



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ALTAMIRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO**

KERCIANE PEDRO DA SILVA

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E SISTEMA DE PLANTIO
ADENSADO EM ÁREA DEGRADADA NA AMAZÔNIA**

ALTAMIRA

2024



KERCIANE PEDRO DA SILVA

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E SISTEMA DE PLANTIO
ADENSADO EM ÁREA DEGRADADA NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Pará, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Miranda Leão

Coorientador(a): Prof. Dr. Jaime Barros dos Santos Junior

ALTAMIRA

2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S586i Silva, Kerciane Pedro da Silva.
INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E SISTEMA
DE PLANTIO ADENSADO EM ÁREA DEGRADADA NA
AMAZÔNIA / Kerciane Pedro da Silva. — 2024.
LV, 55 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Fábio Miranda Leão Leão
Coorientador(a): Prof. Dr. Jaime Barros dos Santos Junior
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Campus Universitário de Altamira, Programa de Pós-Graduação
em Biodiversidade e Conservação, Altamira, 2024.

1. Solos. 2. Plantio. 3. Recuperação de Áreas. I. Título.

CDD 577.09811

KERCIANE PEDRO DA SILVA

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E SISTEMA DE PLANTIO
ADENSADO EM ÁREA DEGRADADA NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Pará, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

Data da aprovação: ____/____/____

Banca Examinadora:

Nome com titulação
Examinador interno/externo - Instituição a que pertence

Nome com titulação
Examinador interno/externo - Instituição a que pertence

Nome com titulação
Examinador interno/externo - Instituição a que pertence

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado com profunda gratidão e saudade à memória do meu querido pai, Ademir. Sua força, sabedoria e amor incondicional continuam a me guiar todos os dias. Mesmo não estando mais fisicamente presente, sei que seu espírito vive em cada conquista minha.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização desta dissertação. Primeiramente, agradeço à Universidade Federal do Pará por ter sido o cenário do meu crescimento acadêmico e por proporcionar o ambiente necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

Sou imensamente grata ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, que não apenas me acolheu, mas também me ofereceu a formação e o suporte necessários para conduzir minhas pesquisas com rigor e dedicação.

Agradeço à Norte Energia, pelo financiamento do projeto PD-07427-0622/2022, através do Programa de PDI ANEEL, que foi fundamental para viabilizar a execução desta pesquisa.

Meu reconhecimento ao Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará (Ideflor), Centro de Estudos Ambientais (CEA) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) cujas parcerias e apoio foram cruciais para o andamento das atividades.

Agradeço aos meus orientadores e professores, Prof. Dr. Fábio Miranda Leão, Prof. Dr. Jaime Barros dos Santos Júnior e Prof. Dr. Emil José Hernández Ruz, pela orientação, paciência e valiosos ensinamentos que nortearam cada etapa deste trabalho.

Não posso deixar de mencionar meus queridos colegas Cléber, Gustavo, Ayla, Thais, Sabrina, Nicole, Victor, Genilson e Rayssah cuja amizade e colaboração foram indispensáveis, tanto nos momentos desafiadores quanto nas conquistas.

A minha família, minha mãe Eronice e meus irmãos Keila, Kleiton, Karen e Kamily, o meu alicerce em todos os momentos, ofereço um agradecimento especial. Vocês foram a minha base, proporcionando amor, compreensão e apoio incondicional.

Por fim, agradeço ao meu noivo Dihego, que esteve ao meu lado durante toda essa jornada, oferecendo suporte emocional, encorajamento e amor, essenciais para que eu chegasse até aqui.

A todos, o meu mais sincero obrigada.

"As vezes, as coisas mais difíceis e as
decisões mais difíceis são as que nos levam
onde realmente precisamos estar."

- Monica Geller

RESUMO GERAL

A degradação do solo resulta na perda de matéria orgânica e compactação, sendo que a avaliação da saúde do solo através de indicadores de qualidade torna-se essencial para monitoramento e adaptação de práticas de manejo em áreas degradadas. Além disso, buscar novas estratégias de plantio para restauração florestal é importante para que áreas que sofreram algum tipo de degradação possam ser restauradas. Neste sentido, os objetivos deste estudo foram: 1. Comparar a qualidade do solo em área de floresta e em diferentes relevos de uma área de pastagem. 2. Analisar a sobrevivência e crescimento de espécies arbóreas. 3. Avaliar o efeito da enxertia em *C. sanguinolentum* implantadas em grupos espaçados. A pesquisa foi realizada no Centro de Estudos Ambientais (CEA), localizado no município de Vitória do Xingu, PA, na região da Volta Grande do Xingu. Amostras de solo foram coletadas da área de floresta e em três diferentes faixas de altitude (120-130 m, 130-140 m e 140-150 m) na área degradada para determinação dos atributos físicos e químicos, além de calcular o Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES). A técnica de plantio por adensamento consistiu na distribuição de 30 grupos localizados em três diferentes relevos (120, 130 e 140 m). Cada grupo foi formado por 13 mudas de espécies florestais representando diferentes estágios sucessionais, com a espécie clímax *C. sanguinolentum* posicionada no centro. Em cada faixa de altitude, foram plantados cinco indivíduos enxertados e cinco não enxertados de *C. sanguinolentum* no centro dos grupos, sendo acompanhadas no período de seis meses. A análise de solo identificou diferenças significativas nos parâmetros físicos e químicos entre as áreas de floresta e a área de pastagem, evidenciando o impacto das práticas de manejo em áreas degradadas. As áreas florestais apresentaram melhor qualidade física do solo em comparação às áreas degradadas. Na floresta, houve maiores concentrações de carbono orgânico, fósforo assimilável e potássio, além de um pH mais ácido devido ao acúmulo de matéria orgânica. Por outro lado, as faixas altitudinais degradadas mostraram uma tendência à compactação do solo. No plantio adensado, a taxa de mortalidade foi de 7,69%, sendo que as espécies *S. mombin* e *G. americana* não apresentaram nenhuma morte. *S. mombin* teve o maior crescimento em altura (75,87%) e diâmetro (168,25%). A espécie *C. sanguinolentum* mostrou melhor desempenho em diâmetro nas mudas não enxertadas, com mortalidade ocorrendo apenas nas mudas enxertadas. O crescimento das mudas foi influenciado pela altitude, com melhor desenvolvimento em diâmetro e altura das espécies estudadas na área mais baixa do relevo. Os resultados da análise de solo demonstraram que a vegetação nativa contribui para a melhoria da qualidade do solo e mantém processos ecológicos positivos, enquanto práticas inadequadas prejudicam a funcionalidade ecológica do solo. Já o plantio adensado, de modo geral, mostrou-se uma estratégia eficaz para a restauração ecológica, favorecendo assim a funcionalidade do ecossistema e contribuindo com o avanço da sucessão ecológica em áreas degradadas.

Palavras-Chave: Biodiversidade e Conservação; Manejo do Solo; Restauração Florestal; Sucessão Ecológica.

ABSTRACT

Soil degradation results in the loss of organic matter and compaction, making the assessment of soil health through quality indicators essential for monitoring and adapting management practices in degraded areas. Furthermore, seeking new planting strategies for forest restoration is important so that areas that have suffered some type of degradation can be restored. In this context, the objectives of this study were: 1. To compare soil quality in forest areas and different topographies of a pasture area. 2. To analyze the survival and growth of tree species. 3. To evaluate the effect of grafting on *C. sanguinolentum* planted in spaced groups. The research was conducted at the Environmental Studies Center (CEA), located in the municipality of Vitória do Xingu, PA, in the Volta Grande do Xingu region. Soil samples were collected from the forest area and at three different altitude ranges (120-130 m, 130-140 m, and 140-150 m) in the degraded area to determine physical and chemical attributes, in addition to calculating the Soil Structural Quality Index (IQES). The dense planting technique consisted of the distribution of 30 groups located on three different topographies (120, 130, and 140 m). Each group was composed of 13 seedlings of forest species representing different successional stages, with the climax species *C. sanguinolentum* positioned in the center. In each altitude range, five grafted and five non-grafted individuals of *C. sanguinolentum* were planted in the center of the groups, and monitored over a six-month period. The soil analysis identified significant differences in physical and chemical parameters between forest areas and pasture areas, highlighting the impact of management practices in degraded areas. The forest areas exhibited better physical soil quality compared to the degraded areas. In the forest, there were higher concentrations of organic carbon, available phosphorus, and potassium, as well as a more acidic pH due to the accumulation of organic matter. On the other hand, the degraded altitude ranges showed a tendency toward soil compaction. In the dense planting, the mortality rate was 7.69%, with the species *S. mombin* and *G. americana* showing no mortality. *S. mombin* had the highest growth in height (75.87%) and diameter (168.25%). The species *C. sanguinolentum* showed better performance in diameter among the non-grafted seedlings, with mortality occurring only in the grafted seedlings. Seedling growth was influenced by altitude, with better diameter and height development of the studied species in the lower altitude area. The soil analysis results demonstrated that native vegetation contributes to the improvement of soil quality and maintains positive ecological processes, while inappropriate practices harm the soil's ecological functionality. Dense planting, in general, proved to be an effective strategy for ecological restoration, thus promoting ecosystem functionality and contributing to the advancement of ecological succession in degraded areas.

Keywords: Biodiversity and Conservation; Soil Management; Forest Restoration; Ecological Succession.

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL	11
2. OBJETIVOS GERAIS	12
3. REFERÊNCIAS	13
CAPÍTULO I - INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM ÁREA DEGRADADA NA AMAZÔNIA: Um estudo na Volta Grande do Xingu	16
Resumo	17
Abstract	17
Resumen	17
Introdução	18
Material e Métodos	19
Área de estudo.....	19
Amostragem, análises e outras determinações	21
Resultados e discussão	22
Conclusões	24
Agradecimentos	25
Referências	25
CAPÍTULO II - SISTEMA DE PLANTIO ADENSADO DE ESPÉCIES FLORESTAIS EM GRUPOS ESPAÇADOS PARA RECUPERAR ÁREAS DEGRADADAS POR PASTAGENS NA REGIÃO DA VOLTA GRANDE DO XINGU-PA	30
Resumo	31
Abstract	31
Introdução	32
Material e Métodos	33
Área de estudo.....	33
Implantação das unidades amostrais.....	34
Tratos culturais.....	37
Análise dos dados.....	37
Resultados	38
Discussão	44
Conclusões	48
Referências	48
CONCLUSÃO GERAL	55

1 INTRODUÇÃO GERAL

A Floresta Amazônica é reconhecida mundialmente por ocupar uma área de 5,5 milhões de km², conter mais de mais de 15.000 espécies incluindo árvores e palmeiras (Ter Steege *et al.*, 2020). Entretanto, o uso extensivo dessas áreas, principalmente para pastagens a longo prazo, tem causado perda gradual da biodiversidade, degradação das propriedades do solo, da água e do ar, e a propagação de plantas invasoras (Bolfe *et al.*, 2024; Costa *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2020), compactação desses solos, diminuindo a infiltração da água e prejudicando a capacidade de retenção de água no solo (Salomão *et al.*, 2020).

A manutenção da integridade dos ecossistemas terrestres é crucial não apenas para a sobrevivência humana, mas também para a preservação de inúmeras outras espécies. Nesse contexto, a sustentabilidade assume uma importância crescente ao orientar nossas perspectivas em relação ao futuro (Mariano; Junior, 2023). A necessidade de assegurar a conservação das espécies da fauna e da flora, ecossistemas e em última instância, da própria humanidade, exige mudanças significativas em múltiplos aspectos (Holl, 2020).

Um dos pilares para alcançar esses objetivos é a restauração ecológica, prática que envolve a intervenção deliberada do ser humano em ecossistemas modificados, que busca iniciar, facilitar e/ou acelerar o processo natural de sucessão ecológica, a fim de tornar o ambiente diversificado (Brancalion *et al.*, 2015; Schaffer *et al.*, 2020; Sousa *et al.*, 2021). Essa abordagem visa restabelecer a biodiversidade e melhorar o bem-estar humano em áreas desmatadas ou degradadas (Society for Ecological Restoration International, 2004).

Seja em ecossistemas florestais ou não, a restauração florestal segue diretrizes que respeitam a diversidade natural dos ambientes e abrangem outras formas de vida presentes, promovendo a sucessão ecológica como parte integral do processo (Martins *et al.*, 2015). Essa abordagem holística busca não apenas recuperar a vegetação, mas também restabelecer a complexidade e a funcionalidade dos ecossistemas degradados (Martins *et al.*, 2015; Brancalion *et al.*, 2015; Martins, 2021).

O solo, por sua vez, é um recurso natural vital para o equilíbrio dos ecossistemas, nos quais inúmeras espécies interagem e desempenham papéis essenciais na sustentação da vida na Terra. Devido à sua relevância para a biodiversidade, a

conservação do solo é indispensável (Silva *et al.*, 2021). Nesse contexto, a análise dos atributos físicos e químicos do solo, juntamente com indicadores visuais, desempenha um papel essencial na avaliação de áreas impactadas por distúrbios (Brito *et al.*, 2020).

A base desses projetos de restauração de áreas degradadas diz respeito a aceleração do processo de sucessão ecológica, onde uma comunidade se torna gradualmente mais completa, diversa e estável (Sousa *et al.*, 2021). Nesse sentido, técnicas de plantio que utilizam diferentes grupos ecológicos ganham destaque, uma vez que na natureza esse processo ocorre lentamente (Albuquerque *et al.*, 2010).

Uma dessas técnicas é o plantio adensado em núcleos espaçados, que visa o restabelecimento vegetal e melhora as condições para o crescimento vegetal das espécies de maneira fácil e de baixo custo, promovendo a recuperação das condições ecológicas do ambiente degradado (Bechara *et al.*, 2016; Dalpizzol *et al.*, 2021; Fonseca *et al.*, 2016). O modelo introduzido por Anderson (1953) fundamenta-se em uma abordagem que estimula o crescimento vertical e ramificado da espécie central (clímax).

Outra estratégia que pode auxiliar na recuperação de áreas degradadas é a propagação vegetativa por enxertia. O estudo do comportamento vegetativo de espécies florestais nativas enxertadas pode ser útil na identificação de genótipos mais adaptados para projetos de restauração florestal (Santos *et al.*, 2023).

2 OBJETIVOS GERAIS

Diante do exposto, este trabalho objetivou: (i) avaliar como a vegetação nativa e a degradação por pecuária influenciam a qualidade do solo, (ii) analisar o impacto da altitude na qualidade do solo, (iii) comparar o Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) em diferentes altitudes (iv) avaliar o desenvolvimento inicial de espécies florestais em plantio adensado em grupos espaçados em diferentes posições do relevo, (v) avaliar a mortalidade das espécies do plantio adensado seis meses pós-plantio, (vi) avaliar o desenvolvimento das mudas enxertadas e não enxertadas da espécie clímax *Chrysophyllum sanguinolentum* (Pierre) Baehni.

3 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, L. B.; ALONSO, A. M.; AQUINO, F. G.; REATTO, A.; SILVA, J. C. S.; LIMA, J. E. F. W.; SOUSA, A. C. S. A.; SOUSA, E. S. **Restauração ecológica de matas ripárias: uma questão de sustentabilidade** –Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.

ANDERSON, M. L. Spaced-Group planting. **Unasyuva**, Roma, v. 7, n. 2, p. 1-15, 1953.

BECHARA, F. C.; TRENTIN, B. E.; ENGEL, V. L.; ESTEVAN, D. A.; TICKTIN, T. Performance and cost of applied nucleation versus high-diversity plantations for tropical forest restoration. **Forest Ecology and Management**, v. 491, p. 119088, jul. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119088>

BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C.; SANO, E. E.; BAYMA, G.; MASSRUHÁ, S. M. F. S.; OLIVEIRA, A. F. Potential for Agricultural Expansion in Degraded Pasture Lands in Brazil Based on Geospatial Databases. **Geospatial Data for Landscape Change**, v. 13, n. 2, 2024. <https://doi.org/10.3390/land13020200>

BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração Florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 432 p.

BRITO, D. R.; SILVA, C. M.; BERBARY, V. E. C.; CARVALHO, C. C. N.; NUNES, F. C.; GALLO, C. M. Salinização e degradação de solo: uma consequência da recepção com uso inadequado de tecnologia. **Diversitas Journal**, Santana do Ipanema, v. 5, n. 3, p. 1707–1719, 2020. <http://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i3-1100>

COSTA, M. C.; MOURA, M. S.; NAVARRO, I. F.; SILVA, V. C.; PISSARRA, T. C. T.; VALERA, C. A.; FERNANDES, L. F. S.; PACHECO, F. A. L. Ecosystem services potential and soil conservation policies with emphasis on degraded pastures in Brazil. **Geography and Sustainability**, v. 24, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.07.010>

DALPIZZOL, J.; VICENTE, D. L. S.; DEMÉTRIO, L.; GOULART, M. M.; AQUINO, M. G. C.; FOCKINK, G.; KANIESKI, M. R. Avaliação de técnicas nucleadoras em uma área de preservação permanente no planalto serrano. **Biodiversidade**, v. 20, n. 2, p. 161-180, 2021.

FONSECA, C.; SAROBA, C. C.; THOMÉ, M. P. M. Recomposição florestal através do método de nucleação e poleiros naturais na recomposição de áreas degradadas: um estudo de caso. **REINPEC**, v. 2, n. 1, p. 226–239, 2016. <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v2n1a17>

HOLL, K. D. **Primer of ecological restoration**. Washington: Island Press, 2020. 243 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha Municipal: Unidades da Federação 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em 02 de setembro de 2024.

MARIANO, N.; FERRAREZI JUNIOR, E. MEIO AMBIENTE: a sustentabilidade como meio para erradicação da degradação ambiental. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 2, p. 784– 796, 20 dez. 2022. <http://doi.10.31510/infa.v19i2.1515>

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2021. 230 p.

MARTINS, S. V.; MIRANDA NETO, A.; RIBEIRO, T. **Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica**. In: MARTINS, Sebastião Venâncio. (Ed.) *Restauração ecológica de ecossistemas degradados*. Viçosa: Editora UFV, 3ª Ed, p. 19-41. 2015.

OLIVEIRA, E. R.; SILVA, J. R.; BAUMANN, L. R. F.; MIZIARA, F.; FERREIRA, L. G.; MERELLES, L. R. O. Technology and degradation of pastures in livestock in the brazilian Cerrado. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 626-638, 2020. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-55795>

SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A. A.; MARTINS, A. C. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. 1-21, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1870>

SANTOS, R. F.; PEDROZO, C. Â.; BATISTA, K. D.; FERREIRA, I. I. A.; MAYER, M. M. Desenvolvimento vegetativo e índices de clorofila de clones de *Bertholletia excelsa* Bonpl., em Roraima. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 12, n. 2, p. 17-27, 2013. <https://doi.org/10.47209/2317-5729.v.12.n.2.p.17-27>

SCHAFFER, L. H.; MATTAR, E. A.; NAKAJIMA, M. Y.; SILVA, S. A.; BORGES, R. A.; BORGES, A. V. P.; CARPANEZZI, A. A.; NEVES, E. J. M.; ANGELO, A. C.; BRITZ, R. M. Crescimento de espécies arbóreas nativas em recuperação de área degradada no litoral do Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 40, p. 1-9, 2020. <https://doi.org/10.4336/2020.pfb.40e201801680>

SILVA, M. O.; SANTOS, M. P.; SOUSA, A. C. P.; SILVA, R. L. V.; MOURA, I. A. A.; SILVA, R. S.; COSTA, K. D. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 6853–6875, 2021. <http://doi.org/10.34117/bjdv7n1-463>

SILVA-DIAS, M. A. F. D.; COHEN, J. C. P.; GANDÚ, A. W. Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 215–222, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000200011>

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL. **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica**. Tucson, 2004. 15 p.

SOUSA, E. J. B. D.; PINHEIRO, K. A. O.; CARNEIRO, F. S.; PINHEIRO, G. L. SOUSA, J. C. M.; AMORIM, M. B.; FRAZÃO, A. S.; CASTRO, C. V. B.; RIBEIRO, E. G. P. Uso de espécies nativas na restauração de ecossistemas florestais alterados pela retirada de seixo no nordeste paraense. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. 1-13, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.16937>

TER STEEGE, H.; PRADO, P. I.; LIMA, R. A. F.; POS, E.; COELHO, L. S.; LIMA FILHO, D. A. A.; et al. Biased-corrected richness estimates for the Amazonian tree flora. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 10130, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66686-3>

Este capítulo está formatado nas normas da revista Brazilian Geographical Journal,
disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/about/submissions#authorGuidelines>.

Artigo 1

**CAPÍTULO I - INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM ÁREA
DEGRADADA NA AMAZÔNIA: Um estudo de caso na Volta Grande do Xingu**

INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM ÁREA DEGRADADA NA AMAZÔNIA: Um estudo na Volta Grande do Xingu

RESUMO: A qualidade do solo é essencial para a biodiversidade e a resiliência das florestas às mudanças climáticas. A degradação causada por práticas insustentáveis prejudica a regeneração da vegetação nativa, ressaltando a importância da restauração ecológica para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas. Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto da vegetação nativa e da pecuária sobre a qualidade do solo em diferentes compartimentos da paisagem na região da Volta Grande do Xingu. Amostras de solo foram coletadas em áreas de floresta e degradadas, em três faixas de altitude (120-130 m, 130-140 m e 140-150 m), para determinar os atributos físicos e químicos e o Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES). A análise revelou diferenças significativas entre as áreas de floresta e as áreas degradadas, refletindo o impacto das práticas de manejo. As áreas de floresta apresentaram melhor qualidade física do solo em comparação com as áreas degradadas. A floresta teve maiores concentrações de carbono orgânico, fósforo assimilável e potássio, além de um pH mais ácido, devido ao acúmulo de matéria orgânica. Em contraste, as faixas altitudinais degradadas apresentaram uma tendência de compactação. Esses resultados confirmam que a vegetação nativa melhora a qualidade do solo e sustenta processos ecológicos benéficos, enquanto práticas inadequadas como a pecuária comprometem a funcionalidade ecológica do solo.

Palavras-chave: Análise de Solos; Manejo do Solo; Regeneração Florestal.

SOIL QUALITY INDICATORS IN A DEGRADED AREA IN THE AMAZON: A Study in the Volta Grande do Xingu

ABSTRACT: Soil quality is essential for biodiversity and the resilience of forests to climate change. The degradation caused by unsustainable practices harms the regeneration of native vegetation, highlighting the importance of ecological restoration to ensure ecosystem sustainability. This study aimed to evaluate the impact of native vegetation and livestock on soil quality in different landscape compartments in the Volta Grande do Xingu region. Soil samples were collected from forested and degraded areas, in three altitude ranges (120-130 m, 130-140 m, and 140-150 m), to determine physical and chemical attributes and the Soil Structural Quality Index (IQES). The analysis revealed significant differences between forested and degraded areas, reflecting the impact of management practices. Forest areas showed better physical soil quality compared to degraded areas. The forest had higher concentrations of organic carbon, available phosphorus, and potassium, as well as a more acidic pH due to the accumulation of organic matter. In contrast, the degraded altitude ranges showed a tendency towards soil compaction. These results confirm that native vegetation improves soil quality and supports beneficial ecological processes, while inappropriate practices such as livestock farming compromise the ecological functionality of the soil.

Keywords: Soil Analysis; Soil Management; Forest Regeneration.

INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO EN ÁREA DEGRADADA EN LA AMAZONÍA: Un estudio en la Volta Grande do Xingu

RESUMEN: La calidad del suelo es esencial para la biodiversidad y la resiliencia de los bosques frente al cambio climático. La degradación causada por prácticas insostenibles perjudica la regeneración de la vegetación nativa, resaltando la importancia de la restauración ecológica para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de la vegetación nativa y la ganadería sobre la calidad del suelo en diferentes compartimentos del paisaje en la región de la Volta Grande del Xingu. Se recolectaron muestras de suelo en áreas de bosque y degradadas, en tres rangos de altitud (120-130 m, 130-140 m y 140-150 m), para determinar los atributos físicos y químicos, así como el Índice de Calidad Estructural del Suelo (IQES). El análisis reveló diferencias significativas entre las áreas de bosque y las áreas degradadas, reflejando el impacto

de las prácticas de manejo. Las áreas de bosque presentaron mejor calidad física del suelo en comparación con las áreas degradadas. El bosque mostró mayores concentraciones de carbono orgánico, fósforo asimilable y potasio, además de un pH más ácido, debido a la acumulación de materia orgánica. En contraste, los rangos altitudinales degradados mostraron una tendencia hacia la compactación del suelo. Estos resultados confirman que la vegetación nativa mejora la calidad del suelo y sostiene procesos ecológicos beneficiosos, mientras que prácticas inadecuadas, como la ganadería, comprometen la funcionalidad ecológica del suelo.

Palabras clave: Análisis de Suelos; Manejo del Suelo; Regeneración Forestal.

Introdução

A Amazônia, a maior floresta tropical do mundo, desempenha um papel vital na regulação do clima global e na preservação da biodiversidade. Este bioma abriga uma imensa variedade de espécies vegetais e animais, muitas das quais são endêmicas e ainda pouco conhecidas pela ciência (VIEIRA et al., 2005; SILVA DIAS et al., 2005). Além disso, a Amazônia exerce uma função crucial na manutenção do ciclo hidrológico, influenciando padrões de precipitação não apenas na América do Sul, mas em outras partes do mundo (DAVIDSON et al., 2012). No entanto, esse patrimônio natural enfrenta crescentes ameaças devido às mudanças climáticas e à ação humana, que estão comprometendo sua integridade e resiliência (IPCC, 2023).

As mudanças climáticas têm provocado alterações significativas nos padrões de temperatura e precipitação na Amazônia, aumentando a frequência e a intensidade de eventos extremos, como secas e enchentes. Esses fenômenos têm um impacto direto na saúde dos ecossistemas, afetando desde o crescimento das plantas até a distribuição das espécies animais (NOBRE et al., 2009; IPCC, 2023). O desmatamento e as queimadas, que muitas vezes são realizados para a expansão agrícola e pecuária, exacerbam esses efeitos ao destruir a cobertura florestal e expor o solo, tornando-o mais vulnerável à erosão e à perda de nutrientes. A degradação do solo, por sua vez, agrava a crise climática ao reduzir a capacidade de sequestro de carbono das florestas (BOTTA; FOLEY, 2002; BEVAN et al., 2009; NOBRE et al., 2009; DAVIDSON et al., 2012; FAO; ITPS, 2015; IPCC, 2023).

O solo é o alicerce dos ecossistemas terrestres, fornecendo os nutrientes necessários para o crescimento das plantas, regulando o ciclo da água e armazenando carbono. Solos saudáveis são essenciais para a manutenção da biodiversidade, pois suportam uma vegetação densa e diversa, que por sua vez sustenta uma ampla gama de espécies animais. Além disso, a estrutura e a composição química do solo influenciam diretamente a capacidade das florestas de resistirem às mudanças climáticas e de recuperarem-se de distúrbios, como desmatamentos e queimadas (BLUM, 2005; FAO; ITPS, 2015; DROBNIK et al., 2018; VOGEL et al., 2018). Neste contexto, a qualidade do solo na Amazônia se torna um fator central na discussão sobre a sustentabilidade e a conservação desse bioma.

Mesmo desempenhando um papel crucial nos serviços ecossistêmicos, especialmente na produção de água e no sequestro de carbono, sendo um componente vital dos ecossistemas terrestres (DOMINATI et al., 2010; CAMILO-COTRIM et al., 2022), cerca de 33% dos solos do mundo estão degradados, o que faz com que seja vital compreender e mitigar os danos decorrentes de sua degradação (FAO; ITPS, 2015). As trajetórias atuais das condições do solo têm o potencial de causar consequências catastróficas, impactando milhões de pessoas nas regiões mais vulneráveis nas próximas décadas (MONTANARELLA et al., 2016). As decisões de gestão dos recursos naturais devem adotar estratégias de uso

sustentável que priorizem a resiliência dos solos, garantindo a produção contínua de serviços ecossistêmicos (BONILLA-BEDOYA et al., 2017).

A degradação do solo, causada por práticas agrícolas insustentáveis, como o uso excessivo de fertilizantes e pesticidas, a monocultura e o pastoreio intensivo, resulta na perda de matéria orgânica, na compactação e na contaminação do solo. Esses processos comprometem a fertilidade do solo e sua capacidade de sustentar a vida vegetal, levando à redução da produtividade agrícola e florestal. Além disso, a degradação do solo contribui para a perda de biodiversidade e para o aumento da emissão de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono e o metano, exacerbando os efeitos das mudanças climáticas (FAO; ITPS, 2015).

Diante desse cenário, a restauração ecológica surge como uma estratégia crucial para recuperar áreas degradadas, promover a conservação das espécies e mitigar os impactos das mudanças climáticas, contribuindo para a sustentabilidade (HOBBS et al., 2011; BENINI; ADEODATO, 2017; HOLL, 2020; ROSENFELD; MÜLLER., 2020). A restauração de ecossistemas florestais é crucial para melhorar a qualidade do solo, especialmente na recuperação de suas propriedades físicas e químicas, mantendo a qualidade ambiental, assegurando a produtividade agrícola e florestal, protegendo a biodiversidade e garantindo importantes serviços ecossistêmicos (ALLEK et al., 2023).

Embora a floresta amazônica tenha grande importância global, ainda são escassos os estudos que avaliam os indicadores de qualidade do solo, os quais são fundamentais para avaliar a saúde do solo em áreas com diferentes estágios de restauração (ZAHEDIFAR, 2023). A avaliação de indicadores de qualidade do solo é uma ferramenta crucial para o monitoramento e a adaptação das práticas de manejo em áreas de restauração, sendo fundamentais para avaliar a saúde do solo e o sucesso das iniciativas de restauração (VIANA et al., 2014; MUÑOZ - ROJAS et al., 2016; MUÑOZ-ROJAS, 2018). Esses indicadores permitem identificar áreas críticas que necessitam de intervenções específicas e ajustar suas estratégias de manejo para maximizar os benefícios ecológicos e sociais da restauração (MUÑOZ-ROJAS, 2018; RAIESI; SALEK - GILANI, 2020).

Os objetivos deste trabalho foi avaliar como a vegetação nativa e a degradação por pecuária influenciam a qualidade do solo, caracterizando as diferenças entre áreas de floresta e faixas degradadas em termos de atributos físicos e químicos. O estudo buscou entender o impacto da altitude na qualidade do solo, determinar o efeito das práticas de manejo do uso por pecuária extensiva, nos atributos do solo, e comparar o Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) em diferentes altitudes na região da Volta Grande do Xingu.

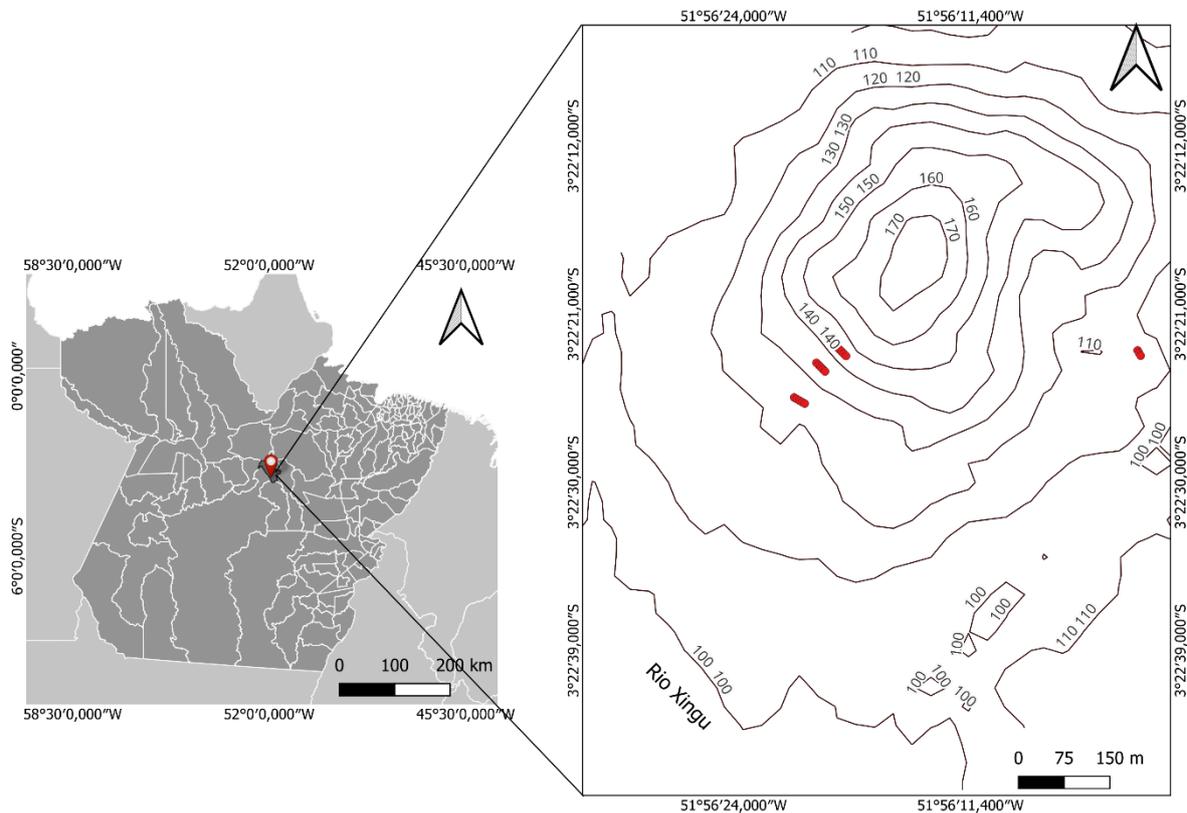
Material e Métodos

Área de estudo

A pesquisa foi realizada no Centro de Estudos Ambientais (CEA) da Norte Energia S.A., localizado no município de Vitória do Xingu, PA, na região da Volta Grande do Xingu, nas coordenadas 3°22'25"S e 51°56'23"W, próximo à Barragem de Belo Monte, na margem do rio Xingu (figura 1). A área foi utilizada para pecuária entre 1995 e 2005, após sua vegetação ter sido suprimida, conforme imagens de satélite Landsat 5 TM, cena 225062, por proprietários anteriores. Posteriormente, a área foi adquirida pela empresa Norte Energia S.A. como parte do projeto hidrelétrico de Belo Monte. Desde então, a área permanece sem uso agrícola, sendo dominada principalmente por gramíneas exóticas, remanescentes das

antigas pastagens, com apenas um pouco de regeneração natural. Essas gramíneas dificultam e retardam significativamente o processo de regeneração natural da floresta.

Figura 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo e Distribuição dos Pontos de Amostragem nas Faixas Altitudinais e na Floresta de Referência no Centro de Estudos Ambientais na região da Volta Grande do Xingu.



Fonte: Elaborado pelos autores com base na Malha Municipal Digital do Brasil, Unidades da Federação, IBGE (2022) e Copernicus Global Digital Elevation Model da European Space Agency (2024).

Nesta localidade, o rio Xingu, que é o terceiro maior afluente do rio Amazonas, percorre um trajeto sinuoso sobre fraturas em rochas do embasamento do cráton amazônico, pouco antes de entrar na bacia sedimentar do Amazonas, na região conhecida como "Volta Grande do Xingu," moldada por estruturas tectônicas (COSTA *et al.*, 1996; ZUANON *et al.*, 2019). A geologia do local de estudo compreende granitóides da Suíte Anorogênica Bacajá, do Paleoproterozóico (PAULA *et al.*, 2016). A vegetação é classificada como Floresta Ombrófila Densa (SALOMÃO *et al.*, 2007) e o clima, na classificação de Köppen, é o Aw, clima tropical de monção (ALVARES *et al.*, 2013).

O solo local apresenta uma sequência de horizontes A-AEc-Ec-Btfc-Cfc, com concreções ferruginosas (petroplintita) ocupando mais de 50% da massa do solo em todos os horizontes, com exceção do A que apresenta uma espessura de 4 cm. Estas condições caracterizam, respectivamente, o horizonte diagnóstico subsuperficial concrecionário e o horizonte diagnóstico superficial A fraco, de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de

Classificação de Solo (SANTOS *et al.*, 2018), portanto o solo pode ser classificado como Plintossolo Pétrico Concrecionário.

Amostragem, análises e outras determinações

A amostragem foi realizada em quatro compartimentos distintos, sendo três em diferentes faixas altitudinais em área degradada, em um pequeno morro na porção nordeste do CEA e um em floresta utilizada como referência. As faixas de altitude foram: faixa 1 (120-130 m), faixa 2 (130-140 m) e faixa 3 (140-150 m), além da Floresta. Em cada compartimento da área degradada foram abertas cinco mini trincheiras e na área de floresta foram abertas três mini trincheiras com dimensões de 40 cm de comprimento, 30 cm de largura e 30 cm de profundidade para a coleta de solo.

Em cada ponto de amostragem, calculou-se o índice de qualidade estrutural do solo da amostra (IQEA) e, através de suas médias, foi calculado o índice de qualidade estrutural do solo da gleba (IQES), conforme fórmulas abaixo, de acordo com Ralisch *et al.* (2017):

$$IQEA = (E_{c1} \times Qe_{c1}) + (E_{c2} \times Qe_{c2}) + (E_{c3} \times Qe_{c3}) / E_{total}$$

Onde:

IQEA = índice de qualidade estrutural do solo da amostra;

E_c = espessura de cada camada, em cm (o número de camadas pode variar de 1 a 3);

Qe_c = nota de qualidade estrutural atribuída à cada camada;

E_{total} = espessura/profundidade total da amostra (25 cm).

$$IQES = (IQEA_1 + IQEA_2 + \dots + IQEA_n) / n$$

Onde:

IQES = índice de qualidade estrutural do solo na gleba avaliada;

n = número total de amostras;

IQEA = nota de qualidade estrutural atribuída às amostras, de 1 até a n .

As demais análises e determinações do solo, descritas a seguir, foram realizadas conforme metodologias apresentadas em Teixeira *et al.*, (2017).

As amostras de solo coletadas na profundidade de 0-20 cm foram secas em estufa a 40 °C, moídas e peneiradas para separar as frações com diâmetro menor que 2,0 mm. A análise granulométrica foi realizada por meio de dispersão em solução de NaOH 1 mol.L⁻¹. A fração de areia foi determinada por peneiramento, enquanto a argila foi quantificada por densimetria, com base no método do densímetro e na lei de Stokes e o silte foi calculado por diferença.

Amostras indeformadas de solo foram coletadas utilizando cilindros metálicos volumétricos para determinação da densidade do solo e posteriormente para análise da densidade de partículas (D_p) pelo método do balão volumétrico. A porosidade total (P_t) foi calculada pelo método indireto pela fórmula: $P_t = (D_p - D_s)/D_p$.

Na fração menor que 2,0 mm foram realizadas análises de pH em H₂O, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, H⁺+Al³⁺, P assimilável, N total, carbono orgânico (C org) e calculado os valores de soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca de cátions (T), saturação por bases (V).

Após a realização dos testes de Shapiro-Willk e Bartlett, para a verificação da normalidade e homogeneidade dos resíduos da variância, foi verificado que os pressupostos não puderam ser assumidos, mesmo quando transformados para log₁₀ e box cox. Desta forma para testar os efeitos altitudinais sobre os atributos físicos e químicos do solo foi realizado o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). As diferenças quando significativas foram submetidas ao teste post-hoc (Dunn), com ajuste no valor de p pelo método de Bonferroni. As análises estatísticas foram realizadas na linguagem R 4.4.1 (R Foundation for Statistical Computing, Viena, AT).

Resultados e discussão

A análise granulométrica revela que areia, silte e argila apresentaram valores relativamente homogêneos em todos os compartimentos, com uma composição textural que se enquadra na classe franco-argilo-arenosa. Não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os compartimentos em relação às frações granulométricas, indicando uma uniformidade nas características texturais ao longo da paisagem estudada (tabelas 1 e 2).

Tabela 1 – Médias dos atributos físicos e qualidade estrutural do solo em diferentes compartimentos da paisagem no Centro de Estudos Ambientais na região da Volta Grande do Xingu

Área	Areia	Silte	Argila	Ds	Dp	Pt	IQES
	g kg ⁻¹			Mg m ⁻³		m ³ m ⁻³	
Faixa 1	592	56	351	1,31a	2,41a	0,46a	4,6a
Faixa 2	582	81	337	1,43b	2,43a	0,41b	4,5a
Faixa 3	588	76	335	1,46b	2,43a	0,40b	4,2a
Floresta	582	67	351	1,10a	2,28b	0,52a	6,0b

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; Pt: porosidade total; IQES: Índice de Qualidade Estrutural do Solo. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Kruskal Wallis a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2 – Médias dos atributos químicos do solo em diferentes compartimentos da paisagem no Centro de Estudos Ambientais na região da Volta Grande do Xingu

Área	pH H ₂ O	Corg	N	P assimilável	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	T	V
		g kg ⁻¹		mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³					%			
Faixa 1	5,1a	14,5a	1,34	5,4a	0,11a	0,02	1,4ab	0,4	1,9a	0,2a	3,3a	5,3a	35,6a
Faixa 2	5,2a	14,2a	1,47	5,6a	0,09ab	0,02	1,4a	0,4	1,8a	0,1a	3,1a	5,0a	37,6a
Faixa 3	5,1a	13,3a	1,44	4,2b	0,08b	0,02	0,8bc	0,3	1,2b	0,2a	2,6a	3,8b	31,6a
Floresta	4,4b	28,2b	1,64	11,0c	0,26c	0,02	0,7c	0,5	1,5ab	1,6b	6,9b	8,4c	17,7b

SB: Soma de bases = somatório dos cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺); T: Capacidade de troca de cátions total = SB+(H⁺+Al³⁺); V: Porcentagem de saturação por bases = 100xSB/T. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Kruskal Wallis a 5% de probabilidade de erro.

Para a densidade do solo (Ds) e a porosidade total (Pt), os resultados mostraram que não houve diferenças significativas entre a Faixa 1 e a Floresta, nem entre a Faixa 2 e a Faixa 3. No entanto, a Ds e a Pt da Floresta e da Faixa 1 diferiram significativamente das demais faixas. A densidade de partículas (Dp) foi significativamente menor na Floresta em comparação com as outras áreas, sem variação significativa entre as faixas. O Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) foi significativamente maior na Floresta, enquanto as faixas apresentaram valores mais baixos, com uma tendência de diminuição do IQES com o aumento da altitude.

A menor densidade do solo e a maior porosidade total observadas na Floresta sugerem uma estrutura menos compactada, com maior capacidade de retenção de água e melhor aeração (WENDLING *et al.*, 2012). Esses atributos associados à maior presença de matéria orgânica, conforme evidenciado pelo teor de carbono, favorecem uma infiltração de água mais eficiente e um desenvolvimento radicular mais robusto (FIGUEIREDO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2022). Nas faixas altitudinais degradadas, a densidade do solo tende a aumentar com a elevação, enquanto a porosidade total diminui, indicando uma compactação progressiva. Essa compactação pode ser atribuída a processos erosivos e à maior exposição do solo, intensificados pela perda da cobertura vegetal e pelo uso anterior da área para pecuária.

O IQES mais alto na Floresta confirma a melhor condição física do solo nessa área, em comparação com as faixas degradadas. Estudos anteriores, como os de Silva *et al.* (2018), Zebalos *et al.* (2018), Ribeiro *et al.* (2019), mostram variações nos valores de IQES em diferentes sistemas de uso do solo. Na Floresta, o IQES foi de 5,7, o que se aproxima dos valores mais altos observados nesses estudos, enquanto nas faixas, o IQES foi significativamente mais baixo, refletindo uma perda de qualidade do solo, especialmente nas altitudes mais elevadas.

Os atributos químicos do solo, interpretados conforme Brasil e Cravo (2020) e Santos *et al.* (2018), revelam diferenças significativas entre a Floresta e as faixas altitudinais. Os teores de nitrogênio (N), sódio (Na⁺) e magnésio (Mg²⁺) não diferiram significativamente entre as áreas, indicando certa uniformidade desses parâmetros. Em contraste, o carbono orgânico (Corg), o fósforo assimilável (P), o potássio (K⁺), o alumínio trocável (Al³⁺) e a acidez potencial (H⁺+Al³⁺) foram significativamente maiores na Floresta em comparação com as faixas. O fósforo, o potássio, a soma de bases (SB) e a capacidade de troca de cátions (T) apresentaram diferenças significativas em pelo menos dois compartimentos, enquanto o pH do solo foi consistentemente baixo em todos os compartimentos, sendo o mais ácido registrado na Floresta.

O pH mais baixo na Floresta sugere um solo mais ácido, provavelmente devido ao acúmulo de matéria orgânica e à decomposição de folhas que liberam ácidos orgânicos. Em contraste, as faixas altitudinais exibem um pH mais elevado, possivelmente como resultado da mineralização mais intensa de nutrientes associada à degradação e à perda da cobertura vegetal. Estudos realizados na Amazônia, como os de Viana *et al.* (2014) e Fiel *et al.* (2022), corroboram esses achados, mostrando pH mais baixos em áreas florestais em comparação com áreas degradadas.

A acidez potencial, a capacidade de troca de cátions e os cátions K⁺ e Mg²⁺ foram mais elevados na Floresta, enquanto a saturação por bases e o Ca²⁺ foram menores, o que pode indicar que as faixas altitudinais sofreram com a ação do fogo, conforme corroborado por trabalhos anteriores (JACQUES, 2003; FERREIRA *et al.*, 2010; REDIN *et al.*, 2011; COMTE *et al.*, 2012; TAKAHASHI *et al.*, 2018; BERTOLINO *et al.*, 2022). A maior concentração de Corg na Floresta reflete a capacidade da vegetação florestal de acumular matéria orgânica, essencial para a fertilidade do solo e a retenção de umidade. A matéria orgânica também contribui para a estrutura do solo, melhorando a agregação e aumentando a porosidade,

facilitando a infiltração de água e promovendo condições favoráveis para o desenvolvimento das plantas e a atividade microbiana (LEITE, 2004).

Em contraste, a diminuição da matéria orgânica nas faixas degradadas pode comprometer esses processos, levando à formação de solos compactados com baixa infiltração de água e maior suscetibilidade à erosão. Isso afeta negativamente a regeneração natural e as espécies implantadas, conforme discutido por Brancalion *et al.* (2015). Os atributos do solo que apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre a Floresta e pelo menos uma das faixas foram Ds, Dp, Pt, IQES, pH, Corg, N, P, K⁺, Ca²⁺, Al³⁺, H⁺+Al³⁺, T e V. Entre as diferentes faixas altitudinais, apenas Ds, Pt, P assimilável, K⁺, Ca²⁺, SB e T mostraram variações significativas.

Apesar das diferenças estatísticas, observa-se uma tendência de diminuição nos atributos de Argila, Pt, IQES, Corg, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SB, H⁺+Al³⁺ e T com o aumento da altitude. Essas diferenças refletem o impacto do uso do solo e da degradação, ressaltando a importância da conservação da vegetação nativa e da adoção de práticas de manejo sustentável para restaurar a qualidade do solo e promover a funcionalidade dos ecossistemas. A compreensão dessas variações é essencial para a implementação de estratégias eficazes de restauração e manejo, visando a recuperação da qualidade do solo e a sustentabilidade ambiental na região da Volta Grande do Xingu.

Conclusões

A análise dos atributos físicos e químicos do solo nos diferentes compartimentos da paisagem na região da Volta Grande do Xingu revelou diferenças significativas entre as áreas de floresta e as faixas altitudinais degradadas, refletindo o impacto das práticas de manejo e o uso do solo. A granulometria homogênea em todos os compartimentos indicou uma consistência na composição textural do solo, enquanto as diferenças na densidade do solo, porosidade total, densidade de partículas e Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) destacaram a Floresta como a área com melhor condição física do solo.

Os atributos químicos, incluindo o carbono orgânico, fósforo assimilável, potássio, alumínio trocável e acidez potencial, foram significativamente mais elevados na Floresta, corroborando a importância da vegetação florestal na manutenção da fertilidade do solo e na retenção de umidade. A Floresta apresentou o pH mais ácido, indicando uma maior acidez, atribuída ao acúmulo de matéria orgânica. Em contraste, as faixas altitudinais exibiram pH mais elevado e uma tendência de compactação do solo com o aumento da altitude, refletindo o impacto da degradação e a perda da cobertura vegetal.

Os resultados confirmam a influência significativa da vegetação nativa na qualidade do solo e na sua capacidade de sustentar processos ecológicos benéficos. A maior concentração de matéria orgânica na Floresta melhorou a estrutura do solo, sua porosidade e a capacidade de retenção de água, em comparação com as áreas degradadas. As variações nos atributos do solo ao longo da altitude nas faixas degradadas indicam que práticas de manejo inadequadas, como a pecuária e a exposição do solo, contribuem para a deterioração da qualidade do solo e a diminuição da sua funcionalidade ecológica.

A compreensão dessas diferenças é importante para o desenvolvimento de estratégias eficazes de restauração e manejo sustentável. A implementação de práticas de conservação e recuperação da vegetação nativa pode melhorar a qualidade do solo e promover a sustentabilidade ambiental na região. Este estudo reforça a necessidade de um manejo integrado que leve em consideração as características específicas dos diferentes

compartimentos da paisagem, visando a restauração da qualidade do solo e a preservação dos ecossistemas locais.

Agradecimentos

A Norte Energia pelo financiamento do projeto PD-07427- 0622/2022, através do Programa de PDI ANEEL.

Referências

- ALLEK, A.; VIANY PRIETO, P.; KORYS, K. A.; RODRIGUES, A. F.; LATAWIEC, A. E.; CROUZEILLES, R. How does forest restoration affect the recovery of soil quality? A global meta-analysis for tropical and temperate regions. **Restoration Ecology**, v. 31, n. 3, p. e13747, 2023. <https://doi.org/10.1111/rec.13747>
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BENINI, R. M.; ADEODATO, S. O desafio econômico de recobrir o Brasil In: BENINI, R. M.; ADEODATO, S. (Org.). **Economia da Restauração Florestal**. São Paulo: The Nature Conservancy, 2017. 8-19 p.
- BERTOLINO, A. V. F. A.; MATTOS, B. S.; BERTOLINO, L. C. A influência do fogo nas propriedades de um solo sob manejo de agricultura de corte e queima em ambiente serrano no bioma de Mata Atlântica. **Sociedade & Natureza**, v. 34, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-63656>
- BEVAN, S. L.; NORTH, P. R. J.; GREY, W. M. F.; LOS, S. O.; PLUMMER, S. E. Impact of atmospheric aerosol from biomass burning on Amazon dry-season drought. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 114, n. D9, p. 2008JD011112, 2009. <https://doi.org/10.1029/2008JD011112>
- BONILLA-BEDOYA, S.; LÓPEZ-ULLOA, M.; VANWALLEGHEM, T.; HERRERA-MACHUCA, M. Á. Effects of Land Use Change on Soil Quality Indicators in Forest Landscapes of the Western Amazon. **Soil Science**, v. 182, n. 4, p. 128–136, 2017. <https://doi.org/10.1097/ss.0000000000000203>
- BOTTA, A.; FOLEY, J. A. Effects of climate variability and disturbances on the Amazonian terrestrial ecosystems dynamics. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 16, n. 4, 2002. <https://doi.org/10.1029/2000GB001338>
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração Florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S. Interpretação dos resultados da análise do solo In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIEGAS, I. J. M. (Ed.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 145p.

CAMILO-COTRIM, C. F.; SÁ, A. S. F.; ALVES, D. P. S.; GONÇALVES, E. V.; TEIXEIRA, F. B.; SILVA, J. A. P.; BRANCO, M. H. S.; ALMEIDA, L. M.; CARAMORI, S. S. Qualidade do solo: relevância e uso de indicadores para o monitoramento. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 13, n. 2, p. 46-65, 2022.

COMTE, I.; DAVIDSON, R.; LUCOTTE, M.; DE CARVALHO, C. J. R.; DE ASSIS OLIVEIRA, F.; DA SILVA, B. P.; ROUSSEAU, G. X. Physicochemical properties of soils in the Brazilian Amazon following fire-free land preparation and slash-and-burn practices. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 156, p. 108-15, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.05.004>

COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y.; BORGES, M. D. S.; FERREIRA JÚNIOR, C. R. P.; BEZERRA, P. É. L.; COSTA, M. L. D.; FERNANDES, J. M. G. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, v. 4, n. 2, p. 2-44, 1996. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v4i2.199>

DANIEL, J. A.; POTTER, K.; ALTOM, W.; ALJOE, H.; STEVENS, R. Longterm grazing density impacts on soil compaction. **Transactions of the ASAE**, v. 45, n. 6, 2002. <http://doi.org/10.13031/2013.11442>

DAVIDSON, E. A.; DE ARAÚJO, A. C.; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I. F.; C. BUSTAMANTE, M. M.; COE, M. T.; DEFRIES, R. S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, J. W.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA, C. M.; WOFSY, S. C. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, n. 7381, p. 321-328, 2012. <http://doi.org/10.1038/nature10717>

DOMINATI, E.; PATTERSON, M.; MACKAY, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecological Economics**, v. 69, n. 9, p. 1858-1868, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>

DROBNIK, T.; GREINER, L.; KELLER, A.; GRÊT-REGAMEY, A. Soil quality indicators – From soil functions to ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 94, p. 151-169, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.052>

ELMORE, A. J.; ASNER, G. P. Effects of grazing intensity on soil carbon stocks following deforestation of a Hawaiian dry tropical forest. **Global Change Biology**, v. 12, n. 9, p. 1761-72, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01198.x>

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Copernicus Global Digital Elevation Model**. Distribuído por OpenTopography. Disponível em: <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>. Acessado em 19 de agosto de 2024.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION; ITPS. **Status of the World's Soil Resources** (SWSR) – Main Report. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, 2015. 607p.

FERREIRA, A. D.; COELHO, C.; SILVA, J. S.; ESTEVES, T. Efeitos do fogo no solo e no regime hidrológico In: MOREIRA, F.; CATRY, F. X.; SILVA, J. S.; REGO, F. (ed.). **Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas**. Lisboa: ISAPress, 2010. P. 21-48.

FIEL, L. G.; MARQUES, J. D.; DIAS, V. H. R.; SAMPAIO, I. M. G.; RODRIGUES, S. J. S. C.; MELO, V. S.; RUIVO, M. L. P.; SILVA, M. L. J. Atributos químicos do solo sob diferentes usos e coberturas no contexto da agricultura familiar. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.4, p.24-35, 2022. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.004.0003>

FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; TOSTES. Propriedades físicas e matéria orgânica de um latossolo vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal**, v. 24, n.3, p.24-30, 2008.

HOBBS, R. J.; HALLETT, L. M.; EHRLICH, P. R.; MOONEY, H. A. Intervention Ecology: Applying Ecological Science in the Twenty-first Century. **BioScience**, v. 61, n. 6, p. 442–450, 2011. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.6.6>

HOLL, K. D. **Primer of ecological restoration**. Washington: Island Press, 2020. 243 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha Municipal: Unidades da Federação 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em 14 de agosto de 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (org.). **Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 1. ed.: Cambridge University Press, 2023. <https://doi.org/10.1017/9781009157926>

JACQUES, A. V. A. A queima das pastagens naturais: efeitos sobre o solo e a vegetação. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 177–181, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000100030>

LEITE, L. F. C. **Matéria Orgânica do Solo** – Teresina, PI : Embrapa, 2004.

MONTANARELLA, L.; PENNOCK, D. J.; MCKENZIE, N.; BADRAOUI, M.; CHUDE, V.; BAPTISTA, I.; MAMO, T.; YEMEFACK, M.; SINGH AULAKH, M.; YAGI, K.; YOUNG HONG, S.; VIJARNORN, P.; ZHANG, G.-L.; ARROUAYS, D.; BLACK, H.; KRASILNIKOV, P.; SOBOCKÁ, J.; ALEGRE, J.; HENRIQUEZ, C. R.; DE LOURDES MENDONÇA-SANTOS, M.; TABOADA, M.; ESPINOSA-VICTORIA, D.; ALSHANKITI, A.; ALAVIPANAH, S. K.; ELSHEIKH, E. A. E. M.; HEMPEL, J.; CAMPS ARBESTAIN, M.; NACHTERGAELE, F.; VARGAS, R. World's soils are under threat. **SOIL**, v. 2, n. 1, p. 79–82, 2016. <https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>

MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, v. 70, n. 1, p. 63–81, 1996. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(95\)00072-0](https://doi.org/10.1016/0016-7061(95)00072-0)

MUÑOZ-ROJAS, M. Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 5, p. 47–52, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007>

MUÑOZ-ROJAS, M.; ERICKSON, T. E.; DIXON, K. W.; MERRITT, D. J. Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degraded semiarid ecosystems. **Restoration Ecology**, v. 24, n. S2, 2016. <https://doi.org/10.1111/rec.12368>

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica solúvel em água quente na estabilidade de agregados de um latossolo argiloso. **Ciência Rural**, v. 36, n. 5, p. 1410-15, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000500010>

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; ARTAXO, P. Understanding the climate of Amazonia: Progress from LBA. *Em*: KELLER, Michael; BUSTAMANTE, Mercedes; GASH, John; SILVA DIAS, Pedro (org.). **Geophysical Monograph Series**. Washington, D. C.: American Geophysical Union, 2009. v. 186, p. 145-47. <https://doi.wiley.com/10.1029/2009GM000903>

[PAULA, E. M. S.; GORAYEB, A.; SILVA, E. V.; MEIRELES, A. J. A. Compartimentação Geocológica da Sub-Bacia do Baixo Rio Xingu - Amazônia Centro-Oriental, Brasil. *Revista Equador*, Teresina, v. 5, n. 4, p. 128-50, 2016. <https://doi.org/10.26694/equador.v5i4.5192>](#)

R Development Core Team. **R: Uma linguagem e ambiente para computação estatística**; Fundação R para computação estatística: Viena, Austria, 202.; <http://www.R-project.org>.

RAIESI, F.; SALEK-GILANI, S. Development of a soil quality index for characterizing effects of land-use changes on degradation and ecological restoration of rangeland soils in a semi-arid ecosystem. **Land Degradation & Development**, v. 31, n. 12, p. 1533–1544, 2020. <https://doi.org/10.1002/ldr.3553>

REDIN, M.; SANTOS, G. D. F. D.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. D. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 381–392, 2011. <https://doi.org/10.5902/198050983243>

ROSENFELD, M. F.; MÜLLER, S. C. Ecologia funcional como ferramenta para planejar e monitorar a restauração ecológica de ecossistemas. **Oecologia Australis**, v. 24, n. 03, p. 550–565, 2020. <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2403.02>

SALOMÃO, R. P.; VIEIRA, I. C. G.; SURMITSU, C.; ROSA, N. A.; AMARAL, D. D.; MENEZES, M. P. M. As florestas de Belo Monte na grande curva do rio Xingu, Amazônia Oriental. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, Belém, v. 2, n. 3, p. 57-153, 2007. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v2i3.696>

SILVA, P. R. R.; SANTOS, F. A. S.; ROMÃO, Y. S. F.; ISQUIERDO, E. P. Avaliação de velocidade de infiltração do solo em diferentes sistemas de produção. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 5, n. 3, p. 172-183, 2022. <http://doi.org/10.32406/v5n3/2022/172-183/agrariacad>

SILVA-DIAS, M. A. F. D.; COHEN, J. C. P.; GANDÚ, A. W. Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 215–222, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000200011>

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M.; WECKNER, F. C.; BRITO FILHO, E.; MANTOVANELI, B. C.; LEITE, A. F. L. Variabilidade espacial da estabilidade dos agregados e matéria orgânica do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 2, p. 125-133, 2018. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2018v12n2.34416>

SOUZA, Z. M. D.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 5, p. 491–99, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000500012>

SOUZA-BRAZ, A. M.; FERNANDES, A. R.; ALLEONI, L. R. F. SOIL ATTRIBUTES AFTER THE CONVERSION FROM FOREST TO PASTURE IN AMAZON. **Land Degradation & Development**, v. 24, n. 1, p. 33–38, 2013. <https://doi.org/10.1002/ldr.1100>

TAKAHASHI, R. A.; CAMARGOS, A. C. P.; BATISTA, S. P.; SANTOS, P. B.; LIMACHE, D. E. S.; CASTELO, L. R.; VIEIRA, L. T. A. Efeito das queimadas nos parâmetros abióticos do solo em áreas de Cerrado no Parque Estadual de Juquery, Franco da Rocha, SP, **Vita scientia**, v. 1, n. 1, p. 17–20, 2018. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4726272>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIREIXA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo** / – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.

VIANA, R. M.; FERRAZ, J. B. S.; NEVES, A. F.; VIEIRA, G.; PEREIRA, B. F. F. Soil quality indicators for different restoration stages on Amazon rainforest. **Soil and Tillage Research**, v. 140, p. 1–7, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.01.005>

VIEIRA, I. C. G.; SILVA, J. M. C. D.; TOLEDO, P. M. D. Estratégias para evitar a perda de biodiversidade na Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 153–164, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000200009>

VOGEL, H.-J.; BARTKE, S.; DAEDLOW, K.; HELMING, K.; KÖGEL-KNABNER, I.; LANG, B.; RABOT, E.; RUSSELL, D.; STÖSSEL, B.; WELLER, U.; WIESMEIER, M.; WOLLSCHLÄGER, U. A systemic approach for modeling soil functions. **SOIL**, v. 4, n. 1, p. 83–92, 2018. <https://doi.org/10.5194/soil-4-83-2018>

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, P. 256-265, 2012.

ZAHEDIFAR, M. Assessing alteration of soil quality, degradation, and resistance indices under different land uses through network and factor analysis. *Catena*, v. 222, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106807>

ZUANON, J.; SAWAKUCHI, A.; CAMARGO, M.; WAHNFRIED, I.; SOUSA, L.; AKAMA, A.; MURIEL-CUNHA, J.; RIBAS, C.; D'HORTA, F.; PEREIRA, T.; LOPES, P.; MANTOVANELLI, T.; LIMA, T. S.; GARZÓN, B.; CARNEIRO, C.; REIS, C. P.; ROCHA, G.; SANTOS, A. L.; DE PAULA, E. M.; PENNINO, M.; PEZZUTI, J. Condições para a manutenção da dinâmica sazonal de inundação, a conservação do ecossistema aquático e manutenção dos modos de vida dos povos da volta grande do Xingu. **Papers do NAEA**, v. 1, n. 2, 2019. <https://doi.org/10.18542/papersnaea.v28i2.8106>

Este capítulo está formatado nas normas da revista Forest Ecology and Management, disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/forest-ecology-and-management/publish/guide-for-authors>.

Artigo 2

CAPÍTULO II - SISTEMA DE PLANTIO ADENSADO DE ESPÉCIES FLORESTAIS EM GRUPOS ESPAÇADOS PARA RECUPERAR ÁREAS DEGRADADAS POR PASTAGENS NA REGIÃO DA VOLTA GRANDE DO XINGU-PA

PLANTIO ADENSADO DE ESPÉCIES FLORESTAIS EM GRUPOS ESPAÇADOS PARA RECUPERAR ÁREAS DEGRADADAS NA VOLTA GRANDE DO XINGU, PARÁ

RESUMO: A exploração de novas estratégias de plantio voltadas para a restauração florestal é essencial para possibilitar a recuperação de áreas sujeitas a pressões antrópicas com técnicas que norteiem a aceleração da sucessão ecológica. Neste sentido o objetivo deste trabalho avaliar o crescimento inicial e mortalidade de espécies florestais de diferentes grupos ecológicos, além de verificar o desenvolvimento de mudas enxertadas e não enxertadas da espécie clímax *C. Sanguinolentum*. A pesquisa foi conduzida no Centro de Estudos Ambientais (CEA) localizada na região da Volta grande do Xingu, Pará. A metodologia envolveu o plantio adensado em grupos espaçados com 30 grupos distribuídos aleatoriamente em três faixas de altitude (120, 130 e 140 m). Cada grupo consistiu em 13 mudas de espécies florestais de diferentes estágios sucessionais, com a espécie clímax *C. Sanguinolentum* no centro. Em cada faixa de relevo foram implantados cinco indivíduos de *C. Sanguinolentum* enxertadas e cinco não enxertadas no centro dos grupos. As mudas foram monitoradas por seis meses e os dados analisados por análise fatorial 3x2 ao nível de 5% de probabilidade de erro. No plantio adensado, a taxa de mortalidade observada foi de 7,69%, com destaque para as espécies *S. mombin* e *G. americana*, que não registraram mortes. *S. mombin* teve o maior crescimento em altura (75,87%) e diâmetro (168,25%). A espécie *C. sanguinolentum* apresentou melhor desempenho em diâmetro nas mudas não enxertadas, e a mortalidade ocorreu somente nas enxertadas. O crescimento das mudas foi influenciado pelo relevo, com melhor desenvolvimento em diâmetro e altura na faixa de 120m. No geral, o plantio adensado mostrou-se eficaz na restauração ecológica, promovendo a funcionalidade do ecossistema e acelerando a sucessão ecológica em áreas degradadas.

Palavras-chave: Amazônia; Restauração Florestal; Sucessão Ecológica.

DENSE PLANTING OF FOREST SPECIES IN SPACED GROUPS TO RECOVER DEGRADED AREAS IN VOLTA GRANDE DO XINGU, PARÁ

ABSTRACT: The exploration of new planting strategies aimed at forest restoration is essential to enable the recovery of areas subjected to anthropogenic pressures using techniques that guide the acceleration of ecological succession. In this sense, the objective of this work is to evaluate the initial growth and mortality of forest species from different ecological groups, in addition to verifying the development of grafted and non-grafted seedlings of the climax species *C. sanguinolentum*. The research was conducted at the Environmental Studies Center (CEA) located in the Volta Grande do Xingu region, Pará. The methodology involved dense planting in spaced groups with 30 groups randomly distributed across three altitude ranges (120, 130, and 140 m). Each group consisted of 13 seedlings of forest species from different successional stages, with the climax species *C. sanguinolentum* in the center. In each topographic range, five grafted and five non-grafted individuals of *C. sanguinolentum* were planted in the center of the groups. The seedlings were monitored for six months, and the data were analyzed using 3x2 factorial analysis at a 5% error probability level. In the dense planting, the observed mortality rate was 7.69%, with *S. mombin* and *G. americana* standing out for recording no deaths. *S. mombin* had the highest growth in height (75.87%) and diameter (168.25%). The species *C. sanguinolentum* showed better diameter performance in the non-grafted seedlings, and mortality occurred only in the grafted ones. Seedling growth was influenced by topography, with better diameter and height development in the 120m range. Overall, the dense planting proved to be effective in ecological restoration, promoting ecosystem functionality and accelerating ecological succession in degraded areas.

Keywords: Amazon; Forest Restoration; Ecological Succession.

1. Introdução

A Amazônia é um patrimônio natural que enfrenta sérias ameaças a sua biodiversidade, muito por conta da pecuária e agricultura extensiva, que através do manejo inadequado alteram diretamente a qualidade física e química do solo e os padrões climáticos, como temperatura e precipitação, o que intensifica a vulnerabilidade dos ecossistemas levando a sua degradação (Kohler *et al.*, 2021; Reisch 2021; Maio *et al.*, 2024). Por conta do uso extensivo do solo as áreas degradadas, por sua vez, perderam ao longo do tempo a capacidade de se regenerarem naturalmente (Rodrigues *et al.*, 1997), sendo que um dos maiores desafios da recuperação dessas áreas é a renovação dos ecossistemas próximos aos processos originais (Nery *et al.*, 2013; Rodrigues *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2015).

Diante desse cenário, a restauração florestal surge como uma estratégia crucial para promover a conservação das espécies e mitigar os impactos no solo e nas mudanças climáticas, contribuindo para a sustentabilidade dos ecossistemas (Holl, 2020; Rosenfield e Müller, 2020). A restauração florestal é vital para melhorar a qualidade do solo, especialmente na recuperação de suas propriedades físicas e químicas, mantendo a qualidade ambiental, assegurando a produtividade agrícola e florestal, protegendo a biodiversidade e garantindo importantes serviços ecossistêmicos (Allek *et al.*, 2023).

Uma das estratégias para a restauração florestal é o plantio adensado em grupos espaçados, que envolve o plantio denso de mudas, visando estabelecer rapidamente uma cobertura vegetal e restaurar processos ecológicos essenciais como a ciclagem de água e nutrientes, restabelecimento da riqueza de espécies e dispersão de sementes (Pereira *et al.*, 2020). O modelo introduzido por Anderson (1953) fundamenta-se em uma abordagem que estimula o crescimento vertical e ramificado da espécie central (clímax). Esse modelo de plantio fornece ao solo matéria orgânica, nutrientes, impulsionando assim o início do processo de restauração florestal de uma determinada área (Reis *et al.* (2003).

Outras técnicas que podem auxiliar na restauração florestal, acelerando o processo de sucessão ecológica, é utilização de técnicas que propagam a vegetação, entre elas a enxertia. A utilização dessa técnica em áreas degradadas pode contribuir significativamente para o processo de restauração florestal pois, através dela, é possível acelerar o desenvolvimento de e produtividade das espécies (Petry *et al.*, 2015; Mendes *et al.*, 2020). Nesse sentido, a reintrodução de espécies nativas aliada ao uso da enxertia, desempenha um papel crucial ao enriquecer áreas degradadas e fortalecer sua biodiversidade (Cordeiro *et al.*, 2021).

Entretanto, diversos fatores podem afetar projetos ligados a restauração florestal de áreas degradadas, entre eles podemos citar o clima, condições ambientais, polinização, dispersão de sementes e relevo.

O relevo é um dos fatores que interferem na produtividade e qualidade das espécies florestais. A variação de altitude pode dar origem a distintas espécies, indicando que algumas se adaptam melhor a certos tipos de relevo, enquanto outras podem não prosperar da mesma forma. As áreas a jusante do interflúvio recebem contribuições coluvionares, ou seja, detritos e até mesmo matéria orgânica, que podem favorecê-los com mais umidade e nutrientes para as plantas (Ramalho e Guerra, 2014; Lima *et al.*, 2021).

Todas essas técnicas aliadas as condições do relevo têm como propósito acelerar a restauração da diversidade florística em paisagens antropizadas (Sousa *et al.*, 2021) e promover o restabelecimento dos processos ecológicos responsáveis pela gradual reconstrução ecossistêmica (Martins, 2021). Portanto este estudo visa implantar e avaliar o desenvolvimento inicial (altura e diâmetro) e a mortalidade de espécies florestais além de avaliar o desenvolvimento das mudas enxertadas e não enxertadas da espécie clímax *Chrysophyllum sanguinolentum* (Pierre) Baehni. em plantio adensado em grupos espaçados em diferentes posições do relevo, na região da Volta Grande do Xingu, município de Vitória do Xingu, Pará.

2. Material e métodos

2.1. Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida no Centro de Estudos Ambientais (CEA) pertencente a Norte Energia S.A., situado no município de Vitória do Xingu, Pará, nas coordenadas 3°22'25"S 51°56'23"W. A vegetação é classificada como Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012) e o relevo local é ondulado com declividade variando de 8 a 20% (Santos *et al.*, 2018). O clima é quente e úmido, apresentando uma precipitação anual que varia de 1400 a 2100 mm, e a temperatura média oscila entre 26 e 27,3 °C (Alvares *et al.*, 2013).

As gramíneas presentes na área são *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster e *Panicum maximum* Jacq., oriundas de antigas pastagens, que impedem e/ou atrasam a

regeneração florestal. A área possui histórico de pastagem de 1995 a 2005, conforme imagens de satélite Landsat 5 TM, cena 225062.

2.2. Implantação das unidades amostrais

No presente estudo, aplicamos a técnica de plantio por adensamento em grupos espaçados, conforme metodologia proposta por Anderson (1953). O plantio foi executado no dia 19 de dezembro de 2023, para que o desenvolvimento inicial das mudas coincidissem com o período chuvoso, que, segundo dados extraídos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2024), ocorreu de janeiro a junho de 2024 na região. Foram implantados 30 grupos espaçados (**Fig. 1**) distribuídos em diferentes posições do relevo em três faixas de altitude (120, 130 e 140m) com 10 grupos em cada faixa.

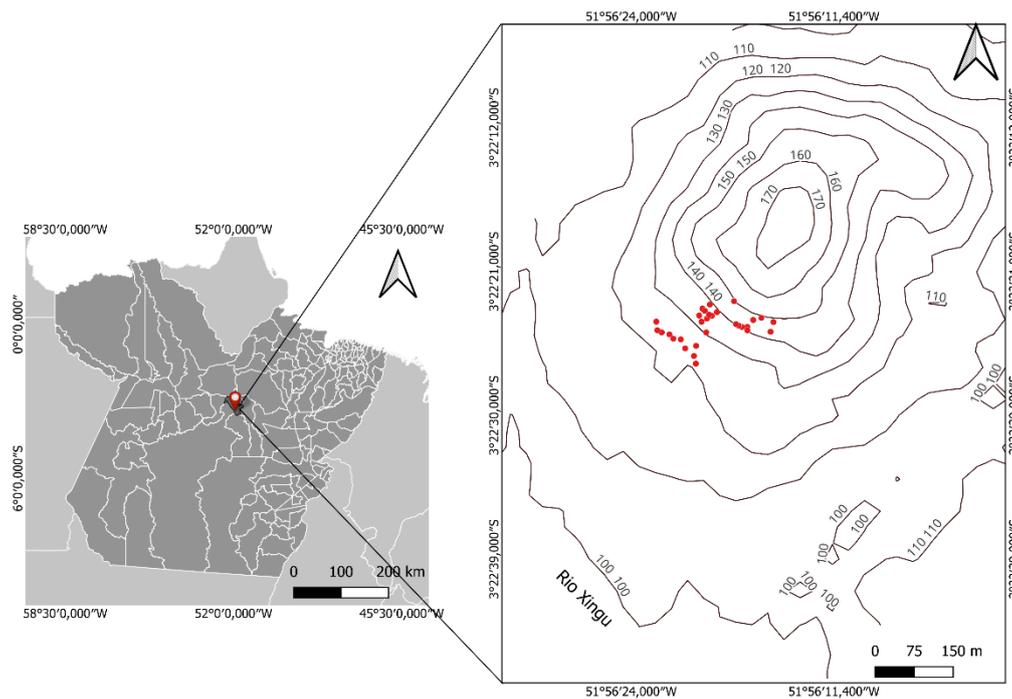


Fig. 1: Distribuição de plantio por adensamento em grupos espaçados em diferentes posições do relevo em três faixas de altitude na área (120, 130 e 140m)

O arranjo de plantio adensado escolhido foi composto por 13 indivíduos de espécies florestais de diferentes grupos ecológicos, tendo a espécie clímax *Chrysophyllum sanguinolentum* (Pierre) Baehni. como espécie central, quatro intermediárias (2 mudas de

Cenostigma tocantinum Ducke. e 2 mudas de *Spondias mombin* L. por grupo) e oito pioneiras (2 mudas de *Enterolobium schomburgkii* Benth. 2 mudas de *Bauhinia acreana* Harms., 2 mudas de *Inga edulis* Mart. e 2 mudas de *Genipa americana* L. por grupo) em torno para fornecer sombreamento para a espécie clímax, totalizando 390 mudas.

Em cada um dos relevos estudados, 5 grupos continham *C. sanguinolentum* enxertada e 5 grupos continham *C. sanguinolentum* não enxertada, ou seja, dois tratamentos. Nas mudas enxertadas, foram aplicadas o hormônio regulador de crescimento vegetal Paclobutrazol (PBZ), que tem o objetivo de induzir a floração, frutificação e maturação (Almeida *et al.*, 2024).

As mudas foram obtidas através de doação da empresa Norte Energia, dos viveiros do CEA, que realizam atividade de produção de mudas da região com idade de 6 meses, e levadas a campo com idade de 12 meses. Posteriormente, essas mudas foram acompanhadas em viveiro na Universidade Federal do Pará (UFPA), onde realizamos a troca para sacos plásticos maiores (25 cm x 35 cm) para incentivar o crescimento das mudas e a troca de substrato rico em nutrientes padronizado composto por: 96 kg de fibra de coco; 12 kg de solo de barranco; 1,5 kg de yoorin fertilizante fosfatado; 1 kg de pó de osso; 2 kg de NPK (4-14-8); 1,5 kg de torta de mamona; 60 kg de torta e cacau; 1,5 kg do fertilizante osmocote (14-14-14); 3 kg de calcário; 15 kg de serragem; e 90 L de água. Subsequentemente, as mudas foram aplicadas em campo.

Para composição dos grupos adensados, selecionamos espécies de diferentes estágios sucessionais, descritas por Rodrigues (1995) como: clímax, intermediárias e pioneiras, onde cada grupo carrega uma função na sucessão ecológica, iniciando com as espécies pioneiras e culminando com as clímax.

A área de estudo apresenta baixa diversidade de espécies que possam contribuir com sua regeneração, por este motivo, foram selecionadas as seguintes espécies para o plantio adensado (**Tabela 1**).

Tabela 1. Espécies plantadas no plantio adensado em grupos espaçados, nome vernacular, família pertencente e grupos ecológicos, onde: CL: clímax, IN: intermediária, PI: pioneira.

Nome científico	Nome Vernacular	Família	Grupo Ecológico
<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> (Pierre) Baehni.	Golosa	Sapotaceae	CL
<i>Cenostigma tocaninum</i> Ducke.	Macharimbé	Fabaceae	IN
<i>Spondias mombin</i> L.	Cajá	Anacardiaceae	IN
<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	Orelha de Macaco	Fabaceae	PI
<i>Bauhinia acreana</i> Harms.	Pata de Vaca	Fabaceae	PI
<i>Inga edulis</i> Mart.	Ingá	Fabaceae	PI
<i>Genipa americana</i> L.	Jenipapo	Rubiaceae	PI

A espécie *C. sanguinolentum* teve seu plantio realizado no centro do plantio adensado, devido a sua necessidade de sombreamento principalmente em sua fase inicial de desenvolvimento (Santos Jr *et al.*, 2006). O espaçamento utilizado entre a espécie clímax central (*C. sanguinolentum*) e as espécies intermediárias (*C. tocaninum* e *S. mombin*) foi de 1,0 m de distância. Já entre as intermediárias e pioneiras (*E. schomburgkii*, *B. acreana*, *I. edulis* e *G. americana*), utilizou-se o espaçamento de 0,75 m, (Fig. 2).

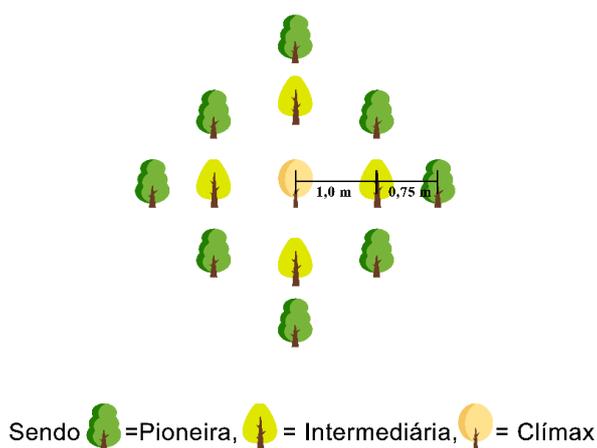


Fig. 2. Esquema de plantio de mudas em plantio adensado de 13 indivíduos. A espécie clímax corresponde a *C. sanguinolentum*, as intermediárias *C. tocaninum* e *S. mombin* e as pioneiras *E. schomburgkii*, *B. acreana*, *I. edulis* e *G. americana*

Realizamos mensalmente o monitoramento dos indivíduos entre os meses de dezembro de 2023 a junho de 2024, avaliamos as seguintes variáveis: altura da parte aérea das mudas (cm), do colo até a gema apical com o auxílio de fita métrica graduada e diâmetro do coleto (mm) com auxílio de paquímetro.

2.3. Tratos culturais

Durante os seis meses de acompanhamento, realizamos três limpezas de maneira manual com o uso de enxadões dentro dos grupos, para impedir que gramíneas e cipós pudessem suprimir as mudas. O material orgânico (palhada) oriundo das limpezas realizadas na área foram mantidos no plantio adensado para serem utilizados como “*mulching orgânico*” que, de acordo com Silva *et al.* (2018) é a utilização de matéria morta para reduzir a temperatura e a incidência de ervas daninhas, mantendo a umidade e reduzindo a erosão do solo. Silva *et al.* (2021) afirmam que essa técnica contribui no desenvolvimento das plantas e na manutenção da umidade do solo pois o resultado de seu uso se mostra satisfatório quando comparado a produtividade de áreas sem nenhuma cobertura.

2.4. Análise dos dados

Os dados das espécies que compuseram os 30 núcleos foram então transformados pelo método Box-Cox para análise de variância (ANOVA), utilizando as médias de altura e diâmetro do coleto produzidas pelas diferentes altitudes e pelos núcleos com indivíduos da espécie *C. sanguinolentum* enxertados e não enxertados. Esta etapa foi necessária para identificar o valor lambda (λ) que maximizasse o estimador de máxima verossimilhança e minimizasse o resíduo do modelo fatorial a ser utilizado na ANOVA. Esta transformação da variável resposta (Altura e diâmetro do coleto) teve como objetivo atender aos pressupostos de homocedasticidade e normalidade dos resíduos (AZEVEDO *et al.*, 2015). As médias foram comparadas utilizando o teste de comparações múltiplas de Tukey. Todas as análises foram realizadas com 95% de significância e realizadas na linguagem de programação R 4.4.1 (R Foundation for Statistical Computing, 2024).

3. Resultados

Seis meses após a implantação do experimento, a taxa de mortalidade das 390 mudas implantadas foi de 7,69%. A espécie, *B. acreana* apresentou a maior taxa de mortalidade com 16,7 % (**Tabela 2**), onde 50% dessas mudas morreram no primeiro mês de plantio. Em contrapartida, as espécies *S. mombin* e *G. americana* apresentaram 0% de taxa de mortalidade durante o acompanhamento inicial. Para as demais espécies, as taxas de mortalidade variaram de 3,33% a 15%. Considerando os grupos ecológicos, a espécie clímax apresentou mortalidade de 3,3%, intermediárias 5% e pioneiras 11,25%.

Com relação ao crescimento, os dados indicam que *S. mombin* apresentou a maior taxa de crescimento em altura (75,87%) e diâmetro (168,25%), enquanto *C. sanguinolentum* obteve as menores taxas em altura (17%) e diâmetro (34,43%). Já para as demais espécies, o crescimento médio variou de 28,62% a 56,64% em altura e 43,88% a 93,22% em diâmetro.

Tabela 2. Porcentagem de mortalidade e crescimento médio de altura e diâmetro comparando a medição 0 com a medição 6 para cada espécie.

Nome científico	Mortalidade (%)	Crescimento médio altura (%)	Crescimento médio diâmetro (%)
<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> (Pierre) Baehni.	3,33	17,00	34,43
<i>Cenostigma tocantinum</i> Ducke.	10,00	37,10	93,22
<i>Spondias mombin</i> L.	0	75,87	168,35
<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	13,33	41,10	68,94
<i>Bauhinia acreana</i> Harms.	16,67	41,48	76,37
<i>Inga edulis</i> Mart.	15,00	56,64	76,05
<i>Genipa americana</i> L.	0	28,62	43,88

A taxa de crescimento em altura medidas ao longo dos seis meses das espécies estudadas revelou um crescimento em altura de 55,21% no relevo 1 (120 m), 41,26% no relevo 2 (130 m) e 38,44% no relevo 3 (140 m) respectivamente (**Fig. 3a**), indicando igualdade entre os relevos quanto à altura (valor de $F=3.2635$ e $P=0.03931$). Por outro lado, o diâmetro apresentou maior taxa de crescimento no relevo 1 com 109,30% (**Fig. 3b**), sendo que nos demais relevos a taxa de crescimento em diâmetro foram iguais, com 68,66% no relevo 2 e 73,14% no relevo 3 ($F=12.638$ e $P=0.048230$).

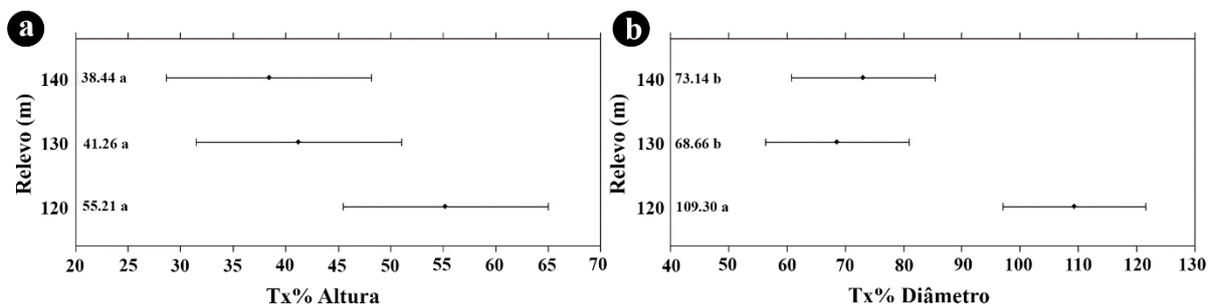


Fig. 3. Taxas de crescimento em altura (a) e diâmetro (b) e seus respectivos intervalos de confiança para os diferentes relevos aplicados ao plantio adensado. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As taxas médias de crescimento em altura para espécie *C. sanguinolentum* foram iguais entre os relevos (**Fig. 4a**), sendo de 17,06% no relevo 1, 18,64% no relevo 2 e 15,30% no relevo 3 respectivamente ($F=0.0842$ e $P=0.9195$). A taxa média de crescimento em diâmetro (**Fig. 4b**) foi de 38,22% no relevo 1, 34,31% no relevo 2 e 30,74% no relevo 3 respectivamente, sendo que as taxas foram iguais para ambos os parâmetros ($F=0.2144$ e $P=0.8084$). Comparando os indivíduos de *C. sanguinolentum* enxertados e não enxertados, a taxa de crescimento em altura das enxertadas foi de 16,68% e 17,32% para as não enxertadas (**Fig. 4c**), sem diferença entre os tratamentos ($F=0.0095$ e $P=0.9232$). Entretanto, foi observada diferença significativa no crescimento da taxa do diâmetro (**Fig. 4d**), com taxas de 22,35% para as mudas enxertadas e 46,50% para as não enxertadas ($F=9.0457$ e $P=0.005513$).

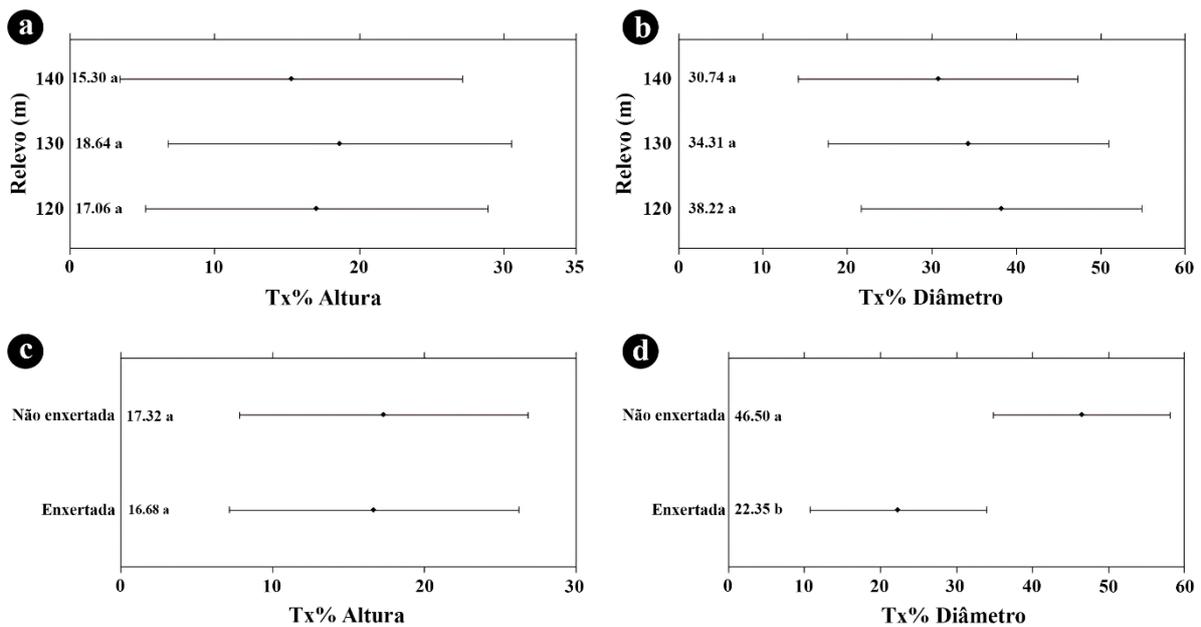


Fig. 4. Taxas de crescimento em altura e diâmetro e seus respectivos intervalos de confiança para os diferentes relevos aplicados ao plantio adensado da espécie *C. Sanguinolentum* (a,b) e para mudas de *C. Sanguinolentum* enxertadas e não enxertadas (c,d). Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A espécie *C. Tocantinum* registrou a maior taxa de crescimento no relevo 1, com médias de 65,86% em altura (**Fig. 5a**) e 144,70% em diâmetro (**Fig. 5b**) ($F=5.0152$ e $P=0.009855$). Esses valores foram diferentes aos observados nos níveis de relevo mais altos (120 e 130m) para ambos os parâmetros. No relevo 2, as taxas de crescimento foram de 19,47% em altura e 57,25% em diâmetro, enquanto no relevo 3, as médias foram de 26,96% em altura e 77,71% em diâmetro, sendo, portanto, em ambos os relevos significativamente iguais ($F=12.409$ e $P=0.00003359$).

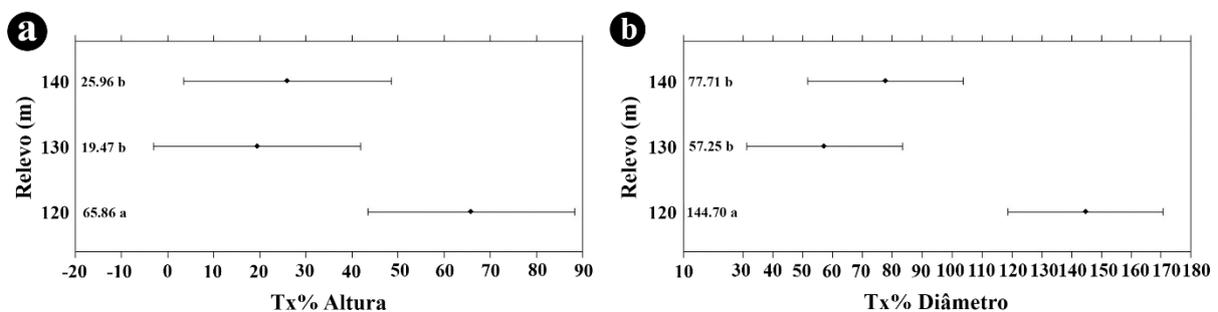


Fig. 5. Taxas de crescimento em altura (a) e diâmetro (b) e seus respectivos intervalos de confiança para os diferentes relevos aplicados ao plantio adensado da espécie *C. Tocantinum*. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A espécie *S. mombin* (Figura 6) registrou a maior taxa de crescimento em altura (**Fig. 6a**), com uma média de 89,30% no relevo 1 ($F=1.0527$ e $P=0.3557$), entretanto, não há diferença significativa em comparação com o relevo 2, que apresentou uma taxa de 66,64%, e o relevo 3, com 72,28%. Em contraste, o diâmetro mostrou a maior taxa de crescimento no relevo 1 (**Fig. 6b**), com uma média de 220,08%, sendo diferente e superior aos outros dois relevos ($F=6.1406$ e $P=0.003845$). No relevo 2, a taxa de crescimento em diâmetro foi de 137,56%, e no relevo 3, de 147,40%, sendo iguais em ambos os relevos.

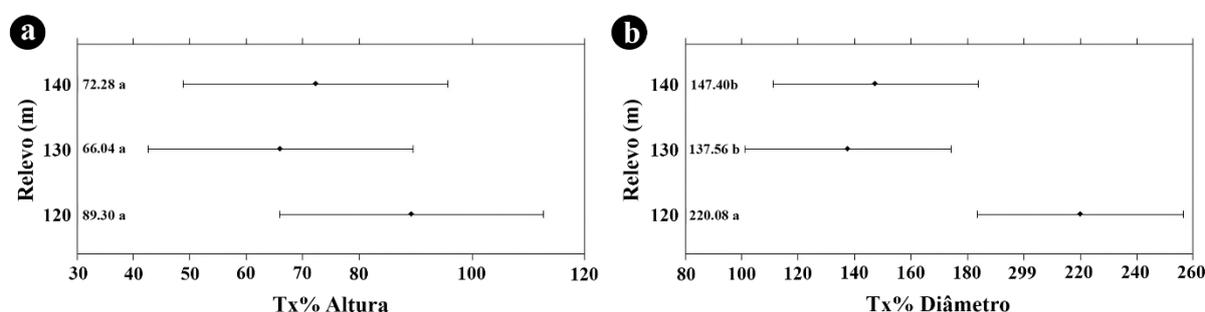


Fig. 6. Taxas de crescimento em altura (a) e diâmetro (b) e seus respectivos intervalos de confiança para os diferentes relevos aplicados ao plantio adensado da espécie *S. mombin*. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a espécie *E. schomburgkii*, foi observada uma tendência de crescimento em altura, porém, os resultados não apresentaram diferenças entre os relevos (**Fig. 7a**), com taxas de 26,06% no relevo 1, 41,70% no relevo 2 e 64,55% no relevo 3 ($F=1.846$ e $P=0.1672$). O mesmo ocorreu com a taxa de crescimento em diâmetro (**Fig. 7b**), que apresentou médias de 68,02% no relevo 1, 66,16% no relevo 2 e 72,64% no relevo 3 ($F=0.0633$ e $P=0.9388$).

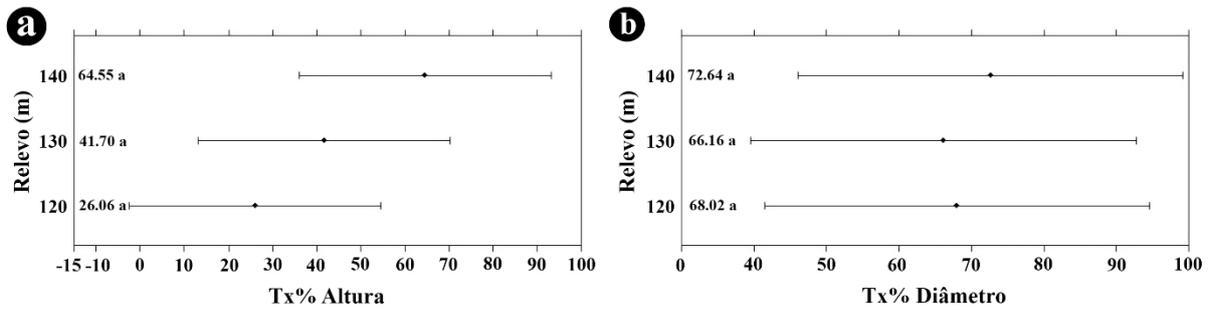


Fig. 7. Taxas de crescimento em altura (a) e diâmetro (b) e seus respectivos intervalos de confiança para os diferentes relevos aplicados ao plantio adensado da espécie *E. schomburgkii*. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A espécie *B. acreana* (Figura 8) apresentou a maior taxa de crescimento em altura no relevo 1, com 76,19% (**Fig. 8a**). Em seguida, o relevo 2 teve uma taxa de 43,80%, enquanto o relevo 3 apresentou apenas 4,46% ($F=5.916$ e $P=0.004628$). Embora os relevos 1 e 3 sejam diferentes, o relevo 2 foi igual a ambos. Em relação ao diâmetro (**Fig. 8b**), o relevo 1 novamente apresentou a maior taxa de crescimento, com 119,29%, sendo significativamente diferente dos relevos 2 e 3. Por outro lado, os relevos 2 e 3 não diferiram significativamente entre si, apresentando taxas de 60,21% e 49,53%, respectivamente ($F=6.3389$ e $P=0.003268$).

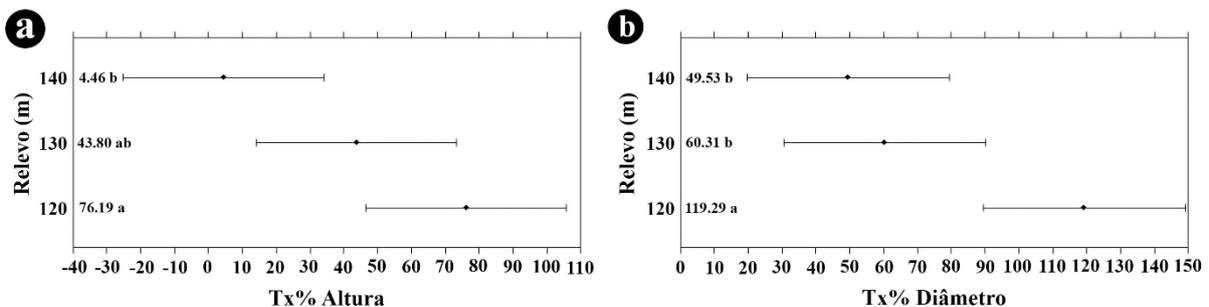


Fig. 8. Taxas de crescimento em altura (a) e diâmetro (b) e seus respectivos intervalos de confiança para os diferentes relevos aplicados ao plantio adensado da espécie *B. acreana*. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a espécie *I. edulis*, as taxas de crescimento em altura encontradas (**Fig. 9a**) foram de 58,77% no relevo 1, 61,63% no relevo 2 e 49,52% no relevo 3 ($F=0.2047$ e $P=0.8155$).

Quanto ao diâmetro (**Fig. 9b**), as taxas foram de 87,01% no relevo 1, 71,32% no relevo 2 e 69,81% no relevo 3 ($F=0.618$ e $P=0.5426$). No entanto, ambos os resultados não diferiram entre os diferentes relevos, tanto para a taxa de altura quanto para a de diâmetro.

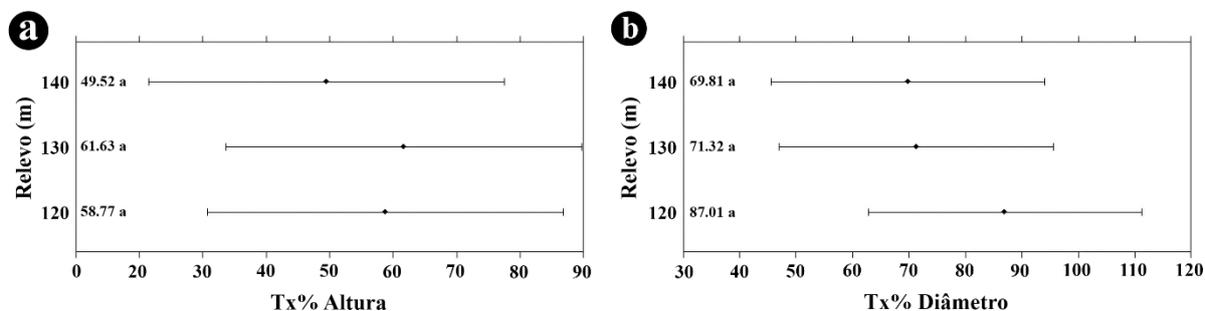


Fig. 9. Taxas de crescimento em altura (a) e diâmetro (b) e seus respectivos intervalos de confiança para os diferentes relevos aplicados ao plantio adensado da espécie *I. edulis*. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a espécie *G. americana*, embora haja variações nas taxas de crescimento entre as diferentes elevações, essas diferenças não são significativas. A taxa de crescimento em altura (**Fig. 10a**) foi de 34,17% no relevo 1, 25,40% no relevo 2 e 26,24% no relevo 3 ($F=0.6504$ e $P=0.5257$). Em relação ao diâmetro (**Fig. 10b**), as taxas foram de 52,22% no relevo 1, 39,01% no relevo 2 e 40,34% no relevo 3 ($F=1.6604$ e $P=0.1991$).

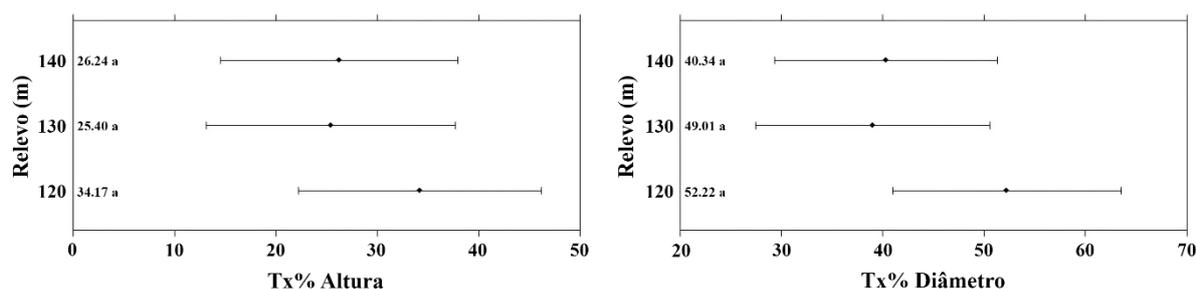


Fig. 10. Taxas de crescimento em altura (a) e diâmetro (b) e seus respectivos intervalos de confiança para os diferentes relevos aplicados ao plantio adensado da espécie *I. edulis*. Médias seguidas pela mesma letra não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4. Discussão

A taxa de mortalidade total encontrada de 7,69% e, de acordo com Almeida e Sanchez (2005), 10% é considerado um valor de referência em projetos de reflorestamento. Isso contrasta com o estudo realizado por Fonseca *et al.* (2016) que, em apenas 3 meses de acompanhamento de um plantio adensado em área de pastagem no município de Natividade-RJ, implantado durante período seco, apresentou uma taxa de mortalidade de 30%. A baixa mortalidade apresentada no nosso estudo pode estar associada ao período de sua implantação, sendo ele o período chuvoso, já que a redução da disponibilidade hídrica afeta diretamente o desempenho e adaptação das mudas em campo, podendo levar ao estresse hídrico (Cabral *et al.*, 2004; Herculano *et al.*, 2022; Nogueira *et al.*, 2001).

O bom planejamento dos grupos ecológicos realizado para o plantio adensado é evidenciado pelos resultados de mortalidade após seis meses de sua implantação, que foi baixo para o grupo das climácicas 3,3%, seguido das intermediárias 5% e pioneiras 11,25% respectivamente. Um estudo realizado no município de Canaã dos Carajás, PA, registrou taxas significativamente mais altas nos seis primeiros meses de acompanhamento inicial, sendo 18,4% para as espécies climácicas, 14,4% para as intermediárias e para as espécies pioneiras o valor de 11,2% se assemelhou ao nosso experimento (Sousa *et al.*, 2020). Esses resultados enfatizam a necessidade de um planejamento ecológico adequado para essas espécies em programas de reflorestamento, a fim de reduzir a mortalidade.

A menor taxa de crescimento em altura (17%) e diâmetro (34,43%) observada para espécie *C. sanguinolentum*, pode ser atribuída ao grupo ecológico das espécies climácicas, já que tais espécies apresentam um crescimento mais lento quando comparado aos demais grupos ecológicos (Resende *et al.*, 1999; Rodrigues *et al.*, 2020). Outro fator que pode ter influenciado diretamente o crescimento de *C. sanguinolentum* foi a aplicação do hormônio PBZ, que é conhecido por inibir a síntese de giberelina, resultando na redução do crescimento das plantas (D'Arêde *et al.*, 2017; França *et al.*, 2018; Téllez *et al.*, 2020). Além disso, o enxerto pode ter influenciado no crescimento, pois realocar nutrientes para um novo tecido que não é originalmente da planta demanda muita energia. Os indivíduos de *C. sanguinolentum* não enxertados apresentaram maior crescimento em diâmetro, sugerindo que essas mudas se adaptaram melhor às condições de campo do que as mudas enxertadas.

Apesar disso, *C. sanguinolentum* apresentou uma taxa de mortalidade muito baixa (3,3%), com a perda de apenas uma muda enxertada. Isso contrasta com os resultados

encontrados por Santos Jr (2003) e Santos Jr *et al.* (2006) em estudo realizado em Manaus, AM, onde a mortalidade de mudas dessa espécie foi de 12,5% proporcionalmente, atribuída à menor capacidade da espécie de se adaptar a condições de alta irradiação. Esses dados ressaltam a importância das espécies auxiliares (intermediárias e pioneiras) no desenvolvimento de espécies clímax fornecendo sombreamento, levando a melhoria da condição térmica da área e através do enriquecimento do solo com nutrientes com a decomposição de matéria orgânica depositada (Fonseca *et al.*, 2016).

Dentre as espécies estudadas, a baixa mortalidade (10%) e as boas taxas de crescimento em altura (37,10%) e diâmetro (93,22%) de *C. tocaninum* corroboram os achados de Fernandes *et al.* (2022) em um levantamento fitossociológico na Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, PA, onde os autores destacaram essa espécie como uma das mais densas, com alta importância ecológica e boas características para manejo. Segundo Carvalho (2006), *C. tocaninum* também apresenta facilidade de dispersão e menor esgotamento genético, características importantes na seleção de espécies para recuperação de áreas degradadas.

A *S. mombin* se destacou significativamente, não apresentando mortalidade e exibindo a maior taxa de crescimento em altura (75,87%) e diâmetro (168,25%) entre todas as espécies estudadas. Resultados diferentes foram observados no estudo de Silva *et al.* (2020) em Canaã dos Carajás, PA, onde a mortalidade foi de 16,12%, no entanto, o plantio foi realizado em linhas, sugerindo que o plantio adensado pode ter contribuído para a ausência de mortalidade nessa espécie. *S. mombin* é descrita por Mattietto *et al.* (2010) como uma espécie frutífera, cujo fruto possui elevado teor de tanino, destacando-se como antioxidante natural e adaptada a áreas antropizadas, demonstrando eficiência na restauração de áreas degradadas. A resistência dessa espécie também é explicada por Souza *et al.*, (2020) que a descrevem como caducifólia ou decídua e que acumulam, através de seus caules (esferoblastos), reservas de compostos orgânicos essenciais para a sobrevivência da planta.

A espécie *E. schomburgkii*, embora tenha apresentado uma mortalidade de 13,33% durante o crescimento inicial, essa taxa ainda é considerada baixa de acordo com Martinotto *et al.*, (2012) e Silva *et al.*, (2016), que apontam que a mortalidade pode variar de 0 a 20% de acordo com as condições climáticas, biomas e modelos de plantio. O potencial dessa espécie também foi confirmado em estudo realizado por Nogueira *et al.* (2015) em uma fazenda experimental no Amazonas, onde se observou 100% de sobrevivência no plantio da

espécie, além de estar entre as que apresentaram as maiores taxas de crescimento em diâmetro e altura.

Entre as espécies estudadas, *B. acreana* apresentou a maior taxa de mortalidade (16,7%), sendo que a maioria das mudas morreram no primeiro mês. Entretanto, esta espécie apresenta fragilidade em seus galhos e ramificações, sendo, portanto, mais propícios a danos, principalmente em sua mudança do viveiro para a área de plantio. Dalpizzol *et al.* (2021) esclarecem que os 30 primeiros dias seguintes ao plantio são críticos, pois é o período em que as mudas se adaptam às novas condições ambientais, o que justifica a maior mortalidade nesse período. A espécie *B. acreana* apresentou a maior taxa de crescimento em altura no relevo 1 sugerindo que essa elevação é mais favorável para o crescimento da espécie.

A espécie *I. edulis* apresentou alta mortalidade em áreas desafiadoras, como em um estudo realizado em uma área pedregosa e compactada em Jataí, GO, onde a taxa de mortalidade foi de mais de 80% (Vilela *et al.*, 2018), demonstrando dificuldade de desenvolvimento em áreas mineradas e, em experimento na região Sul de Minas gerais, a mortalidade encontrada foi de mais de 42% (Silva *et al.*, 2022). Na área de pastagem abandonada estudada, a mortalidade foi de apenas 15%, o que pode ser explicado pela variação de fatores apontada por Silva *et al.* (2016), como o histórico da área, grau de degradação, presença de espécies invasoras e pragas, além da manutenção da área.

A espécie *G. americana* não apresentou mortalidade durante o acompanhamento inicial, sendo, portanto, recomendada para projetos de recuperação de áreas degradadas. Esses resultados corroboram os achados de Sampaio e Pinto (2007), que também registraram a ausência de mortalidade. De acordo com Carvalho (2003), a *G. americana* é uma espécie pouco exigente às propriedades do solo e rústica e, por este motivo, apresenta ótimos resultados de taxa de crescimento e baixas taxas de mortalidade em estudos de restauração (Vilela *et al.*, 2018; Paiva *et al.*, 2019; Barbosa *et al.*, 2022).

A não mortalidade encontradas da espécie *G. americana* pode estar associadas com o seu grupo ecológico (Pioneira), se favorecendo da ampla condição de radiação proporcionada pela área de pastagem (Cordeiro *et al.*, 2017). Outro fator importante para o sucesso do estabelecimento das espécies é o uso de espécies nativas para recomposição de florestas degradadas, aumentando as chances de sucesso desses plantios sobre áreas degradadas (Vale *et al.*, 2014).

Salomão *et al.*, (2014) destacam que o aumento do diâmetro em espécies florestais varia conforme diversos fatores, incluindo a espécie, características do solo, condições climáticas, topografia, composição das espécies, exposição à luz, histórico de uso da terra, idade das árvores, qualidade do local e categorias de diâmetro das árvores. Essas variações foram observadas nas espécies estudadas, cada uma com comportamento distinto. Sendo assim, A taxa de crescimento das espécies nos 6 meses de acompanhamento foi significativa, tanto em diâmetro quanto em altura, especialmente considerando que são espécies florestais. A média da taxa de crescimento em todo o plantio foi maior nas áreas mais baixas do relevo, sugerindo que relevos mais baixos proporcionam condições mais favoráveis para o crescimento das espécies. Santos e Salcedo (2010) ressaltam que o relevo é um dos fatores que influenciam a produtividade e qualidade das espécies florestais, e a variação de altitude indica que algumas espécies podem se adaptar melhor a certos tipos de relevo, enquanto em outros podem não prosperar da mesma forma.

As espécies *C. tocantinum*, *S. mombin* e *B. acreana* se destacaram em relação à diferença entre os relevos. Avaliando a taxa de crescimento, essas espécies apresentaram maior crescimento em diâmetro e altura nos relevos mais baixos, sugerindo que o relevo mais baixo favorece o desenvolvimento dessas espécies. Balieiro *et al.* (2008) relatam que o relevo exerce considerável influência no crescimento das espécies devido as áreas mais baixas de o relevo receberem mais nutrientes das áreas mais altas, principalmente devido a lixiviação. Para as demais espécies, o relevo parece não ter impactado significativamente as de crescimento, indicando que essas espécies podem crescer de forma consistente independentemente da variação de elevação.

Segundo Rodrigues *et al.*, (2020), o plantio adensado em grupos espaçados permite a restauração das características físicas, químicas e biológicas do solo da área aplicada fazendo com que, quando bem-sucedida, a vegetação produza serrapilheira e contribuindo no fornecimento de matéria orgânica da área. Já para Bieras *et al.*, (2015), esta técnica tem como característica sua aplicação não em uma área total, mas sim em grupos, para que os espaços vazios possam se expressar. Outro benefício para o plantio adensado é destacado por Dalpizzol *et al.*, (2021) como de baixo custo diante da carência de restaurar áreas que sofreram algum nível de impacto ambiental, seja ele antrópico ou não, sem que haja o comprometimento da qualidade dos ecossistemas.

5. Conclusões

Na técnica de plantio adensado em grupos espaçados associado a distribuição de espécies de diferentes grupos ecológicos, foi verificado o desenvolvimento de todas as espécies e baixa mortalidade. Assim, o plantio adensado de forma planejada revelou-se vantajosa devido a necessidade de menor quantidade de mudas para preencher a área e da facilidade de implantação em campo.

As mudas de *C. sanguinolentum* (espécie central) enxertadas também apresentaram baixa mortalidade durante o acompanhamento inicial, porém, faz-se necessário o intensivo acompanhamento para verificar se elas irão se estabelecer futuramente na área. A maior taxa de crescimento das espécies na área de relevo mais baixo provavelmente se deve ao acúmulo de matéria orgânica nesse local.

Por fim, recomenda-se a realização de avaliações adicionais para monitorar continuamente o desenvolvimento dessas mudas na área, a fim de obter resultados a longo prazo. Além disso, é sugerido um estudo de banco de sementes para avaliar o potencial de regeneração da área estudada.

Referências

ALLEK, A.; VIANY PRIETO, P.; KORYS, K. A.; RODRIGUES, A. F.; LATAWIEC, A. E.; CROUZEILLES, R. How does forest restoration affect the recovery of soil quality? A global meta-analysis for tropical and temperate regions. **Restoration Ecology**, v. 31, n. 3, p. e13747, 2023. <https://doi.org/10.1111/rec.13747>

ALMEIDA, R. O. P. O.; SANCHEZ, L. E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 47-54, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000100006>

ALMEIDA, T. F. R.; ALIXANDRE, R. D.; LIMA, P. A. M.; NASCIMENTO, G. R. Crescimento e desenvolvimento de mudas de *Passiflora mucronata* submetidas a doses de Paclobutrazol e SNP. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 17, n. 3, p. 1-17, 2024. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.3-206>

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ANDERSON, M. L. Spaced-Group planting. **Unasylva**, Roma, v. 7, n. 2, p. 1-15, 1953.

AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; FERNANDES, J. S. C. Transformação BoxCox na homocedasticidade e normalidade uni e multivariada em experimentos de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 34, n. 1, p. 93-101, 2015.

BALIEIRO, F. C.; OLIVEIRA, W. C.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; PICCOLO, M. C.; JACOUND, C. F. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa topossequencia em Seropédica, RJ. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 153–162, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000100017>

BARBOSA, R. S.; VALE, R. S.; SCHWARTZ, G.; MARTINS, W. B. R.; RIBEIRO, S. S.; RODRIGUES, J. I. M.; FERREIRA, G. C.; BARBOSA, V. M. Restoration of degraded areas after bauxite mining in the eastern Amazon: Which method to apply? **Ecological Engineering**, v. 180, p. 1-9, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106639>

BIERAS, A. C.; SOUZA, T. M.; ABDO, M. T. V.; VALARETTO, R. S.; MARTINS, A.; L. M. O uso de técnicas de nucleação na restauração de áreas degradadas no Polo Centro Norte-APTA, Pindorama-SP e no IMES-Catanduva-SP. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 3, p. 14, 2015. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v10i3.3404>

CABRAL, E. L.; BARBOSA, D. C. de A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. **Acta bot. bras.**, v.18, n.2, p. 241-251, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000200004>

CARVALHO, P. E. R. 2006. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Embrapa Florestas: Colombo. 627p.

CARVALHO, P. E. R.; **Jenipapeiro**. Colombo: Embrapa Florestas. 2003. 14 p. (Circular Técnica, 80).

CORDEIRO, I. M. C. C.; SCHWARTZ, G.; ROCHA, J. E. C.; NEVES, R. L. P.; COIMBRA, L. A. Crescimento e sobrevivência de espécies nativas plantadas em florestas em diferentes estágios de sucessão após pastagem. **Natural Resources**, v. 11, n. 3, p. 20-32, 2021. <https://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2021.003.0004>

CORDEIRO, I. M.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G.; SCHWARTZ, G. **Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: EDUFRA, 2017. 323p.

D'ARÊDE, L. O.; MATSUMOTO, S. N.; SANTOS, J. L.; VIANA, A. E. S.; SILVA, P. A. R. Morfofisiologia do crescimento vegetativo inicial de cafeeiros arabica submetidos a aplicação via foliar de Paclobutrazol. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 451, 28 nov. 2017. <https://doi.org/10.25186/cs.v12i4.1311>

DALPIZZOL, J.; VICENTE, D. L. S.; DEMÉTRIO, L.; GOULART, M. M.; AQUINO, M. G. C.; FOCKINK, G.; KANIESKI, M. R. Avaliação de técnicas nucleadoras em uma área

de preservação permanente no planalto serrano. **Biodiversidade**, v. 20, n. 2, p. 161-180, 2021.

FERNANDES, G. G. C.; FERREIRA, L. C. O.; VIEIRA, A. L. M.; ALBUQUERQUE, A. R. Levantamento Fitossociológico em Parcelas Permanentes na Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Pará, Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 1, p. 233–243, 2022.

FONSECA, C.; SAROBA, C. C.; THOMÉ, M. P. M. Recomposição florestal através do método de nucleação e poleiros naturais na recomposição de áreas degradadas: um estudo de caso. **REINPEC**, v. 2, n. 1, p. 226–239, 2016. <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v2n1a17>

FRANÇA, C. D. F. M.; RIBEIRO, W. S.; SANTOS, M. N. S.; PETRUCCI, K. P. O. S.; RÊGO, E. R.; FINGER, F. L. Growth and quality of potted ornamental peppers treated with paclobutrazol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 3, p. 316–322, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2018000300006>

Herculano et al., 2022
<https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/5219/482484785>

HOLL, K. D. **Primer of ecological restoration**. Washington: Island Press, 2020. 243 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 272p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>

INMET. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, 2024. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br>>. Acesso em: set, 2024.

KOHLER, M. R.; BAMPO, A. C.; SILVA, C. A. F.; ARANTES, A.; GASTAR, W. J. O desmatamento da Amazônia brasileira sob o prisma da pecuária: a degradação dos recursos hídricos no contexto da região norte de Mato Grosso. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. 1-24, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19252>

LIMA, B. R. D.; NEVES, B. R.; OLIVEIRA, E. P.; BEBÉ, F. V.; LIMA, P. A.; JÚNIOR, E. P. D.; FERNANDES, E. C.; PEREIRA, E. G. Caracterização Física de Solos sob Diferentes Usos e Manejos em Propriedades de Agricultura Familiar em Candiba-Bahia. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 1220–1233, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-082>

MAIO, A. C.; CARVALHO, M. V. A.; SANTOS, K. M. G.; SANTOS, K. M. G.; SOUTO, R. D.; VESTENA, K. M. A amazônia no mapa: desafio olímpico no contexto da v olimpíada brasileira de cartografia. **Revista Tamoios**, São Gonçalo, v. 20, n. 2, p. 108–126, 2024.

MARTINOTTO, C. F. **Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas do Cerrado em consórcio com mandioca**. Pesq. Agropec. Bras. Brasília, v. 47, n. 1, p. 22-29, 2012.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2021. 230 p.

MARTINS, S. V.; MIRANDA NETO, A.; RIBEIRO, T. Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica. In: MARTINS, Sebastião Venâncio. (Ed.) *Restauração ecológica de ecossistemas degradados*. Viçosa: Editora UFV, 3ª Ed, p. 19-41. 2015.

MATTIETTO, R. D. A.; LOPES, A. S.; MENEZES, H. C. Caracterização física e físico-química dos frutos da cajazeira (*Spondias mombin* L.) e de suas polpas obtidas por dois tipos de extrator. **Brazilian Journal Of Food Technology**, v. 13, n. 03, p. 156–164, 2010. <https://doi.org/10.4260/BJFT2010130300021>

MENDES, G. G. C.; SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; MARTINS, S. V.; SOUZA, G. A.; PIRES, N. A. C.; ARTINS, T. G. B. Flowering acceleration in native Brazilian tree species for genetic conservation and breeding. **Annals of Forest Research**, v. 63, n. 1, p. 39-52, 2020. <http://doi.org/10.15287/afr.2019.1751>

NERY, E. R. A.; SARAIVA, C. S.; CRUZ, L. M. S.; SOUZA, M. M. O. R.; GOMES, F. S.; ELHANI, C. N.; MARIANO-NETO, E. O conceito de restauração na literatura científica e na legislação brasileira. **Revista Caititu**, Salvador, v. 1, n. 1, p. 43-56, 2013.

NOFFS, P. S. da., GALLI, L. F., GONÇALVES, J. C. (2020). **Recuperação de áreas degradadas da mata atlântica**. São Paulo: CESP. 48 p. Disponível em: http://www.rbma.org.br/rbma/pdf/Caderno_03.pdf

NOGUEIRA, R. J. M. C; MORAES, J.A.P.V. de; BURITY, H. A.; BEZERRA-NETO, E. Alterações Na Resistência À Difusão De Vapor Das Folhas E Relações Hídricas Em Aceroleiras Submetidas A Déficit De Água. **R. Bras. Fisiol. Veg.** v. 13, n.1, p.75-87, 2001.

NOGUEIRA, W. L. P.; FERREIRA, M. J.; MARTINS, N. O. D. A. Estabelecimento inicial de espécies florestais em plantio para a recuperação de área alterada no Amazonas. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 4, p. 365–371, 2015.

OLIVEIRA, L. C. L. Q.; JARDIM, F. C. S.; GOMES, J. M.; RAMOS, E. M. L. S. Classificação ecológica de espécies arbóreas por meio da análise da distribuição diamétrica. **Espacios**, v.38, n.42, p. 1-20, 2017.

PAIVA, J. N.; BRAGA, R. S. S.; SANTANA, J. A. S.; CANTO, J. L. Crescimento e sobrevivência de *Genipa americana* L. no município de Macaíba (Rio Grande do Norte – Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, p. 88-93, 2019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3595073>

PEREIRA, Z. V.; SANGALLI, A.; PADOVAN, M. P.; LOBTCHENKO, J. C. P.; SANTOS, M. L. B. M. A restauração ecológica em área de preservação permanente no Estado de Mato Grosso do Sul. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 4394– 4407, 2020. <https://doi.org/10.34188/bjaerv3n4-140>

PETRY, H. B., REIS, B., SILVA, R. R., GONZATTO, M. P. E SCHWARZ, S. F. Porta-
enxertos influencia o desempenho produtivo de laranjeiras-de-umbigo submetidas a poda
drástica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. V. 45, n. 4, p. 449-455, 2015.
<https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4537005>

R Development Core Team. **R: Uma linguagem e ambiente para computação estatística**;
Fundação R para computação estatística: Viena, Austria, 2024. <http://www.R-project.org>

RAMALHO, M., GUERRA, A. Relação Entre Erosão E Deposição, Comparando-Se Tais
Eventos Com A Textura De Materiais Colúvio-Aluviais: Uma Análise Preliminar.
REVISTA GEONORTE, v. 5, n. 23, p. 660–664, 2014.

REIS, A.; BECHARA, F.C.; ESPINDOLA, M.B.; VIEIRA, N.K.; SOUZA, L.L.
Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos
sucessionais. **Natureza & Conservação**, v.1, n.2, p. 28-36, 2003.

REIS, A.; ZAMBONIN, R.M.; NAKAZONO, E.M. **Recuperação de áreas florestais
degradadas utilizando a sucessão e as interações planta-animal**. Série Cadernos da
Biosfera. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Governo do Estado
de São Paulo. São Paulo, 1999. 42 p.

REISCH, R. D. N. O potencial brasileiro para gerar créditos de carbono através da
conservação florestal, reflorestamento e produção agrícola sustentável. **Revista Humboldt**,
Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, p. 1-26, 2021.

RESENDE, Á. V. D.; NETO, A. E. F.; MUNIZ, J. A.; CURI, N, FAQUINI, V. Crescimento
inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de
fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 11, p. 2071–2081, 1999.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999001100014>

RODRIGUES, A. B. M.; GIULIATTI, N. M.; PEREIRA JÚNIOR, A. Aplicação de
metodologias de recuperação de áreas degradadas nos biomas brasileiros. **Brazilian Applied
Science Review**, v. 4, n. 1, p. 333–369, 2020. <http://doi.10.34115/basrv4n1-021>

RODRIGUES, R. R. **A sucessão florestal**. In: MORELLATO, P. C., LEITÃO FILHO, H. F.
(Orgs.). *Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana: Reserva de Santa Genebra*.
Campinas : UNICAMP, 1995. p. 30-36.136p.

RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G.; NETTO, D. S. A.; MOLINA, D.; ISERNHAGEN, I.;
COPETTI, L. **Cartilha de Restauração Florestal de Áreas de Preservação Permanente,
Alto Tele Pires, MT**. The Nature Conservancy, 2015. Cartilha. Disponível em:
[https://www.tnc.org.br/content/dam/tnc/nature/en/documents/brasil/cartilha-restauracao-
mt.pdf](https://www.tnc.org.br/content/dam/tnc/nature/en/documents/brasil/cartilha-restauracao-mt.pdf). Acesso em: data de 05 de setembro de 2024.

ROSENFELD, M. F.; MÜLLER, S. C. Ecologia funcional como ferramenta para planejar e
monitorar a restauração ecológica de ecossistemas. **Oecologia Australis**, v. 24, n. 03, p. 550–
565, 2020. <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2403.02>

SALOMÃO, R. P.; JÚNIOR, S.B.; ROSA, N. A. Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na Amazônia. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 1–24, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000100001>

SAMPAIO, J. C.; PINTO, J. R. R. Critérios para Avaliação do Desempenho de Espécies Nativas Lenhosas em Plantios de Restauração no Cerrado. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 504-506, 2007.

SANTOS Jr, U. M. **Ecofisiologia de espécies arbóreas plantadas sobre área degradada por atividade petrolífera na Amazônia Central**. Dissertação (mestrado) – INPA/UFAN. Manaus, p. 134, 2003.

SANTOS Jr, U. M.; DE CARVALHO GONÇALVES, J. F.; FELDPAUSCH, T. R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 226, n. 1–3, p. 299–309, 2006. <http://10.1016/j.foreco.2006.01.042>

SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H. Relevo e fertilidade do solo em diferentes estratos da cobertura vegetal na bacia hidrográfica da represa Vaca Brava, Areia, PB. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277–285, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000200010>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília, Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2018. 356p.

SILVA, B. K. S.; SILVA, J. E. V. C.; MARTINS, M. M. S.; SOUZA, E. P.; FERREIRA, L. E. **Uso Do Mulching E Seus Efeitos No Desenvolvimento De Plantas De Interesse Econômico: Uma Revisão Narrativa**. Em: MENDONÇA, M. D. S. (Ed.). Agronegócio e Sustentabilidade: métodos, técnicas, inovação e gestão. 1. ed. [s.l.] Editora Científica Digital, 2021. p. 68–77.

SILVA, F. F.; RESENDE, A. S.; SANTOS, T. A.; CHAER, G. M. Use of Cardboard Disks for Crowning Seedlings in Reforestation. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 03, p. 1-7, 2018.

SILVA, G. A.; CRUZ, L. S.; GONÇALVEZ, F. D. S.; MESQUITA, J. B. Crescimento da aroeira-vermelha no reflorestamento da Mata Ciliar. **Agroforestalis News**, Aracaju, v.1, n.1. 2016.

SILVA, K. D. A.; MARTINS, S. V.; NETO, A. M.; DEMOLINARI, R. A.; LOPES. Restauração Florestal de uma Mina de Bauxita: Avaliação do Desenvolvimento das Espécies Arbóreas Plantadas. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 309–319, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.142515>

SILVA, K. J. S.; MARIANO, D. C.; OKUMURA, R. S.; VIEIRA, A. L. M EBLING, A. A. Effects of mineral and organic fertilization on the growth of spondias mombin in an area of environmental recovery in the amazon region. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 59960–59970, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-419>

SILVA, O. M. D. C.; NIERI, E. M.; SANTANA, L. S.; ALMEIDA, R. S.; ARAÚJO, G. C. R.; BOTELHO, S. A.; MELO, L, A. Adubação fosfatada no crescimento inicial de sete espécies florestais nativas destinadas à recuperação de uma área degradada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 371–394, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509861339>

SOUSA, E. J. B. D.; PINHEIRO, K. A. O.; CARNEIRO, F. S.; PINHEIRO, G. L. SOUSA, J. C. M.; AMORIM, M. B.; FRAZÃO, A. S.; CASTRO, C. V. B.; RIBEIRO, E. G. P. Uso de espécies nativas na restauração de ecossistemas florestais alterados pela retirada de seixo no nordeste paraense. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. 1-13, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.16937>

SOUSA, H. R. S.; JANSEN, J. S.; EBLING, A. A.; MARIANO, D. C.; SILVA, K. J. S.; GONÇALVES, K. S. T.; NETO, C. F. O.; OKUMURA, R. S. Crescimento de espécies nativas tropicais de diferentes grupos ecológicos em área degradada na Amazônia brasileira. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 34895–34910, 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n6-143>

SOUZA, F. X.; PORTO FILHO, F. Q.; MENDES, N. V. B. Umbucajazeira: descrição e técnicas de cultivo [online]. Mossoró: EdUFERSA, 2020, 103 p. ISBN: 978-65-87108-02-5. <https://doi.org/10.7476/9786587108599>

TÉLLEZ, H. O.; BOMFIM, G. C.; CARVALHO, A. C. P. P.; AZEVEDO, B. M.; LOZANO, C. H. G. Paclobutrazol no desenvolvimento de mudas de plantas matrizes de abacaxizeiro ornamental. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. 1-16, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8478>

VALE, I.; COSTA, L. G. S.; MIRANDA, I. S. Espécies indicadas para a recomposição da floresta ciliar da sub-bacia do rio peixe-boi, Pará. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 573–582, 2014. <https://doi.org/10.1590/1980-509820142403006>

VILELA, P. H. M.; FERREIRA, W. C.; SILVA, D. F. P. Crescimento inicial de espécies frutíferas do cerrado em área degradada pela mineração em Jatai-GO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 15, n. 27, p. 80–94, 2018. http://doi.org/10.18677/EnciBio_2018A31

CONCLUSÃO GERAL

A análise dos atributos físicos e químicos do solo na região da Volta Grande do Xingu revelou diferenças significativas entre áreas de floresta e faixas altitudinais degradadas, evidenciando o impacto das práticas de manejo. A floresta apresentou melhor qualidade física e química do solo, com maior fertilidade e retenção de umidade, devido à maior concentração de matéria orgânica. Em contraste, as áreas degradadas mostraram compactação e menor qualidade do solo, agravadas pela perda de vegetação. Esses resultados destacam a importância da vegetação nativa na preservação da qualidade do solo e reforçam a necessidade de práticas de manejo sustentável e restauração ambiental.

A técnica de plantio adensado em grupos espaçados, combinada com a distribuição de espécies de diferentes grupos ecológicos, demonstrou ser eficaz na recuperação da área degradada estudada, com bom desenvolvimento das espécies e baixa mortalidade. Esse método mostrou-se uma ferramenta valiosa para a restauração florestal, promovendo melhorias microclimáticas e sucessão ecológica, além de ser econômico e de fácil implantação. Embora as mudas enxertadas de *C. sanguinolentum* tenham apresentado baixa mortalidade, é necessário um monitoramento intensivo para garantir seu estabelecimento. As mudas plantadas no relevo mais baixo tiveram maiores taxas de crescimento devido ao acúmulo de matéria orgânica dessas áreas. Recomenda-se realizar avaliações adicionais e um estudo de banco de sementes para monitorar o desenvolvimento a longo prazo e avaliar o potencial de regeneração da área.