornecem MO na forma de rizodépósitos (RUMPEL e KÖGEL-KNABNER, 2011).

Análises isotópicas confirmam a dominância de compostos/moléculas orgânicas no solo que são derivadas de raízes (MENDEZ-MILLAN et al., 2010). Em adição, o material orgânico aportado acima do solo, principalmente restos culturais, são considerados uma fonte ineficiente para a formação de MOS estável (SOKOL et al., 2019; SOKOL e BRADFORD, 2019). A alocação de C pelas plantas no perfil do solo é, portanto, um fator determinante e responsável por controlar a dinâmica do C no solo. A alocação de C pelas plantas no perfil do solo é, portanto, um fator determinante e responsável por controlar a dinâmica do C no solo. As interações entre as raízes, a fração mineral do solo e os microrganismos determinam a dinâmica do C no solo (KUZYAKOV e DOMANSKI, 2000), e influenciam processos geoquímicos e microbianos que regem o intemperismo mineral na rizosfera e governam a criação de fases pouco cristalinas de Fe e Al (LAWRENCE et al., 2015; ARREDONDO et al., 2019), as quais atuam na formação de associações organominerais e contribuem para a proteção do C orgânico do solo.

O conhecimento de como a MOS é formada e estabilizada tem avançado rapidamente nas últimas décadas, de modo que o conceito de recalcitrância bioquímica dos compostos orgânicos tem deixado de ser o principal mecanismo responsável pela persistência da MOS (SCHMIDT et al., 2011; LEHMANN & MARKUS, 2015). Complementarmente, novos estudos têm detalhado importantes interações incluindo a alocação do C das plantas, biota do solo, agregados e estrutura do solo, que controlam a dinâmica e o acúmulo da MOS. Sabe-se que a taxa de decomposição da MOS é função das condições climáticas, sendo que para cenários idênticos de adições de MO, quanto mais baixa for a temperatura e mais úmido for o ambiente, a decomposição se torna mais lenta e, conseqüentemente, há um maior acúmulo de MOS.

Todavia, essa é uma visão ampla de um único fator, que apesar de ser extremamente relevante, é incapaz de explicar como a MO adicionada ao solo, pode persistir por longos períodos. A maioria dos modelos atuais que tentam prever a dinâmica da MOS leva em consideração diversos fatores que controlam o turnover da MOS, tais como a mineralogia (TORN et al., 1997; KAISER e GUGGENBERGER, 2003; KRAMER et al., 2012) ou quantidade e qualidade química da liteira (SAYER, 2006; HUANG e SPOHN, 2015).

Os princípios básicos da estabilização da MOS se aplicam para regiões tropicais, subtropicais e temperadas, bem como os fatores que afetam o turnover da MOS são similares.

Porém, são características inerentes ao solo e ao ambiente em macro- e microescala que definem a capacidade de retenção de MOS e proteção à decomposição microbiana em determinado local (SCHMIDT et al., 2011). O processo mecanístico pelo qual as propriedades locais contribuem para a estabilização do C ainda são pouco conhecidas.

Estas evidências são mais uma prova de que o método tradicional de instalação de linhas de distribuição de energia elétrica deve entrar em desuso, não só pelo fato de não oferecer grandes vantagens em termos econômicos, mas também pelas fortes pressões ambientais existentes (ABREU et al., 2002).

7.1 Quanto a emissão de gases do efeito estufa

Os seres humanos sempre influenciaram o meio ambiente. Entretanto, foi somente após o início da Revolução Industrial, meados do século XVIII, que o impacto das atividades humanas tomou proporções em escalas continentais e até mesmo globais (POTT e ESTRELA, 2017). Atividades humanas, principalmente aquelas envolvendo a queima de combustíveis fósseis para uso industrial e residencial e queima da biomassa (desmatamento seguido de queimadas), produzem gases de efeito estufa que afetam a composição da atmosfera.

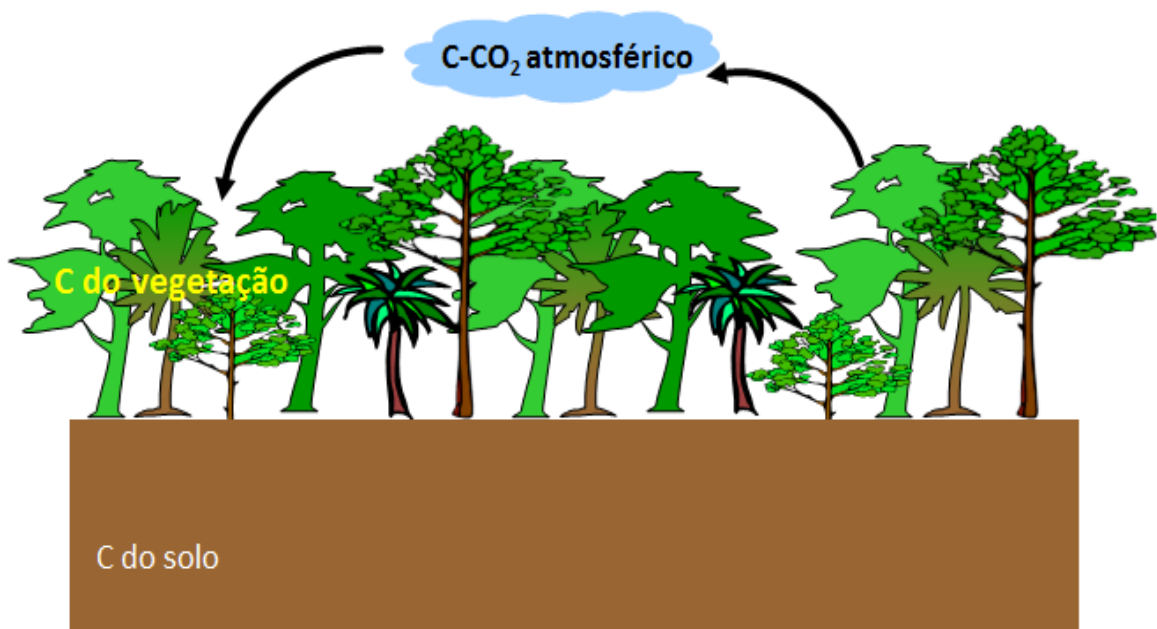
O solo é um dos cinco reservatórios de carbono orgânico do ecossistema terrestre, exercendo um importante papel na mitigação das mudanças climáticas através da estabilização da matéria orgânica (MO) e do sequestro de carbono da atmosfera. Uma maior porcentagem de carbono no solo ajuda a manter a estrutura do solo (PEREIRA & PERES, 1985; CAMPOS et al., 2004; MACHADO, 2005), formando agregados maiores e estáveis que retêm a água disponível para as plantas em poros intra-agregados e poros inter-agregados maiores que criam maior permeabilidade, aeração e drenagem do solo. Aumentar o carbono do solo fornece substrato e energia para apoiar a atividade microbiana, fornece um reservatório de N orgânico, P e outros nutrientes para a produtividade das plantas e cria um solo mais coeso fisicamente para resistir às perdas do solo por erosão eólica ou hídrica e protegendo a matéria orgânica ocluída dentro do solo.

Após assimilação pelos seres vivos, o carbono retorna ao ambiente de diversas formas, sendo liberado para a atmosfera, na forma de CO₂, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa, por meio da respiração e através do processo de decomposição. Zhang et al. (2014) afirmam que pequenas mudanças no estoque COS podem ter grandes impactos na concentração atmosférica de CO₂, apresentando a importância da implementação de técnicas

de manejo de solo e de vegetação, como o MIV, que favoreçam o aumento no armazenamento de carbono para auxiliar na mitigação às mudanças climáticas.

Em ecossistemas nativos (figura 14) as emissões naturais de CO₂ para a atmosfera e a absorção pela fotossíntese são compensadas e os estoques de carbono do solo e vegetação permanecem inalterados, não interferindo no aquecimento global.

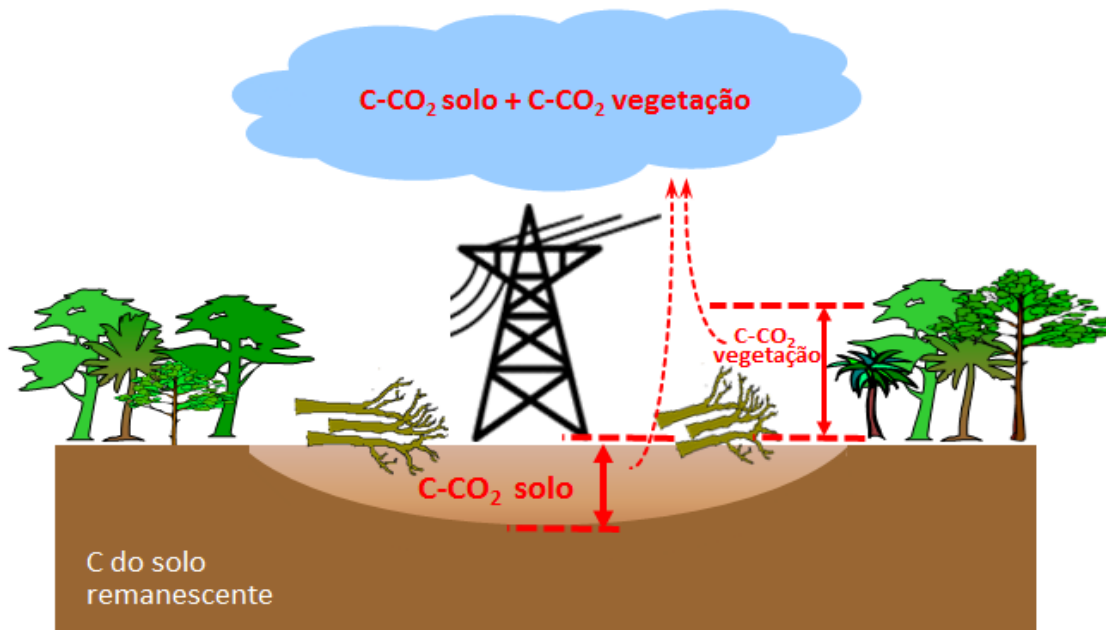
Figura 14 - Esquema demonstrativo do equilíbrio do carbono do solo e vegetação em ecossistema nativo



Fonte A autora, 2023.

Entretanto, quando a vegetação nativa é derrubada, como na implementação não sustentável de LTEE, (figura 15) o carbono estocado nas formas de compostos orgânicos (celulose, lignina etc.) das plantas é decomposto sobretudo por ação dos microrganismos e emitido na forma de CO₂ para a atmosfera (C-CO₂ vegetação) (LUIZÃO & SCHUBART, 1987; PARTON et al., 2007). Tal procedimento acarreta um aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e contribui para o aumento do aquecimento global. Esse incremento de CO₂ para a atmosfera é bastante significativo quando se consideram as extensas áreas pelas quais passam essas LTEE.

Figura 15 - Representação esquemática das emissões de carbono na forma de CO_2 (C-CO_2) do solo e vegetação nativa devido à implementação convencional de LTEE.

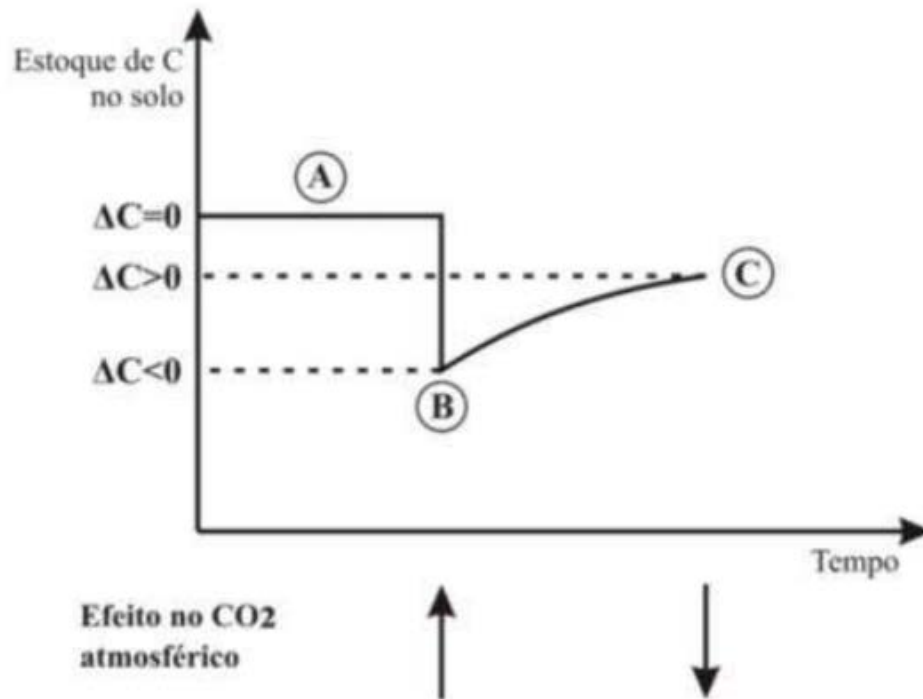


Fonte: A autora, 2023.

Quando práticas de manejo conservacionistas são adotadas verifica-se uma recuperação gradual do teor de carbono perdido (MARTINS, 2017) (figura 16), neste caso o solo está agindo como um dreno de CO_2 (Amado et al., 2003) e o balanço de carbono é positivo.

A intensificação do efeito estufa e suas conseqüentes mudanças climáticas estão relacionadas ao aumento da concentração de determinados gases na atmosfera, principalmente o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nítrico (N_2O). Estes são os chamados Gases Efeito Estufa (GEE). Embora o gás metano e o óxido nítrico apresentem potencial de aquecimento maior que o gás carbônico ($\text{CH}_4 = 23$ vezes o CO_2 e; $\text{N}_2\text{O} = 296$ vezes o CO_2), o CO_2 é emitido em maiores quantidades, pois é originado na queima de combustíveis fósseis e nos desmatamentos e queimadas. Por isso, os níveis crescentes de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico foram identificados como uma das maiores causas do aquecimento global (MACHADO, 2005).

Figura 16 - Dinâmica de C no solo em área de vegetação nativa (A), após distúrbio (B) e após manejo conservacionista.



Fonte: Martins (2017).

O desenvolvimento de políticas e estratégias que visam mitigar as mudanças climáticas globais, baseando-se no potencial do solo sequestrar C atmosférico, passa pela necessidade de melhor entender as interações entre a vegetação, o solo e o ambiente. As plantas atuam como o principal veículo de entrada de C ao solo, através da deposição da liteira, morte de raízes e exsudação (SIX et al., 2002; SOKOL et al., 2019). Parte do C do solo é transformado pelos próprios microrganismos do solo, retornando à atmosfera na forma de CO₂ pela respiração (JONES et al., 2009). A fração remanescente do C que entra no solo é estabilizado e apresenta maior tempo de residência (LAL, 2004; LÜTZOW et al., 2006; SOKOL et al., 2019). A representatividade do MIV em relação as emissões de CO₂ pode ser melhor compreendida no cálculo abaixo:

Cálculo de estimativa de emissão evitada, expressa em carbono e em CO₂, em função da adoção do Manejo Integrado da Vegetação em LTEE

1) Estimativa para 1km de linha de transmissão com 30 m de largura: $1000\text{m} \times 30\text{m} = 30.000\text{ m}^2 = 3\text{ha}$

2) Estimativa de estoque de carbono da vegetação e solo

Os estoques de carbono são variáveis de acordo com o tipo de vegetação (floresta Amazônica, Mata Atlântica, Cerradão, Cerrado etc.) e tipo de solo (Latosolo, Argissolo, Neossolo etc.) e textura do solo (argiloso, arenoso etc.). Portanto, estimamos as emissões considerando os seguintes valores:

Compartimento	Toneladas de Carbono por hectare (t C / ha)
Vegetação	
Acima do solo	90
Raízes	50
Serapilheira	5
Solo (30cm prof)	40
TOTAL	185

*Expresso em km: $185 \text{ t C/ha} \times 3 \text{ ha} = 555 \text{ t C/km}$ ou $2030 \text{ t CO}_2/\text{km}$

3) Emissão de carbono e CO₂ pelo sistema convencional

Compartimento	Toneladas de Carbono por hectare (t C / ha)	Redução de carbono (%)	Carbono emitido (t C / ha)
Vegetação			
Acima do solo	90	100	90
Raízes	50	50	25
Serapilheira	5	100	5
Solo (30cm prof)	40	30	12
TOTAL	185		132

Expresso em km: $132 \text{ t C/ha} \times 3 \text{ ha} = 396 \text{ t C/km}$ ou $1450 \text{ t CO}_2/\text{km}$

4) Emissão de carbono ou CO₂ pelo sistema MIV (Manejo Integrado da Vegetação)

Compartimento	Toneladas de Carbono por hectare (t C / ha)	Redução de carbono (%)	Carbono emitido (t C / ha)
Vegetação			
Acima do solo	90	80	72
Raízes	50	5	2,5
Serapilheira	5	1	0,05
Solo (30cm prof)	40	1	0,4
TOTAL	185		75

Expresso em km: 75 t C/ha x 3 ha = 225 t C/km ou 823 t CO₂/km

5) Estimativa do carbono ou CO₂ evitados: diferença entre os sistemas Convencional e MIV

Expresso em toneladas de carbono por quilômetro de LTEE

C evitado = Convencional – MIV

C evitado = 396 t C/km - 225 t C/km

C evitado = 171 t C/km

Expresso em toneladas de CO₂ por quilômetro de LTEE

CO₂ evitado = Convencional – MIV

CO₂ evitado = 1450 t CO₂/km - 823 t CO₂/km

CO₂ evitado = 626 t CO₂/km

Considerando uma extensão de 200km de LTEE, o CO₂ evitado pela adoção do sistema MIV seria da ordem de 125.200 t CO₂. Para se ter uma ideia da magnitude dos valores, pode-se efetuar a seguinte comparação com a emissão de um veículo de porte médio movido a gasolina.

1 veículo emite 0,176 kg CO₂ por km rodado

1 km de LTEE que adote o MIV evita 626.000 kg CO₂

Portanto, 1 km de LTEE abate cerca de 3.5 milhões de km rodados.

Uma outra comparação pode ser feita em relação a emissão média de um habitante brasileiro por ano (1800 kg CO₂/ano). Portanto, a adoção do MIV abate cerca de 350 habitantes brasileiros em um ano.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Manejo Integrado da Vegetação se apresenta como excelente alternativa para redução drástica da quantidade de vegetação derrubada, preservando as propriedades físico-químicas e biológicas do solo em áreas de LTEE. Através da promoção da cobertura do solo, a redução do carbono orgânico é mínima e o resultado é uma sensível redução na emissão de CO₂ oriunda da oxidação enzimática e da decomposição dos resíduos vegetais derrubados e, deste modo reduzir a participação no aquecimento global.

Impactos ambientais potenciais associados a manutenção das áreas de LTEE sob MIV seriam aqueles resultantes da eventual deriva de algum herbicida para fora do local no momento da aplicação ou dispersão que poderia ocorrer por meio de lixiviação ou escoamento, o que demanda treinamento de equipe e atenção no processo. Herbicidas pré-emergentes tendem a ser persistentes, no entanto, é menor a possibilidade de causar impactos à saúde em comparação com herbicidas pós-emergentes (não há relação entre persistência e toxicidade). Entretanto, a exposição do herbicida acontece cerca de uma vez por ano, com tendência de redução para os anos seguintes da implantação do manejo.

O Manejo Integrado da Vegetação é um tipo de manejo recente e ainda não muito explorado e/ou difundido no setor de transmissão elétrico brasileiro, e através do desenvolvimento deste estudo foi possível identificar alguns desafios para a adoção deste manejo, principalmente no que diz respeito a difusão do conhecimento. O MIV parece ser uma estratégia interessante para ser amplamente adotada nas LTEE do Brasil. Entretanto, a escassez de informações disponíveis na literatura sugere que os estudos nesta temática avancem no futuro próximo.

REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C., BAYER, C., CONCEIÇÃO, P. C., SPAGNOLLO, E., CAMPOS, B. H. C., & VEIGA, M. (2006). Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. **Journal of environmental quality**, 35(4), 1599-1607.
- AMER, A. M. (2011). Effects of water infiltration and storage in cultivated soil on surface irrigation. **Agricultural Water Management**, pages 815-822. Volume 98, Issue 5, March, 2011.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M. & OLSZEWSKI, N. (2000). Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:857-865.
- ANEEL (Centro Brasileiro de Infraestrutura e Energia). (2002). Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília, 2002.
- ANEEL (Centro Brasileiro de Infraestrutura e Energia). (2020). Brasil termina 2020 com mais de 6 mil km novos em linhas de transmissão. 18 de jan de 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/01/brasil-termina-2020-com-mais-de-6-mil-km-novos-em-linhas-de-transmissao>>. Acesso em: 18 de out de 2020.
- ARREDONDO, M. G., LAWRENCE, C. R., SCHULZ, M. S., TFAILY, M. M., KUKKADAPU, R., JONES, M. E., ... & KEILUWEIT, M. (2019). Root-driven weathering impacts on mineral-organic associations in deep soils over pedogenic time scales. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 263, 68-84.
- BAGLI, S., GENELETTI, D. & ORSI, F. (2011). Routeing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 31, n. 3, p. 234–239, Pages 234-239, ISSN 0195-9255, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.10.003>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925510001393>).
- BAKKER, M. M., GOVERS, G., DOORN, A. VAN., QUETIER, F., CHOUVARDASE, D., & ROUNSEVELL, M. (2008). The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. **Geomorphology**, v.98, p.213-226.
- BALESDENT, J., & BALABANE, M. (1996). Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 28(9), 1261-1263.
- BATISTA, M. A., INOUE, T. T., ESPER NETO, M., MUNIZ, A. S. (2018). Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. **SciELO Books**. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 113-162. ISBN: 978-65-86383-01-0. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0006>.
- BATJES, N. H. (2014). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European journal of soil science**, 65(1), 10-21.

BAUMERT, V. L., VASILYEVA, N. A., VLADIMIROV, A. A., MEIER, I. C., KÖGEL-KNABNER, I., & MUELLER, C. W. (2018). Root exudates induce soil macroaggregation facilitated by fungi in subsoil. **Frontiers in Environmental Science**, 6, 140.

BESTELMEYER, B. T., OKIN, G. S., DUNIWAY, M. C., ARCHER, S. R., SAYRE, N. F., WILLIAMSON, J. C., & HERRICK, J. E. (2015). Desertification, land use, and the transformation of global drylands. **Front. Ecol. Environ.** 13, 28–36.

BIASSOTO, L. D. (2018). Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review. Environmental Impact Assessment Review. (dissertação de mestrado) Resgatado de: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/158243/001017486.pdf?sequence=1>. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.04.010>.

BOLIN, B., & SUKUMAR. R. (2000). Global perspective. **In: Land Use, Land-Use Change, and Forestry** (eds RT Watson, IR Noble, B Bolin, NH Ravindranath, DJ Verardo, DJ Dokken), pp. 23– 51. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

BUDZIAK, C. R., MAIA, C. M. B. F., MONGRICH, A. S. (2004). Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos de indústria madeireira. **Química Nova**, São Paulo, v.27, n.3, p.399-403, maio/jun.

BRASIL. (1981). Subchefia para Assuntos Jurídicos. Constituição da República Federativa do Brasil. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Disponível em:** https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 22 de agosto de 2022.

CAMARGOS, S. L. (2005). Acidez do solo e calagem. Universidade Federal do Mato Grosso. **Disponível em:** https://www.ufjf.br/baccan/files/2019/04/Apostila_Capitulo_2_Acidez_Calagem.pdf.

CARVALHO, J. F. (2014). Energia e sociedade. **Estudos avançados** 28 (82), 2014.

CASTRO, P. M. (2015). “Manejo integrado de vegetação em faixa de passagem de linhas de transmissão”. **Revista P&D ANEEL** n° 6, p. 49-52, ago.

CATEN, A. T., MINELLA, J. P. G., MAGRUGA, P. R. A. (2012). Desintensificação do uso da terra e sua relação com a erosão do solo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.9, p.1006–1014.

CERRI, C. E. P., EASTER, M., PAUSTIAN, K., KILLIAN, K., COLEMAN, K., BERNOUX, M, ... CERRI, C. C. (2007). Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. **Agriculture, Ecosystems, and Environment**, v. 122, p. 58–72.

CHABBI, A., KÖGEL-KNABNER, I., & RUMPEL, C. (2009). Stabilised carbon in subsoil horizons is located in spatially distinct parts of the soil profile. **Soil Biology and Biochemistry**, 41(2), 256-261.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA – COPEL. (2024). **Disponível em:** <https://www.copel.com/site/educacao/a-eletricidade/>.

- COTRUFO, M. F., WALLENSTEIN, M. D., BOOT, C. M., DENEFF, K., & PAUL, E. (2013). The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? **Global Change Biology**, 19(4), 988-995.
- DENG, L., ZHU, G., TANG, Z., & SHAGGUAN, Z. (2016). Global patterns of the effects of land-use changes on soil carbon stocks. **Global Ecology and Conservation**, v. 5, p. 127–138.
- DIGNAC, M. F., DERRIEN, D., BARRE, P., BAROT, S., CECILLON, L., CHENU, C., ... BASILE-DOELSCH, I. (2017). Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 37 (2), 14.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1994). Microorganismos e processos biológicos do solo – Perspectiva ambiental. Brasília, DF.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2009). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos.
- EPRI, Electric Power Research Institute. (2022). Wildlife and Integrated Vegetation Management on Electric Transmission Line Rights-of-Way. Rights-of-Way Environmental Issues in Siting, Development, and Management. Dec.
- GRANT, R. F. (1993). Simulation-model of soil compaction and root-growth .1. Model structure. **Plant and soil**. 1993-03-01. Vol. 150. Pag 1-14.
- OKTAN, E., KEZIK, U., HACISALIHOGU, S., & YUCESAN, Z. (2022). Effects of deforestation on soil erosion and carbon sequestration in the soil. **Fresenius Environmental Bulletin**. Vol 31 – No. 02. Pages 2239-2249.
- FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. (2015). Evolution of Crop Production. FAOSTAT, Country Profile CVP Available. Disponível em: www.fao.org/soils-2015/resources/infographics/pt.
- FERREIRA, A. L., SILVA, F. B. (2021). Universalização do acesso ao serviço público de energia elétrica no Brasil: Evolução recente e desafios para a Amazônia Legal. Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) DOI: 10.47168/rbe.v27i3.645. Revista Brasileira de Energia | Vol. 27, Nº 3, 3º Trimestre de 2021 - Edição Especial I
- FORMAM, R. T., & GODRON, M. (1986). The Importance of Spatiotemporal Heterogeneity for Biodiversity in Forest—Heathland Mosaics and Implications for Heathland Conservation **Landscape ecology**. John Wiley & Sons. New York.
- FREIRE, W. (2016). Dow lança solução para controle de vegetação na transmissão. Piracicaba (SP): Agência Canal Energia. **Disponível em:** <<https://canalenergia.com.br/noticias/34525860/dow-lanca-solucao-para-controle-de-vegetacao-na-transmissao>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

FRESCHET, G. T., CORNWELL, W. K., WARDLE, D. A., ELUMEEVA, T. G., LIU, W., JACKSON, B. G., ... CORNELISSEN, J. H. C. (2013). Linking litter decomposition of above and belowground organs to plant-soil feedbacks worldwide. **Journal of Ecology** 101:943–952.

GALBIATTI-SILVEIRA, P. (2018). Energy and climate change: socio-environmental impacts of hydroelectric plants and diversification of the Brazilian energy matrix. *Opini3o Jur3dica*, 17(33), 123-147.

GEHRKE, P., GORET, A. A. T., AVILA, L. V. (2021). Impacts of the energy matrix on Brazilian sustainable development. *Rev. Adm. UFSM, Santa Maria*, v. 14, Especial 9^o ECOINOVAR, September-October, p. 1032-1049. DOI: 10.5902/1983465964409.

GOMES, M. A. F., & FILIZOLA, H. F. (2006). Indicadores f3sicos e qu3micos de qualidade de solo de interesse agr3cola. **Embrapa Meio Ambiente**. Dispon3vel em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/14537973/indicadores-fisicos-e-quimicos-de-qualidade-de-solo>.

Guimar3es, E. F., Rover, S., & Ferreira, D. D. M. (2018) A participa3o no 3ndice de sustentabilidade empresarial (ISE): Uma compara3o do desempenho financeiro de bancos participantes e n3o participantes da carteira. *Enfoque: Reflex3o Cont3bil*, 37 (1), 147-164.

GUO, L. B., & GIFFORD, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v.8, p.345-360.

HINSINGER, P., BENGOUGH, A. G., VETTERLEIN, D., & YOUNG, I. M. (2009). Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. **Plant and soil**, 321(1-2), 117-152.

HUANG, W., & SPOHN, M. (2015). Effects of long-term litter manipulation on soil carbon, nitrogen, and phosphorus in a temperate deciduous forest. **Soil Biology and Biochemistry**, 83, 12-18.

HUO, C., LUO, Y., & CHENG, W. (2017). Rhizosphere priming effect: a meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, 111, 78-84.

IBGE (2018). Diretoria de Pesquisas, Coordena3o de Trabalho e Rendimento, Pesquisa Nacional por Amostra de Domic3lios Cont3nua 2012/2017. Dispon3vel em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/86c0dd01f1cf800ec59ff4e059cdbdc.pdf>.

IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO. (2022). Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. World Bank, Washington DC. © World Bank. License: Creative Commons Attribution—NonCommercial 3.0 IGO (CC BY-NC 3.0 IGO).

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change; WGII, A. R. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. WG II. Geneva: IPCC.

- JACKSON, R. B., LAJTHA, K., CROW, S. E., HUGELIUS, G., KRAMER, M. G., PIÑEIRO, G. (2017). The ecology of soil carbon: pools, vulnerabilities, and biotic and abiotic controls. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, 48, 419-445.
- JANSSON, J. K., & Hofmockel, K. S. (2020). Soil microbiomes and climate change. **Nature Reviews Microbiology**, 18(1), 35-46.
- JOBÁGY, E. G., & JACKSON, R. B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological applications**, 10(2), 423-436.
- JONES, D. L., NGUYEN, C., & FINLAY, R. D. (2009). Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil–root interface. **Plant and soil**, 321(1-2), 5-33.
- KAISER, K., & GUGGENBERGER, G. (2003). Mineral surfaces and soil organic matter. **European Journal of Soil Science**, 54(2), 219-236.
- KLEIN, C., & KLEIN, V. A. (2015). Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** - ReGet e-issn 2236 1170 - V. 19, n. 1, jan.- abr., p.21-29.
- KÖGEL-KNABNER, I. (2002). The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, 34(2), 139-162.
- KRAMER, M. G., SANDERMAN, J., CHADWICK, O. A., CHOROVER, J., & VITOUSEK, P. M. (2012). Long-term carbon storage through retention of dissolved aromatic acids by reactive particles in soil. **Global Change Biology**, 18(8), 2594-2605.
- KUZYAKOV, Y. (2010). Priming effects: interactions between living and dead organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, 42(9), 1363-1371.
- KUZYAKOV, Y., & DOMANSKI, G. (2000). Carbon input by plants into the soil. Review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 163(4), 421-431.
- LAMBERS, H., MOUGEL, C., JAILLARD, B., & HINSINGER, P. (2009). Plant-microbe-soil interactions in the rhizosphere: an evolutionary perspective. **Plant and soil**, 321(1-2), 83-115.
- LACHIN, M., LEE, J. Y., LEE, W. K., LEE, E. J., KIM, M., LIM, C. H., ..., KIM, S. R. (2015). Assessment of Land Cover change and Desertification using Remote Sensing Technology in a local region of Mongolia. *Adv. Space Res.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2015.10.006>.
- LAL, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. **Science**, 304, 1623-1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>.
- LAWRENCE, C. R., HARDEN, J. W., XU, X., SCHULZ, M. S., & TRUMBORE, S. E. (2015). Long-term controls on soil organic carbon with depth and time: A case study from the Cowlitz River Chronosequence, WA USA. **Geoderma**, 247, 73-87.

LEHMANN, J., & KLEBER, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580), 60-68.

LEITE, L. F. C. (2004). *Matéria Orgânica do Solo*. Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Teresina, PI. Documentos 97. ISSN 0104-866X. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/36210/1/Doc97.pdf>.

LEAL, L., PITELLI, R. A., MERENDA, A. M. C. M. P., PITELLI, R. L. C. M., & ROCHA JÚNIOR, C. B. (2021). Manejo Integrado de Vegetação (MIV) em sistemas elétricos e as zonas de transição para incremento de biodiversidade. **10º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade**. ISSN 2525-4928. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/10sigabi/419191-manejo-integrado-de-vegetacao/>.

LEI nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. (1981, 23 de dezembro). Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

LIEBMANN, P., WORDELL-DIETRICH, P., KALBITZ, K., MIKUTTA, R., KALKS, F., DON, A., & GUGGENBERGER, G. (2020). Relevance of aboveground litter for soil organic matter formation—a soil profile perspective. *Biogeosciences*, 17(12), 3099-3113.

LUIZÃO, F. J., & SCHUBART, H. O. R. (1987). Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*, [S.l.], v. 43, n. 3, p. 259-265.

LÜTZOW, M. V., KÖGEL-KNABNER, I., EKSCHMITT, K., MATZNER, E., GUGGENBERGER, G., MARSCHNER, B., & FLESSA, H. (2006). Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions—a review. *European journal of soil science*, 57(4), 426-445.

MACHADO, P. L. O. A. (2005). Carbono do solo e mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, v.28, p.329-334.

MAIA, C. M. B. F., & PARRON, L. M. (2015). Matéria orgânica como indicador da qualidade do solo e da prestação de serviços ambientais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Brasília, DF: Embrapa, p. 101-108. Capítulo 8. Tipo: Capítulo em Livro Técnico-Científico Biblioteca(s): Embrapa Florestas.

MARTINS, C. M. S. (2017). *Estoques de carbono no solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no Brasil: uma meta-análise*. Viçosa, MG. (dissertação de mestrado). Recuperado de: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/16324/1/texto%20completo.pdf>

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystem and human well-being: Synthesis*. Washington: Island Press, 137p.

MELO, S. R. F. C. (2018). *Modelagem de Topologia de Redes de Distribuição com Algoritmos Genéticos em Ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas)*. (dissertação de mestrado). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Recuperado de: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFRJ_f7f8e745b2a6c2b5eeff1f13bc73ac4e.

MENDES, A. M. S. (2007) Introdução a fertilidade do solo. Departamento de Solos da UFV no Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/35800/1/OPB1291.pdf>.

MENDEZ-MILLAN, M., DIGNAC, M. F., RUMPEL, C., RASSE, D. P., & DERENNE, S. (2010). Molecular dynamics of shoot vs. root biomarkers in an agricultural soil estimated by natural abundance ¹³C labelling. **Soil Biology and Biochemistry**, 42(2), 169-177.

MENEZES, V. P. (2015). Linhas de transmissão de energia elétrica aspectos técnicos, orçamentários e construtivos. UFRJ. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015383.pdf>

MILNE, E., STEVEN, A., BANWART, C., NOELLEMAYER, D. E., DAVID J. A., CRISTIANO, B., FRANCESCA, B., ANDRE, B., ... JUFENG, Z. (2015). Soil carbon, multiple benefits, **Environmental Development**, Volume 13, Pages 33-38, ISSN 2211-4645. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2014.11.005>.

MORADI, A. B., CARMINATI, A., LAMPARTER, A., WOCHE, S. K., BACHMANN, J., VETTERLEIN, D., VOGEL, H. J., & OSWALD, S. E. (2012). Is the rhizosphere temporarily water repellent? **Vadose Zone Journal**, 11(3), vzj2011-0120.

NASCIMENTO, J. S., & GOPFERT, L. C. (2010). A fragmentação causada pela supressão de vegetação introduz uma série de novos fatores de stress ambiental para plantas e animais. Universidade Federal do Rio de Janeiro. (Dissertação de mestrado). Recuperado em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7450/1/monopoli10001740.pdf>.

NATIONALGRID. (1989). Transmission Right-Of-Way Management Program. October. Prepared by: Vegetation Management Strategy.

NGUYEN, C. (2003). Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. **Agronomie**, EDP Sciences, 23 (5-6), pp.375-396.

NÓBREGA, I. L. (2019). Otimização da Rota de Linhas de Transmissão Utilizando uma Metodologia de Avaliação Multicritério – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE.

NOVAK, E., CARVALHO, L. A., SANTIAGO, E. F., BRUMATTI, A. V., SANTOS, L.L., & SALES, L.C. (2018). Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.41, n.3, p. 603-611. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA17300>.

NOWAK, C. A., & BALLARD, B. D. A. (2005). Framework for applying integrated vegetation management on rights-of-way. **Journal of Arboriculture**, v. 31, n. 1, p. 28–37.

OLIVEIRA, R. R., & ZAÚ, A. S. (1998). Impactos da instalação de linhas de transmissão sobre ecossistemas florestais. **Rev Floresta e Ambiente**. Vol. 5(1):184-191, jan./dez.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2019). População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/83427-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-deve-chegar-97-bilh%C3%B5es-de-pessoas-em-2050-diz-relat%C3%B3rio-da-onu> Acesso em: Jan. 2024.

OTA, M., NAGAI, H., & KOARASHI, J. (2013). Root and dissolved organic carbon controls on subsurface soil carbon dynamics: A model approach. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, 118(4), 1646-1659.

PARTON, W., SILVER, W. L., BURKE, I. C., GRASSENS, L., HARMON, M. E., CURRIE, W. S., ... FASTH, B. (2007). Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition, **Science**, 315, 361-364.

PAUSCH, J., & KUZYAKOV, Y. (2018). Carbon input by roots into the soil: quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale. *Global Change Biology*, 24(1), 1-12.

PHENE, C. J. (1986) Oxygen electrode measurement. In: KLUTE, A. ed. Methods of soil analysis. Part I. Madison, **American Society of Agronomy**. p. 1137-1159.

PIRES, L. F. A. (2005). Gestão ambiental da implantação de sistemas de transmissão de energia elétrica. Estudo de caso: Interligação Norte/Sul I. (Dissertação de mestrado). Recuperado em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/18411>. Niterói: UFF. 142p.

PORTELA, F. C. (2013). Faixas de servidão de linhas de transmissão de energia elétrica e os lucros cessantes na cajucultura: métodos e valoração da limitação do uso do solo em territórios produtivos. **Revista Espaço & Geografia**. Brasília, v. 16, n. 01, p. 67-95.

POTT, C. M., & ESTRELA, C. C. (2017). Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estud. av.** 31 (89)• Jan-Apr <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>.

RASSE, D. P., RUMPEL, C., & DIGNAC, M. F. (2005). Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. **Plant and soil**, 269(1-2), 341-356.

RIBEIRO, K. D., MENEZES, S. M., MESQUITA, M. G. B. F., & SAMPAIO, F. M. T. (2007). Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de seis classes de solos da região de Lavras - MG. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, jul./ago.

RUMPEL, C., & KÖGEL-KNABNER, I. (2011). Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. **Plant and soil**, 338(1-2), 143-158.

RUMPEL, C., BAUMANN, K., REMUSAT, L., DIGNAC, M. F., BARRÉ P., ... CHABBI, A. (2015). Nanoscale evidence of contrasted processes for root-derived organic matter stabilization by mineral interactions depending on soil depth. **Soil Biology and Biochemistry**, 85, 82e88.

SALDANHA, M. M. (2012). Energia elétrica e meio ambiente: Um novo paradigma para o desenvolvimento. *Direito em debate – Rev. do departamento de ciência jurídicas e sociais da Unijuí*.

SAMPAIO, R. F., & MANCINI, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Rev. bras.** [online]. Vol.11, n.1, pp. 83-89. ISSN 1413-3555.

- SAYER, E. J. (2005). Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. **Biological reviews**, 81(1), 1-31.
- SCHMIDT, M. W., TORN, M. S., ABIVEN, S., DITTMAR, T., GUGGENBERGER, G., JANSSENS, I. A., ... TRUMBORE, S. E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, 478(7367), 49-56.
- SCHOENHOLTZ, S. H., VAN MIEGROET, H., & BURGER, J. A. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Wageningen, v.138, p.335-356.
- SCHÜTZ, G. R., SANT'ANA, A. S. S., & SANTOS, S. G. (2011). Política de periódicos nacionais em Educação para estudos de revisão sistemática. **Rev. Bras. de Cinea. do Desemp. Hum.**, SC., v. 13, n. 4, p. 313- 319.
- SILVA, M. S. T., & BRITO, S. O. (2014) Impactos ambientais associados à construção de empreendimentos elétricos no setor de distribuição de energia. In: Encontro de Ciência e Tecnologia, 01, Rondônia. **Anais... Rondônia: IJN/FARO**.
- SIMABUKULO, L., CORREA, L. F., SANTOS, M. M. O. MARTINS, M. (2017) Energia, industrialização e modernidade: história social. **Energia e Saneamento**. Disponível em: <<https://eletromemoria.fflch.usp.br/content/energia-industrializacao-e-modernidade-historia-social-lucas-antonio-nizuma-simabukulo-luiz>>.
- SINGER, M., & EWING, S. (2000). Soil quality. In: SUMNER, M.E. Handbook of soil science. **Boca Raton: CRC Press**, p.271-298.
- SIQUEIRA, J. O., MOREIRA, F. M. S., GRISI, B. M., HUNGRIA, M., ARAUJO, R. S. (1994). Microrganismos e processos biológicos do solo: Perspectiva ambiental. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, DF.
- SIX, J., CONANT, R. T., PAUL, E. A., & PAUSTIAN, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. **Plant and soil**, 241(2), 155-176.
- SOKOL, N. W., & BRADFORD, M. A. (2019). Microbial formation of stable soil carbon is more efficient from belowground than aboveground input. **Nature Geoscience**, 12(1), 46-53.
- SOKOL, N. W., SANDERMAN, J., & BRADFORD, M. A. (2019). Pathways of mineral-associated soil organic matter formation: Integrating the role of plant carbon source, chemistry, and point of entry. **Global Change Biology**, 25(1), 12-24.
- TABANEZ, A. A. J., VIANA, V. M., & DIAS, A. S. (1997). Consequências da fragmentação e do efeito de borda sobre a estrutura, diversidade e sustentabilidade de um fragmento de floresta de planalto de Piracicaba - SP. **Revista Brasileira de Biologia**, de 1997 (1), 47-60.
- TISDALL, J. M., & OADES, J. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of soil science**, 33(2), 141-163.

TOPP, G. C., REYNOLDS, W. D., COOK, F. J., KIRBY, J. M., & CARTER, M. R. Physical attributes of soil quality. In: GREGORICH, E.G., & CARTER, M.R. (1997). Soil quality for crop production and ecosystem health. Amsterdam: **Elsevier Science**, p.21-58.

TORN, M. S., TRUMBORE, S. E., CHADWICK, O. A., VITOUSEK, P. M., & HENDRICKS, D. M. (1997). Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. **Nature**, 389(6647), 170.

TORRE, C. V., GOMES, R. H., CUNHA, L. V., & CASTRO, P. M. (2019). Implantação do MIV - Manejo Integrado de Vegetação na CEMIG GT como metodologia sistemática de manutenção e controle de vegetação nas faixas de servidão de LT's de extra alta tensão em substituição ao manejo convencional com roçada. XXV SNPTEE - **Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**, 4195GLT/08, Nov., Belo Horizonte.

US EPA. U.S. (2008). United States Environmental Protection Agency. Integrated Vegetation Management. Office of Pesticide Programs (7511P). EPA 731-F-08-010.

VAN HEES, P. A. W., JONES, D. L., FINLAY, R., GODBOLD, D. L., & LUNDSTRÖM, U.S. (2005). The carbon we do not see—the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review. **Soil Biology Biochemistry**. 37, 1–13.

VASCONCELOS, L. G. T. R., ZARIN, D. J., OLIVEIRA, F. A., VASCONCELOS, S. S., CARVALHO, C. J. R., & SANTOS, M. M. L. S. (2015). Effect of water availability on soil microbial biomass in secondary forest in eastern amazonia. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** 39 (2) • Mar-Apr <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140135>.

WALLENSTEIN, M. D. (2017). Managing and manipulating the rhizosphere microbiome for plant health: a systems approach. **Rhizosphere**, 3, 230-232.

XAVIER, F. A. S., OLIVEIRA, T. S., ARAUJO, F. S., & GOMES, V. S. (2007). Manejo da vegetação sob linhas de transmissão de energia elétrica na Serra de Baturite. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 351-364, out-dez.

XIANGPING, H., NÆSSA, J. S., IORDANA, C. M., HUANGA, B., ZHAOB, W., & CHERUBINIA, F. (2021) Recent global land cover dynamics and implications for soil erosion and carbon losses from deforestation a Industrial Ecology Program. Department of Energy and Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology, N-7491, Trondheim, Norway b State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing, 100875, China/ **Anthropocene** 34 100291/ <http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2021.100291> 2213-3054/© 2021.

YAHNER, R. H. (2004). Wildlife Response to More than 50 Years of Vegetation Maintenance on a Pennsylvania, U.S., Right-of-Way. **Journal of Arboriculture**, v. 30, n. 2, p. 123–126.

ZHANG, J., WANG, X., WANG, J. (2014). Impact of land use change on pro fi le distributions of soil organic carbon fractions in the Yanqi Basin. **Catena**, v. 115, p. 79–84.

ZHOU, J., ZANG, H., LOEPPMANN, S., GUBE, M., KUZYAKOV, Y., PAUSCH, J. Arbuscular mycorrhiza enhances rhizodeposition and reduces the rhizosphere priming effect on the decomposition of soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, 140, 107641. 2020.