

Estabelecimento inicial de espécies em plantio de neutralização de carbono no Cerrado mineiro

Initial establishment of species in carbon neutral planting in the Cerrado region of Minas Gerais

Pedro Emídio Gonçalves Vaz

Discente do curso de Engenharia Florestal, Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG),
Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Campus Monte Carmelo. Membro do Núcleo de
Planejamento e Manejo Florestal (NUPLAMFLOR) e do Centro de Formação em Educação
Climática (CEFEC). Monte Carmelo, MG, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-7186-2359>

pedro777@ufu.br

Luciano Cavalcante de Jesus França

Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Monte
Carmelo, MG, Brasil. Unidade Araras – Rodovia LMG, 746, KM 01; s/n, CEP 38500-000, Monte
Carmelo, MG, Brasil; e Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal dos
Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina, MG, Brasil

<https://orcid.org/0000-0002-8885-972X>

luciano.franca@ufu.br

Jacqueline Bonfim e Cândido

Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Campus
Monte Carmelo. Coordenação de Botânica e Biodiversidade no Núcleo de Planejamento e Manejo
Florestal (NUPLAMFLOR) e do Centro de Formação em Educação Climática (CEFEC). Monte
Carmelo, MG, Brasil

<https://orcid.org/0000-0003-1092-0444>

jacqueline.candido@ufu.br

Rafael Maick dos Santos

Discente do curso de Engenharia Florestal, Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), Universidade
Federal de Uberlândia (UFU) – Campus Monte Carmelo. Membro do Núcleo de Planejamento e
Manejo Florestal (NUPLAMFLOR) e do Centro de Formação em Educação Climática (CEFEC).

Monte Carmelo, MG, Brasil

<https://orcid.org/0009-0008-0200-9902>

rafaelmaick1996@ufu.br

Vicente Toledo Machado de Moraes Júnior

Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Monte
Carmelo, MG, Brasil. Unidade Araras – Rodovia LMG, 746, KM 01; s/n, CEP 38500-000, Monte
Carmelo, MG, Brasil

<https://orcid.org/0000-0001-5227-1951>

vicente.morais@ufu.br

Resumo

O Cerrado é um bioma estratégico para a conservação da biodiversidade e para o cumprimento das metas nacionais e internacionais de mitigação das mudanças climáticas, devido ao seu elevado potencial de estocagem de carbono. O objetivo deste estudo foi avaliar a sobrevivência e a estocagem de carbono de espécies nativas em um plantio de neutralização de carbono no Cerrado mineiro aos 5 meses de idade realizado no município de Monte Carmelo, Minas Gerais. O monitoramento ocorreu cinco meses após a implantação do plantio, em fevereiro de 2025, abrangendo 99 indivíduos distribuídos em blocos experimentais. A taxa de sobrevivência geral registrada foi de 65%, valor inferior à margem de segurança planejada, indicando a necessidade de replantio. As espécies que apresentaram melhor desempenho em termos de sobrevivência e crescimento foram *Ceiba speciosa*, *Myrocarpus frondosus* e *Libidibia ferrea*, destacando-se pelo maior incremento em diâmetro, altura e estoque de carbono. Em contrapartida, espécies como *Dipteryx alata* e *Inga edulis* apresentaram baixa adaptabilidade inicial, possivelmente associada a déficits hídricos e altas temperaturas no período de estabelecimento. Os resultados obtidos reforçam a importância do monitoramento em nível de espécie para subsidiar decisões técnicas em programas de restauração ecológica e plantios voltados à neutralização de emissões de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Restauração ecológica; neutralização de GEE; remoção de CO₂; estoque de carbono.

Abstract

The Cerrado is a strategic biome for biodiversity conservation and for meeting national and international climate change mitigation targets due to its high carbon storage potential. The objective of this study was to evaluate the survival and carbon storage of native species in a carbon-neutralizing plantation in the Cerrado region of Minas Gerais, at 5 months of age, located in the municipality of Monte Carmelo, Minas Gerais. Monitoring took place five months after planting, in February 2025, covering 99 individuals distributed in experimental blocks. The overall survival rate recorded was 65%, below the planned safety margin, indicating the need for replanting. The species that performed best in terms of survival and growth were *Ceiba speciosa*, *Myrocarpus frondosus*, and *Libidibia ferrea*, standing out for their greatest increases in diameter, height, and carbon storage. In contrast, species such as *Dipteryx alata* and *Inga edulis* showed low initial adaptability, possibly associated with water deficits and high temperatures during the establishment period. These results reinforce the importance of species-level monitoring to inform technical decisions in ecological restoration programs and plantings aimed at neutralizing greenhouse gas emissions.

Keywords: Ecological restoration; GHG neutralization; CO₂ removal; carbon stock.

1. Introdução

O conhecimento sobre a capacidade de estocagem de carbono e a sobrevivência de espécies nativas em plantios de restauração ecológica é fundamental para a mitigação das mudanças climáticas e conservação do bioma. O bioma Cerrado, reconhecido como um *hotspot* global de biodiversidade (Morandi et al., 2020), possui um papel estratégico nesse contexto, pois esse bioma abriga uma das florestais mais biodiversas do mundo, além de estar inserido em um contexto de intensa pressão socioambiental no Brasil, ocasionada principalmente em função da expansão da fronteira agropecuária (Colli et al., 2020). No estado de Minas Gerais, foi possível constatar em estudo recente

que o bioma cerrado possui mais conflito de uso da terra em Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal quando comparado com os demais biomas ocorrentes no estado (Morais Junior et al., 2024).

Estudos que dimensionem a adaptabilidade das espécies em campo possui relevância para a criação de um banco de dados consistente sobre a performance de espécies em campo, esse fato pode contribuir para o fomento da cadeia da restauração de ecossistemas no Brasil e podem subsidiar a formulação de políticas públicas (Oliveira et al., 2019; Moraes Junior et al., 2021). Estudos relacionados a esse tema ainda são escassos principalmente na região do cerrado, portanto, existe atualmente uma taxa elevada de insucesso de projetos de restauração da vegetação, esse fato, acaba onerando significativamente os custos da restauração florestal (Oliveira et al., 2019; Lima et al., 2023; Schimmetka et al. 2024). Assim, atualmente há uma necessidade de ampliação dos estudos e avaliações em campo do crescimento e adaptabilidade de espécies nativas com foco para a restauração de áreas degradadas e estocagem de carbono.

Outro fato importante relacionado ao conhecimento da performance das espécies em plantios de restauração da vegetação se alinha ao cumprimento de metas climáticas nacionais e internacionais. O Brasil, como signatário do Acordo de Paris, tem metas ambiciosas de restauração, e o estado de Minas Gerais, no âmbito do Plano de Ação Climática (PLAC), reforça esse compromisso. No caso do primeiro compromisso, o país tem a meta de restaurar 12 Milhões de hectares até 2030, já o compromisso estadual do estado de Minas Gerais prevê a restauração florestal de pelo menos 3 milhões de hectares nos próximos anos para regularizar as áreas de Reservas Legais e de Preservação Permanente (Minas Gerais, 2023; Cartolano et al., 2022; Brasil, 2024; Moraes Junior et al., 2024).

A Lei nº 15.042/2024, que estabelece o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE), evidencia a crescente importância de dados precisos sobre a capacidade de remoção de carbono em plantios de restauração florestal, pois há a menção sobre o fortalecimento da capacidade da remoção de Gases de Efeito Estufa (GEE) por meio da restauração ecológica (Brasil, 2024). Da mesma forma, o Programa de Recomposição de Áreas Degradadas (PRA), previsto no Código Florestal (Lei 12.651/2012) (Brasil, 2012), demanda informações sobre a performance de espécies em áreas de recuperação florestal. O conhecimento sobre indicadores de crescimento e sobrevivência em plantios jovens é, portanto, essencial para o sucesso de programas de restauração florestal e para a potencialização do mercado de carbono com a interface na área florestal (Moraes Junior et al., 2020).

Por fim, no estado de Minas Gerais, no âmbito do licenciamento ambiental, existem diversas modalidades de compensações florestais no processo da instrução da supressão da vegetação na etapa de licença de implantação, essas compensações tem como possibilidade a implantação de plantios utilizando espécies nativas em áreas degradadas como forma de compensar impactos ambientais da supressão vegetal, as compensações conhecidas são: pela supressão de espécies ameaçadas; pela supressão espécies imunes de corte; pela supressão de fragmentos localizados na mata atlântica; pela supressão para a instalação de empreendimentos minerários; e pela intervenção em Área de Preservação Permanente (APP) (Minas Gerais, 2025).

O objetivo geral deste estudo foi avaliar a sobrevivência e a estocagem de carbono de espécies nativas em um plantio de neutralização de carbono no Cerrado mineiro aos 5 meses de idade.

2. Materiais e métodos

A pesquisa foi realizada em uma área de plantio no Parque da Matinha, localizado no município de Monte Carmelo, Minas Gerais (48°02'21.1"O, 18°53'44.4"S) (Figura 1) (Lopes et al., 2011). O objetivo do plantio foi a neutralização das emissões de Gases de Efeito Estufa de um evento denominado “XI Simpósio de Ciências Agrárias e Ambientais” do *campus* da Universidade Federal

de Uberlândia em Monte Carmelo, Minas Gerais (Morais Junior et al., 2025). A medição de campo foi efetuada em julho de 2025, cinco meses após o plantio, que ocorreu em fevereiro de 2025.

Figura 1 – Restauração florestal de neutralização de gases do efeito estufa da Universidade Federal de Uberlândia em Monte Carmelo (MG)



Localização e polígono do plantio de neutralização das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do 11º Simpósio de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo.

O local é caracterizado por bacias e coberturas sedimentares fanerozoicas nas unidades de relevo definidas como “Chapadas de Uberlândia – Araguari” na categoria “Pediaplano Degradado Etchplanado” (SEMAD, 2025). O tipo de solo presente na área é latossolo vermelho distrófico (IDESISEMA, 2025). A pluviosidade acumulada da estação meteorológica mais próxima (em Uberlândia) foi de 606 mm entre janeiro e julho de 2026, para o período de implantação do plantio até a primeira medição foi de 407 mm (SEMAD, 2025).

O domínio fitogeográfico do município é o Cerrado. As classificações da vegetação do fragmento ao lado da área do plantio englobam cinco fitofisionomias: Floresta Estacional Semidecidual, Cerradão, Vegetação secundária de Floresta Semidecidual, Mata de Galerias e cerrado *stricto sensu*, além de regiões de clareira e pastagem (Lopes et al., 2011), resultados de pressão antrópica histórica na área. No fragmento ao lado da área de estudo já foram encontradas espécies estratégicas para conservação da biodiversidade (Lopes et al., 2011; França et al., 2024). A área de estudo é uma área de cerca de 1,0 ha com elevado grau de degradação ambiental por conta da intensa invasão de gramíneas exóticas invasoras, baixo potencial de regeneração natural e solo degradado.

O município de Monte Carmelo possui uma faixa de vulnerabilidade climática “Muito Alta” pelo Índice Mineiro de Vulnerabilidade Climática (SEMAD, 2025). O último inventário de GEE público para o ano de 2023, indicou que a emissão total do município anual é 373.423 tCO₂, sendo

que as fontes de “Energia” e “Agropecuária” representam cerca de 86% das emissões do município (Observatório do Clima, 2025).

Foram plantadas 99 mudas de espécies nativas do Cerrado, esquematizadas sob desenho amostral para remoção de dióxido de carbono, com 11 espécies nativas e 9 indivíduos aleatorizados em 3 blocos e 3 linhas (Figura 1) (Tabela 1). Portanto, foi implementado no plantio experimental 9 indivíduos de cada espécie, três em cada linha. A qualidade das mudas plantadas foi similar, já que foram produzidas no mesmo local e tinham padrões similares antes do plantio como, altura próximo de 20 cm e vigorosas.

Tabela 1 - Lista de espécies nativas selecionadas para o plantio de neutralização do evento científico realizado na Universidade Federal de Uberlândia no campus de Monte Carmelo em 2024.

Nome popular	Nome científico	Grupo funcional	Status de ameaça	Bioma de ocorrência
Angico-vermelho	<i>Anadenanthera peregrina</i>	Diversidade	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Caatinga
Baru	<i>Dipteryx alata</i>	Diversidade	Quase ameaçada (NT)	Cerrado
Ingá-de-metro	<i>Inga edulis</i>	Recobrimento	Não avaliada (NE)	Amazônia, Cerrado
Ipê-amarelo	<i>Handroanthus albus</i>	Recobrimento	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Caatinga
Ipê-branco	<i>Tabebuia roseo-alba</i>	Recobrimento	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Pantanal
Ipê-Roxo	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Recobrimento	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica
Ipê-verde	<i>Cybistax antisyphilitica</i>	Recobrimento	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Caatinga
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	Diversidade	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Mata Atlântica, Amazônia
Paineira	<i>Ceiba speciosa</i>	Recobrimento	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Mata Atlântica
Pau-de-bálsamo	<i>Myrcarpus frondosus</i>	Diversidade	Vulnerável	Cerrado, Mata Atlântica
Pau-ferro	<i>Libidibia ferrea</i>	Diversidade	Pouco preocupante (LC)	Cerrado, Caatinga

A taxa de sobrevivência de cada espécie (SV_j) foi calculada com base no número de indivíduos sobreviventes (N_{fj}) em relação ao número inicial de indivíduos plantados (N_{0j}), utilizando a seguinte fórmula:

$$SV_j = (N_{fj}/N_{0j}) \times 100 \quad (\text{Eq. 01})$$

Para a estimativa de estoque de carbono (C_{ij}) do i -ésimo indivíduo da j -ésima espécie, foi utilizada a equação desenvolvida por Moraes Junior et al. (2019):

$$C_{ij} = [0,000353 \times (DAS1,202424) \times (H0,781883)] \quad (\text{Eq. 02})$$

Onde: C_{ij} é o estoque de carbono do indivíduo (kg); DAS é o diâmetro ao nível do solo (mm); H é a altura da planta (cm).

A utilização dessa equação se justifica, pois, as alturas e diâmetros, estão dentro dos limites utilizados para ajuste de equação de estoque de carbono do estudo supracitado. Além disso, as espécies e os métodos de implantação do plantio se assemelham ao que foi utilizado pelos autores supracitados do estudo realizado em plantio de restauração florestal no município de Viçosa, no mesmo estado.

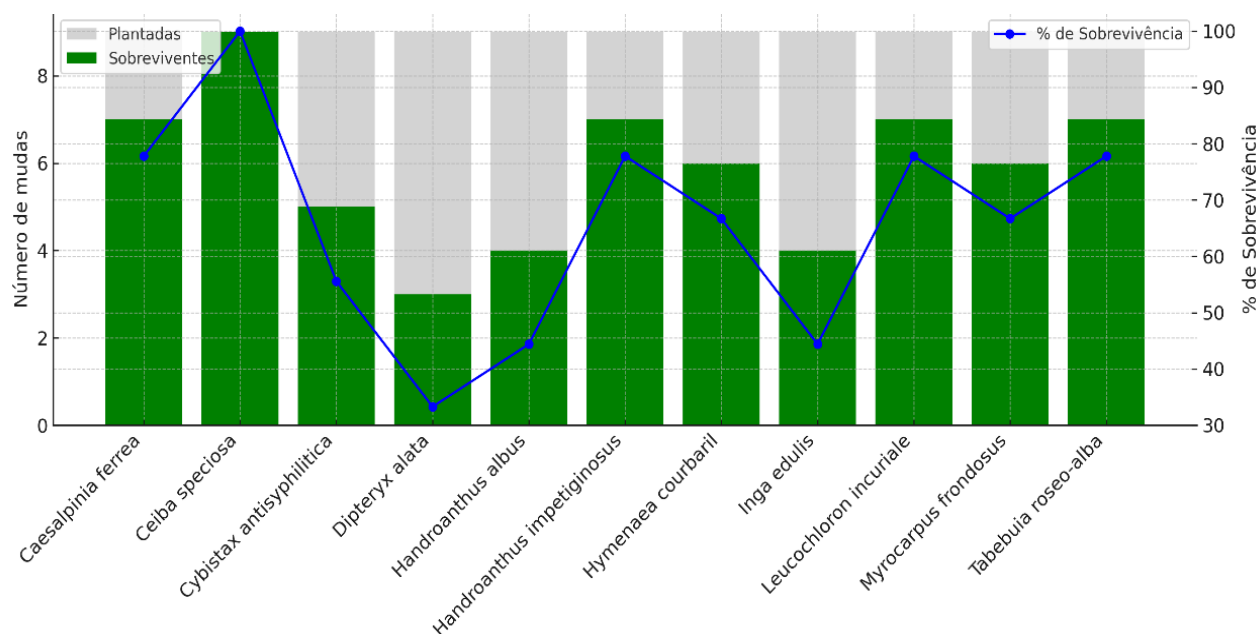
Os nomes científicos das espécies foram verificados com o "Plantminer", e o status de ameaça de cada uma foi consultado na lista de flora ameaçada do Ministério do Meio Ambiente (MMA) de 2021 (Carvalho et al., 2010; Brasil, 2022).

3. Resultados e Discussão

A análise dos dados coletados aos 5 meses de idade do plantio demonstra informações fundamentais sobre a performance das espécies, essas informações podem ser utilizadas para subsidiar programas de neutralização de carbono com foco na restauração por meio do plantio de espécies nativas. Espécies com taxas de sobrevivência baixas, não é recomendado para projetos de neutralização de GEE, pois, podem comprometer o sucesso da estocagem de carbono planejada no horizonte temporal de remoção do plantio.

Para esse plantio de neutralização foi estabelecido um incremento de aproximadamente 15% a mais para compensar possíveis danos relacionados à sobrevivência das mudas (Moraes Junior et al., 2025). Ao verificar a sobrevivência geral do plantio, observou-se que essa taxa foi de Sv: 65%, percebe-se que a margem de segurança de 15% estabelecida no planejamento da neutralização, não foi suficiente para assegurar a mortalidade das mudas verificadas em campo (Figura 2), desse fato podemos mencionar duas afirmações importantes: (i) De uma maneira geral, plantios de neutralização de GEE precisam de uma margem de segurança quanto ao número de indivíduos no plantio que seja próximo de Sv:35%. (ii) Para o plantio de neutralização de GEE do estudo é necessário a realização de um replantio na próxima época chuvosa, com vistas a compensar a mortalidade verificadas das mudas, as espécies que devem ser replantadas precisam ser aquelas estabelecidas como de melhor performances iniciais nesse estudo.

Figura 2. Sobrevivência aos 5 meses de idade de espécies plantadas em plantio de neutralização de GEE em Monte Carmelo-MG.



A taxa de sobrevivência do plantio de neutralização avaliado no âmbito desse estudo, possui uma sobrevivência próxima do que foi relatado em alguns outros plantios similares por Moraes Junior et al., (2022). No entanto, o replantio é fundamental para potencializar a estocagem de dióxido de carbono em longo prazo.

A classificação do status de ameaça para a escolha das espécies florestais para programas de neutralização de GEE pode contribuir para destacar a importância da escolha das espécies para a conservação da biodiversidade, promovendo não só a sensibilização para o tema como contribuindo efetivamente para a conservação de espécies estratégicas para a flora brasileira. Para o plantio desse estudo, pôde-se constatar que houve a utilização das espécies “*Dipteryx alata*” e “*Myrocarpus frondosus*” que têm relevância para a conservação da flora brasileira.

Observa-se que a sobrevivência geral das espécies após 5 meses foi elevada para algumas espécies, com taxas variando entre 60% a 100%. Espécies como *Caesalpinia ferrea* (77%); *Ceiba speciosa* (100%); *Handroanthus impetiginosus* (77%); *Hymenaea courbaril* (67%); *Leucochloron incuriale* (77%); *Myrocarpus frondosus* (67%); *Tabebuia roseo-alba* (77%). Portanto, essas espécies devem ser utilizadas em futuros replantios na área e podem ser utilizadas em outros projetos de neutralização de GEE e restauração florestal na região (Figura 2).

As espécies *Cydistax antispythitica* (56%); *Dipteryx alata* (33%); *Handroanthus albus* (44%); e *Inga edulis* (44%) tiveram as menores performances relacionadas a Sv do plantio (Figura 2). Essas espécies não são recomendadas inicialmente para projetos de neutralização pela baixa sobrevivência verificada em campo, podendo ser utilizadas para enriquecimento após o crescimento da copa das outras plantas. Portanto, embora *D.alata* possui relevância estratégica para a conservação da biodiversidade, sua adaptação ficou comprometida na análise da performance de sobrevivência aos 5 meses. A causa dessa mortalidade mais acentuada para essas espécies está relacionada às altas temperaturas verificadas na área e o déficit hídrico observado.

Com relação às variáveis de crescimento avaliadas, observa-se que o plantio teve um DAS médio de 9,3 mm.indivíduo⁻¹ enquanto a H médio de 49 cm.indivíduo⁻¹ (Tabela 2). Entre as espécies de maiores destaques para o crescimento em H e DAS destacam-se *C.speciosa* e *M.frondosus* que tiveram crescimentos superiores a média observada para o plantio, espécie de crescimento mais

rápido pode ser estratégicas para plantios de neutralização de GEE, pois além de remover de maneira mais rápida inicialmente o carbono da atmosfera, pode também superar as barreiras relacionadas a matocompetição, que é o principal limitador para a restauração florestal de ecossistemas terrestres, representando menores custos de manutenção (Croce et al., 2022).

Tabela 2 – Diâmetro a Altura do Solo (DAS) médio em mm.indivíduo⁻¹ e Altura (H) média em cm.indivíduo⁻¹ de espécies avaliadas em plantio de neutralização em Monte Carmelo -MG aos 5 meses de idade.

Espécie	DAS médio (mm)	H média (cm)
<i>Ceiba speciosa</i>	21,7	63,2
<i>Myrocarpus frondosus</i>	9,9	63,2
<i>Caesalpinia ferrea</i>	9,2	55,6
<i>Hymenaea courbaril</i>	9,1	59,0
<i>Inga edulis</i>	7,7	54,5
<i>Handroanthus albus</i>	7,1	34,5
<i>Leucochloron incuriale</i>	6,7	45,4
<i>Tabebuia roseo-alba</i>	6,4	54,0
<i>Dipteryx alata</i>	6,0	30,3
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	5,4	30,6
<i>Cybistax antisyphilitica</i>	4,3	27,4
Total Geral	9,3	49,0

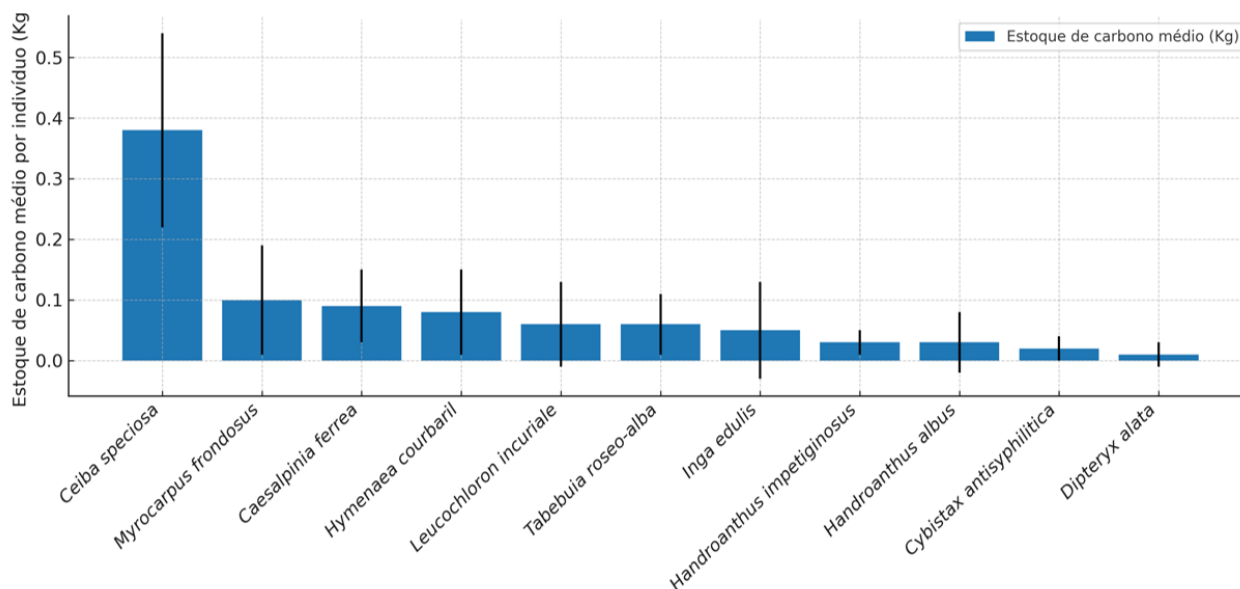
O conhecimento da estratégia de crescimento das espécies é passo primordial para planejamento de plantios de neutralização de Gases de Efeito Estufa e restauração, esses indicadores devem ser acompanhados ao longo da trajetória da restauração para delimitar as curvas da remoção de carbono em nível de espécies, permitindo refinar os indicadores de remoção de GEE (Moraes Junior et al., 2021).

Nesse sentido, os resultados obtidos nesse estudo sobre a estocagem de carbono em nível de espécie torna-se um indicador chave para demonstrar o potencial de remoção de dióxido de carbono pelas plantas em seus primeiros meses após a implantação. Cada espécie possui um ritmo de remoção de dióxido de carbono da atmosfera, essa diferenciação está relacionada ao ritmo de crescimento de cada espécie, como descrito por Shimamoto et al., (2018) as estratégias ecológicas de remoção de carbono estão relacionadas ao estágio sucessional das espécies, aquelas espécies dos estágios iniciais da sucessão ecológica possui uma remoção de carbono mais acelerada no início em contrapartida entram em senescência mais cedo em florestas. Já as espécies mais tardias da sucessão ecológica, estocam carbono de uma maneira mais lenta, no entanto, em longo prazo ficam mais tempo nas florestas, estocando mais carbono em longo prazo. Isso, indica que ambas as espécies são fundamentais para o sucesso de plantios de neutralização, no entanto, estudos como esses são primordiais para se compreender quais espécies são mais adequadas para implantação de plantios, a instalação de plantios de neutralização em duas etapas pode ser uma alternativa viável do ponto de vista ecológico e também econômico, pois algumas espécies mais sensíveis a matocompetição e a intensa exposição solar podem não serem adaptadas para estarem nas condições ambientais verificadas na maioria das áreas brasileiras, como exemplo citam-se as espécies com baixa Sv, como, *D. Alata*, *H.albus* e *I.edulis*.

As espécies de maior estocagem de carbono foram: *C. speciosa*, *M.frondosus*, *C.ferrea* (Figura 3). Essas espécies também possuíram sobrevivência elevada (>67%), indicando que essas são

as espécies que possuíram as melhores performances de sobrevivência e estocagem de carbono até os cinco meses do plantio, sendo, portanto, interessantes para serem utilizadas em outros plantios de neutralização.

Figura 3. Estocagem de carbono (C) aos 5 meses de idade de espécies plantadas em plantio de neutralização de GEE em Monte Carmelo - MG.



Importante destacar que a performance de estocagem de carbono, pode ser avaliada e testada em nível de espécies utilizando outras técnicas de restauração florestal (nucleação e condução da regeneração natural), dados dessas performances são incipientes (Shimamoto et al., 2018; Bechara et al., 2021; Liu et al., 2023). Além disso, recomenda-se também avaliações e investigações de plantios com mudas de maior porte.

Os resultados obtidos estão em consonância com estudos que enfatizam a importância de se conhecer a performance de espécies em plantios jovens, a experimentação e avaliação das performances é primordial para validação de testes pilotos e subsídios para implantação de plantios de neutralização sob áreas degradadas em larga escala (Croce et al., 2022). A medição de indicadores como altura, diâmetro e estoque de carbono é importante para a tomada de decisões em projetos de restauração, conforme apontado por Morais Junior et al. (2022) e Morais Junior et al. (2020). Tais informações são necessárias para o planejamento de plantios de neutralização de carbono e pode ser uma base importante para a elaboração de projetos no âmbito do mercado regulado de carbono no Brasil, fornecendo dados consistentes para a valoração dos créditos de carbono.

4. Conclusão

Esse estudo demonstrou que plantios de neutralização de carbono no Cerrado mineiro apresentam desafios de adaptação, mas também oportunidades para aprimorar técnicas de restauração. A sobrevivência geral de 65% indica que margens de segurança maiores e estratégias de replantio são essenciais para garantir o sucesso em longo prazo no planejamento da neutralização de Gases de Efeito Estufa.

As espécies *Ceiba speciosa*, *Myrocarpus frondosus* e *Libidibia ferrea* se destacaram pela alta sobrevivência (Sv), crescimento inicial e maior estocagem de carbono (C), revelando-se como

espécies chaves para programas de neutralização e restauração florestal. Já espécies com menor desempenho inicial, como *Dipteryx alata* e *Inga edulis*, podem ser consideradas em fases posteriores, como enriquecimento florestal. O estudo fornece subsídios práticos e científicos para orientar escolhas de espécies, reduzir custos de manutenção e maximizar a eficiência de projetos de restauração ecológica e neutralização de emissões de GEE no Cerrado.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos membros do Núcleo de Pesquisa em Planejamento e Manejo Florestal – NUPLAMFLOR pela colaboração fundamental na implantação e no monitoramento do plantio; à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal de Uberlândia (PROPP/UFU) pelo apoio concedido no âmbito do Edital de Iniciação Científica – DIRPE 01/2024 (Proposta nº 6449239); à Sala Verde Centro de Formação em Educação Climática (CEFEC UFU) pelo suporte extensionista de campo e à Prefeitura Municipal de Monte Carmelo, Minas Gerais, pela doação das mudas utilizadas no experimento e pelo suporte na manutenção do plantio.

Referências

Bechara, F. C., Trentin, B. E., Engel, V. L., Estevan, D. A., & Ticktin, T. (2021). Performance and cost of applied nucleation versus high-diversity plantations for tropical forest restoration. *Forest Ecology and Management*, 491, 119088.

Brasil. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF: Diário Oficial da União.

Brasil. (2024). Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). Brasília, DF: Diário Oficial da União.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Secretaria Nacional de Biodiversidade, Florestas e Direitos Animais. Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG) 2025-2028: rota estratégica para recuperação de 12 milhões de hectares. Brasília, DF, 2024.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. (2022). Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022. Altera os Anexos da Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014, da Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014, e da Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014, referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. Diário Oficial da União, seção 1, p. 74.

Cartolano, R. T., Jesus França, L. C., da Silva, L. D. C. M., Botelho, S. A., & Júnior, F. W. A. Definição de áreas prioritárias para restauração ecológica: análise de decisão multicritério como instrumento para o planejamento ambiental. 1a ed. Nova Xavantina: Pantanal. 2023.

Carvalho, G. H., Cianciaruso, M. V., & Batalha, M. A. (2010). Plantminer: a web tool for checking and gathering plant species taxonomic information. *Environmental Modelling & Software*, 25(6), 815-816.

Colli, G. R., Vieira, C. R., & Dianese, J. C. (2020). Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. *Biodiversity and Conservation*, 29, 1465-1475.

Croce, J., Badano, E. I., Trigo, C. B., Martinez-Galvez, F., & Tálamo, A. (2022). Experimental approaches to select tree species for forest restoration: effects of light, water availability and interspecific competition in degraded areas. *Journal Forestry Research*, 33, 1197-1207.

França, L. C. J., Morais Junior, V. T. M. de, Cândido, J. B. e, Ferreira, L. R. S., Santos, R. M. dos, & Oliveira, J. de F. F. (2024). Nota técnica: registro de ocorrência de *langsдорffia hypogaea* (balanophoraceae) no município de monte carmelô, minas gerais. *Regnellea Scientia*, 10(3), 74–86.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2025). BDMEP - Dados Históricos. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-historicos>.

Lima, P. A. F., de Albuquerque, L. B., Gatto, A., Malaquias, J. V., & Aquino, F. G. (2023). Establishment of native seedlings species as an indicator of ecological restoration of riparian forest, Cerrado, DF, Brazil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 43(e202002131), p. 1-12.

Liu, J., Gao, W., Liu, T., Dai, L., Wu, L., Miao, H., & Yang, C. (2023). A Bibliometric Analysis of the Impact of Ecological Restoration on Carbon Sequestration in Ecosystems. *Forests*, 14 (1442).

Minas Gerais. (2023). Plano Estadual de Ação Climática - Versão Final: Diretrizes e Ações Estratégicas.

Minas Gerais. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Instituto Estadual de Florestas (IEF). (2025). Compensações por Intervenções Ambientais. Disponível em: <https://liferay.meioambiente.mg.gov.br/web/ief/w/compensacoes-por-intervencoes-ambientais>.

Minas Gerais. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). (2025). IDESISEMA. Disponível em: <https://geoportal.meioambiente.mg.gov.br/>.

Morandi, D. T., de Jesus França, L. C., Menezes, E. S., Machado, E. L. M., da Silva, M. D., & Mucida, D. P. (2020). Delimitation of ecological corridors between conservation units in the Brazilian Cerrado using a GIS and AHP approach. *Ecological Indicators*, 115, 106440.

Morais Junior, V. T. M. de, Jacovine, L. A. G., Torres, C. M. M. E., Alves, E. B. B. M., Paiva, H. N. de, Alcântara-de la Cruz, R., & Zanuncio, J. C. (2019). Early assessment of tree species with potential for carbon offset plantations in degraded area from the southeastern Brazil. *Ecological Indicators*, 98, 854–860.

Morais Junior, V. T. M., de Jesus França, L. C., Stefanel, C. M., Zanuncio, A. J. V. (2024). Monitoring of areas in conflict with the Legislation for the Protection of Native Vegetation in Brazil: opportunity for large-scale forest restoration and for the Brazilian global agenda. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(11), 1113.

Morais Junior, V. T. M., Jacovine, L. A. G., & Torres, C. M. M. E. (2022). Programa carbono zero (ufv): um legado de 10 anos. Guarujá-SP: Científica Digital.

Morais Junior, V. T. M., Jacovine, L. A. G., Alves, E. B. B. M., Torres, C. M. M. E., Faustino, I. S., França, L. C. J., Rocha, S. J. S., Simiqueli, G. F., Silva, L. B., & Alcântara-de la Cruz, R. (2020).

Growth and survival of potential tree species for carbon-offset in degraded areas from southeast Brazil. *Ecological Indicators*, 117, 106514.

Morais Junior, V. T. M., Jacovine, L. A. G., de Oliveira, K., de Albuquerque, T. P., Faustino, I. S., da Silva, L. B., de Moura Alves, E. B. B., Torres, C. M. M. E., de Paiva, H. N., & de la Cruz, R. A. (2020). Performance of Five Native Atlantic Forest Species Planted in Containers of Different Size for Restoring Degraded Areas in Minas Gerais. *Forests*, 11(9), 937.

Morais Junior, V. T. M., Vaz, P. E. G., Candido, J. B. e, Santos, R. M. dos, Silva, M. I. M. da, Gosuen, D. P., Silva, M. P. da, & França, L. C. J. (2025, no prelo). Quantificação e neutralização de emissões de gases do efeito estufa de eventos como ferramenta de sensibilização climática. *Revista Espinhaço*.

Observatório do Clima. (2025). Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>.

Oliveira, M. C., Leite, J. B., Galdino, O. P. S., Ogata, R. S., Silva, D. A., & Ribeiro, J. F. (2019). Sobrevivência e crescimento de espécies nativas do Cerrado após semeadura direta na recuperação de pastagem abandonada. *Neotropical Biology and Conservation*, 14(3), 313–327.

Schimetka, L. R., Ruggiero, P. G. C., Carvalho, R. L., Behagel, J., Metzger, J. P., Nascimento, N., Chaves, R. B., Brancalion, P. H. S., Rodrigues, R. R., & Krainovic, P. M. (2024). Ecological restoration of Brazil's Atlantic Forest: lessons learned and new challenges. *Restoration Ecology*, 32(1), p. e14161.

Shimamoto, C. Y., Botosso, P. C., & Marques, M. C. M. (2014). How much carbon is sequestered during the restoration of tropical forests? Estimates from tree species in the Brazilian Atlantic forest. *Forest Ecology and Management*, 329, 1–9.

Shimamoto, C. Y., Padial, A. A., da Rosa, C. M., & Marques, M. C. M. (2018). Restoration of ecosystem services in tropical forests: A global meta-analysis. *PLOS ONE*, 13(12), e0208523.