



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ANÁLISE E PLANEJAMENTO ESPACIAL -
MAPEPROF

FRANCISCO DIONATA DE OLIVEIRA SILVA

**AGROFLORESTAS E AÇÃO CLIMÁTICA NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE: sequestro
de carbono, convivência com a seca e monitoramento produtivo da terra**

TERESINA

2026

FRANCISCO DIONATA DE OLIVEIRA SILVA

**AGROFLORESTAS E AÇÃO CLIMÁTICA NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE: sequestro
de carbono, convivência com a seca e monitoramento produtivo da terra**

Dissertação apresentada como exigência para
aprovação na etapa de Defesa do Curso de Mestrado
em Análise e Planejamento Espacial do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí –
Campus Teresina Central.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Bruna de Freitas Iwata.

TERESINA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Silva, Francisco Dionata de Oliveira

S586a Agroflorestas e ação climática no seminário piauiense : sequestro de carbono, convivência com a seca e monitoramento produtivo da terra / Francisco Dionata de Oliveira Silva. - 2026. 206 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2026.

Orientadora : Profa Dra. Bruna de Freitas Iwata.

1. Sistemas agroflorestais . 2. Carbono orgânico do solo . 3. Adaptação à seca . 4. Conservação do solo . I. Título.

CDD - 910

FRANCISCO DIONATA DE OLIVEIRA SILVA

AGROFLORESTAS E AÇÃO CLIMÁTICA NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE: sequestro de carbono, convivência com a seca e monitoramento produtivo da terra

Dissertação apresentada como exigência para aprovação na etapa de Defesa do Curso de Mestrado em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Teresina Central.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Bruna de Freitas Iwata.

Aprovado em: 21 / 08 / 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Bruna de Freitas Iwata (Orientadora)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Francílio de Amorim dos Santos
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Ageu da Silva Monteiro Freire
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)

Dedico esta pesquisa ao Dionatinha, pequeno e extremamente inseguro. Aqueles que acreditaram e sonharam que eu estivesse aqui.

Dedico também a todos os gays invisíveis, indesejados, amaldiçoados... Que a gente sempre ocupe os espaços que a sociedade nos nega.

AGRADECIMENTOS

Eu geralmente não sou muito bom em agradecer, mas primeiramente eu agradeço ao suor e amor de minha mãe. Obrigado, Maria Neuza, por nunca me deixar cair e fazer eu nunca duvidar de mim. Sempre foi: “tu é capaz, Dionata” e “Meu filho vai ser mestre”. E quem diria, hein? Que o seu filho seria o primeiro a concluir o mestrado da família, mãezinha?

Ao meu pai, Norberto, e às minhas irmãs, Crislania e Crislaiane, eu agradeço, pois, mesmo sem entender o que é um cientista e um mestrando, vocês nunca deixaram de me apoiar. Obrigado, maninhas, por terem me dado o amor e a força de que eu precisava através dos meus sobrinhos, pois isso é por eles: Marcos Emanuel, Caio e Luna, vocês são o motivo de eu sempre querer ir mais longe.

Profa. Bruna, acho que a senhora não tem noção do quanto eu a admiro, além do profissional. Eu realmente me espelho em você em quase tudo. Obrigado por cada segundo que a senhora dedicou para mim, obrigado por nunca ter perdido a paciência comigo e por sempre me compreender. Nessa e em outras vidas, eu a escolheria como mestra, mentora, amiga... MUITO OBRIGADO, Bruna Iwata.

Às minhas amigas Jamilly, Flávia, Clarisse, Arielly e Thalita, eu realmente tenho que agradecê-las por aguentarem, desde o primeiro dia até agora, os meus “surtos” por conta de que eu não sabia o que fazer em relação a este trabalho. Obrigado, minhas amigas, por não deixarem eu desistir e pelas ameaças de que, se eu desistisse, vocês iam fazer eu me arrepender.

Aos meus amigos Jeferson, Felipe, Antônio José, Natanael, Aduílio e Marcelo, vocês são extremamente importantes nessa jornada, mesmo sem saber. Os meus mais sinceros obrigados, meus amigos.

À minha parceira de mestrado, Naíde: não tinha como eu não separar um espaço só para você, minha amiga. Tu, que foi tão essencial nessa jornada, teve uma frase que você me disse quando eu te falei que não achava que tinha inteligência para estar em um mestrado, que foi algo que mantive comigo até o último ponto deste trabalho: “Dionata, se tu não tem, ninguém tem, amigo”. Muito obrigado por toda a ajuda, conselhos, por não medir esforços, por estar comigo desde a seleção até agora. Nossa

parceria e amizade estão estampadas em cada colaboração científica e em cada conversa nossa.

Aos que me acompanharam no campo: Naíde, Jeferson, Larissa, Jefson, Bruna e Felipe, vocês fizeram mais que tirar fotos e me auxiliar na coleta das amostras e dados; vocês retiraram todo o nervosismo que eu estava sentindo naquele momento. Vocês tornaram até o sol mais ameno e tornaram o momento mais leve, obrigado meus amigos.

Agradeço ao meu Bernardo, por ser o melhor afilhado que eu poderia ter: te amo, meu Bê.

A todos os profissionais que compõem o Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial e o Instituto Federal do Piauí.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí pelo financiamento concedido através do Edital 003/2024, Programa de Apoio à Pós-Graduação Stricto Sensu (PAPG) – Bolsas de Mestrado e Doutorado.

Não é que haja coisas que a ciência não consiga explicar. Você busca pelas regras por trás dessas coisas. A ciência é apenas o esforço constante e irritante que vai nisso.

Senku Ishigami

RESUMO

A pesquisa avaliou o potencial dos sistemas agroflorestais (SAFs) como sistemas produtivos adaptáveis às condições do Semiárido piauiense, considerando sua contribuição para o armazenamento de carbono no solo, a conservação da qualidade química, a amenização das condições microclimáticas e a adaptação às condições de seca. O estudo foi desenvolvido em quatro sistemas agroflorestais, sendo os SAFs 16, Sabiá e 22 localizados no município de São Lourenço do Piauí e o SAF Belém no município de São João da Serra, utilizando áreas de mata nativa como referências espaciais. A pesquisa adotou abordagem exploratória e integrada, envolvendo levantamento bibliográfico e documental, observações de campo, análises laboratoriais e avaliação de variáveis microclimáticas. As amostras de solo foram coletadas nos períodos chuvoso e seco, nas profundidades de 0–10 e 10–20 cm, para determinação do carbono orgânico total e de atributos químicos relacionados à fertilidade do solo. A investigação também avaliou temperatura, umidade relativa do ar e índice ultravioleta, além de utilizar estatística descritiva, correlação de Pearson, análise de componentes principais e agrupamento hierárquico para interpretar as relações entre os sistemas e as variáveis analisadas. Os resultados demonstraram diferenças entre os SAFs quanto aos atributos químicos e aos níveis de carbono orgânico total, com destaque para o SAF 16, que apresentou a maior média de carbono orgânico total, com 14,232 g/kg, valor 52% superior ao registrado em sua área de mata nativa, enquanto o SAF Belém apresentou 7,770 g/kg, representando superioridade de 90,9% em relação à sua referência. O carbono orgânico apresentou fortes correlações positivas com a capacidade de troca catiônica ($r=0,90$), cálcio ($r=0,89$), soma de bases ($r=0,88$) e saturação por bases ($r=0,71$), indicando associação entre o armazenamento de carbono e atributos relacionados à qualidade química do solo. A análise multivariada evidenciou diferenças na organização química dos sistemas, associando o SAF 16 aos atributos de fertilidade e indicando trajetórias distintas entre os demais SAFs em função das condições ambientais e das estratégias de manejo. Os resultados microclimáticos indicaram que os SAFs Sabiá e Belém apresentaram temperaturas mais amenas e maior umidade relativa em comparação com suas áreas de referência, enquanto o SAF

Sabiá apresentou índice ultravioleta de 1,31, indicando potencial de amenização das condições ambientais no interior do sistema. A pesquisa concluiu que os SAFs avaliados apresentam potencial para contribuir com a conservação do solo, a adaptação às condições de seca e a ação climática no Semiárido piauiense, embora seu desempenho esteja relacionado às características ambientais, geográficas e às estratégias de manejo adotadas. Como contribuição tecnológica, a pesquisa desenvolveu o Caderno Agroflorestal da Caatinga (CAFE-Caatinga), ferramenta web destinada ao registro, monitoramento e diagnóstico integrado de indicadores de carbono, disponibilidade hídrica e produtividade dos sistemas agroflorestais, ampliando as possibilidades de apoio à tomada de decisão por produtores, técnicos e pesquisadores.

Palavras-chave: sistemas agroflorestais; carbono orgânico do solo; adaptação à seca; conservação do solo.

ABSTRACT

The research evaluated the potential of agroforestry systems (AFSs) as production systems adaptable to the conditions of the Piauí semiarid region, considering their contribution to soil carbon storage, chemical quality conservation, microclimate amelioration, and adaptation to drought conditions. The study was conducted across four agroforestry systems AFSs 16, Sabiá, and 22, located in the municipality of São Lourenço do Piauí, and AFS Belém, in the municipality of São João da Serra using native forest areas as spatial references. The research adopted an exploratory and integrated approach, involving a literature and document review, field observations, laboratory analyses, and the assessment of microclimatic variables. Soil samples were collected during both the rainy and dry seasons at depths of 0–10 cm and 10–20 cm to determine total organic carbon and chemical attributes related to soil fertility. The investigation also assessed temperature, relative humidity, and the ultraviolet index, while employing descriptive statistics, Pearson correlation, principal component analysis, and hierarchical clustering to interpret the relationships between the systems and the analyzed variables. The results demonstrated differences among the AFSs regarding chemical attributes and total organic carbon levels; notably, AFS 16 exhibited the highest mean total organic carbon (14.232 g/kg)—a value 52% higher than that recorded in its native forest reference area—while AFS Belém showed 7.770 g/kg, representing a 90.9% higher value compared to its reference. Organic carbon showed strong positive correlations with cation exchange capacity ($r=0.90$), calcium ($r=0.89$), the sum of bases ($r=0.88$), and base saturation ($r=0.71$), indicating an association between carbon storage and attributes related to soil chemical quality. Multivariate analysis revealed differences in the chemical organization of the systems, associating SAF 16 with fertility attributes and indicating distinct trajectories among the other SAFs based on environmental conditions and management strategies. Microclimatic results indicated that the Sabiá and Belém SAFs exhibited milder temperatures and higher relative humidity compared to their reference areas, whereas SAF Sabiá exhibited an ultraviolet index of 1.31, indicating a potential for milder environmental conditions within the system. The study concluded that the evaluated agroforestry systems have the potential

to contribute to soil conservation, adaptation to drought conditions, and climate action in the semi-arid region of Piauí, although their performance depends on environmental and geographic characteristics as well as the management strategies adopted. As a technological contribution, the research developed the Caderno Agroflorestal da Caatinga (CAFE-Caatinga), a web-based tool designed for the recording, monitoring, and integrated diagnosis of indicators regarding carbon, water availability, and productivity in agroforestry systems, thereby expanding decision-support capabilities for producers, technicians, and researchers.

Keywords: agroforestry systems; soil organic carbon; drought adaptation; soil conservation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	20
3.1	GEOGRAFIA DO SEMIÁRIDO PIAUIENSE.....	20
3.2	GEOECOLOGIA DA CAATINGA.....	21
3.3	MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS NO SEMIÁRIDO...	23
3.4	MANEJO AGROFLORESTAL.....	25
3.4.1	Tipos de Sistemas Agroflorestais.....	27
3.5	AGROFLORESTAS E SEQUESTRO DE CARBONO NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE.....	28
3.6	AGROFLORESTAS E ADAPTABILIDADE A SECA NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE.....	29
3.7	AGROFLORESTAS NA PROMOÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	31
4	METODOLOGIA.....	33
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	33
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5.1	RELATÓRIO DE CAMPO.....	44
5.2	CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA SEMIÁRIDA PIAUIENSE.....	46

5.3	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DOS SAFs ESTUDADOS.....	50
5.4	DADOS METEOROLÓGICOS.....	58
5.5	CONDIÇÕES QUÍMICAS DOS SOLOS NOS SISTEMAS AVALIADOS.....	61
5.5.1	Carbono orgânico do solo nos sistemas agroflorestais e áreas de referência no Semiárido piauiense.....	61
5.5.2	Relações do carbono orgânico com a fertilidade e a acidez do solo.....	64
5.5.3	Diferenciação multivariada dos sistemas quanto às condições químicas do solo.....	66
5.5.4	Similaridade multivariada entre os sistemas.....	71
5.6	CADERNO AGROFLORESTAL DA CAATINGA – CAFE-CAATINGA.....	72
5.6.1	Concepção e metodologia de desenvolvimento.....	73
5.6.1.1	Desenvolvimento e arquitetura tecnológica.....	75
5.6.2	Estrutura e funcionamento da ferramenta.....	75
6	PRODUÇÕES ACADÊMICAS VINCULADAS.....	78
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
	REFERÊNCIAS.....	84
	APÊNDICE 01 - Link do CAFE-Caatinga.....	99
	APÊNDICE 02 - Interface da tela do CAFE-Caatinga.....	99
	ANEXO 01 - MANEJO AGROFLORESTAL COMO AÇÃO CLIMÁTICA NO SEQUESTRO DE CARBONO E NA CONVIVÊNCIA COM A SECA NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE.....	102

ANEXO 02 - Agricultura de baixo de carbono no Piauí: Uma análise da Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária (lei 7.480/2021).....	112
ANEXO 03 - Praças Públicas e a Gentrificação Silenciosa: Um Relato de Caso do Planejamento Urbano em Campo Maior, Piauí.....	117
ANEXO 04 - Conflito de Uso e Ocupação do Solo na Área de APP do Riacho Itararé (Mandacarú), Teresina Piauí.....	127
ANEXO 05 - Políticas Públicas no Desempenho da Proteção e nas Medidas Mitigadoras dos Impactos Ambientais nos Recursos Hídricos de Teresina, Piauí.....	135
ANEXO 06 - Fatores Naturais e Antrópicos que Contribuem para Enxurradas, Inundações e Alagamentos no Meio Urbano de Teresina, Piauí.....	139
ANEXO 07 - ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS GEOESPACIAIS PARA COMPREENSÃO DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA SERRA - PI.....	143
ANEXO 08 - Análise Espaço-Temporal da Expansão Agrícola em seu Uso e Ocupação do Solo da Mesorregião Sudoeste do Piauí.....	148
...	
ANEXO 09 - Índice de vegetação ndvi e savi: análise temporal da sub-bacia pd11 em Teresina, Piauí.....	150
ANEXO 10 - ANÁLISE GEOESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS EM MUNICÍPIO DA CHAPADA DO ARARIPE, SEMIÁRIDO PIAUIENSE.....	157

ANEXO 11 - Conservação do solo e mitigação climática em agroflorestas: estoques de carbono e fertilidade no ecótono semiárido de Teresina, Piauí.....	163
ANEXO 12 - Carbono no solo e sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas.....	176
ANEXO 13 - Estrutura temática e geográfica da pesquisa agroflorestal no Brasil: uma análise bibliométrica.....	190

1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental decorrente da exploração exaustiva da terra tem alterado consideravelmente os ecossistemas, resultando em compactação do solo, solos expostos e erodidos, contaminação dos corpos hídricos e perda da biodiversidade (Fernandes, 2020), evidenciando, assim, graves problemáticas que compõem o atual quadro de emergência climática.

Diante desse cenário, tem-se buscado por alternativas do uso da terra que permitam a produção e atendimento das necessidades humanas que não inviabilizam a qualidade ambiental e a produção de serviços ecossistêmicos, tais como o manejo agroflorestal. Neste sentido, os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de produção em que plantas lenhosas são manejadas em combinação com plantas herbáceas, frutíferas, arbustos, culturas agrícolas e forrageiras na mesma unidade de manejo (CONAMA, 2011).

Feliciano *et al.* (2018) destacam que as agroflorestas funcionam como mitigador das alterações climáticas, assim como Fernandes *et al.* (2020) afirmam que, entre os diversos serviços de regulação de um SAF, o que mais destaca é a regulação climatológica advinda da estocagem de carbono no solo. A fixação de carbono no solo e na biomassa desempenham um papel crucial no enfrentamento e no avanço das mudanças climáticas, conforme é destacado por Iwata *et al.* (2020). Logo, os SAFs passam a ser adotados como um sistema eficiente na ação climática, tendo seu papel fundamental na manutenção dos serviços ecossistêmicos e no uso justo e saudável da terra.

O Semiárido brasileiro possui um grande risco de deterioração pelas suas características naturais; além disso, há uma maior perda da qualidade desse solo devido a exploração no modelo exaustivo, pela agricultura e pecuária (Coelho *et al.*, 2014; Pereira, 2021), além das condições climáticas de elevadas temperaturas, altos índices de evapotranspiração e escassez hídrica. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022), o estado do Piauí abriga 186 municípios localizados na área semiárida, o que torna uma boa parte do território piauiense

extremamente vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas, como a intensificação dos períodos de seca.

O manejo agroflorestal é uma abordagem multifuncional que pode ajudar a alcançar vários objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) simultaneamente, promovendo a sustentabilidade ambiental, econômica e social na região do semiárido piauiense. Pode-se citar: ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável, na promoção de práticas agrícolas sustentáveis; ODS 6 - Água Potável e Saneamento, na relação de uso e reuso da água na convivência com a seca; ODS 13 - Ação contra a Mudança Global do Clima, no processo de descarbonização do planeta; ODS 15 - Vida Terrestre, no contexto da preservação da biodiversidade, recuperação de área degradadas e no manejo sustentável do solo; ODS 1 - Erradicação da Pobreza, na questão do aumento de renda; ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis, no uso consciente dos recursos naturais.

Assim, observando que ainda é expressivo o número de estudos que buscam comprovar a eficiência da estocagem de carbono por meio das agroflorestas estão localizados na região amazônica (Lima *et al.*, 2011; Silva, 2023), essa pesquisa vem estudar os SAFs como sistema de produção para a região semiárida e para o bioma caatinga, destacando que, no estado do Piauí, há ainda uma escassez de trabalhos que envolvam sistemas de produção de base sustentável. Diante dessa lacuna científica e da vulnerabilidade da região semiárida piauiense, coloca-se como problemática central: Como o manejo agroflorestal pode contribuir para o sequestro de carbono e melhorar a resiliência climática das comunidades frente à seca no semiárido piauiense?.

A relevância deste estudo fundamenta-se na concentração da pesquisa agroflorestal em biomas úmidos, como a Amazônia, limitando a compreensão dos aspectos biogeográficos e edafoclimáticos que influenciam o desempenho dos SAFs em regiões secas. A questão da seca no semiárido piauiense afeta diretamente a segurança alimentar e o potencial de subsistência das comunidades rurais. Nesse contexto, a comprovação científica da eficácia dos SAFs em solos semiáridos é fundamental para a formulação de políticas públicas que promovam a adoção desses agroecossistemas em larga escala, permitindo uma regionalização e um planejamento estratégico mais preciso no estado.

Além da geração de conhecimento científico, torna-se importante desenvolver mecanismos que permitam acompanhar e interpretar o comportamento dos sistemas agroflorestais ao longo do tempo. É importante, portanto, enfatizar a necessidade de ferramentas de monitoramento e acompanhamento dos sistemas agroflorestais para a região semiárida, considerando as particularidades ambientais, climáticas e produtivas encontradas nesses sistemas.

A disponibilização de uma tecnologia de suporte à decisão voltada a agricultores, comunidades rurais e tradicionais pode fortalecer a capacidade de monitoramento local, auxiliando na tomada de decisões quanto ao manejo do solo e da água. A ferramenta busca aproximar o conhecimento produzido pela pesquisa das necessidades de acompanhamento e manejo dos sistemas produtivos, contribuindo para a adoção de práticas agroflorestais mais adequadas às condições locais e para a construção de sistemas produtivos mais resilientes às mudanças climáticas.

A pesquisa também apresenta potencial de aplicação para outras regiões semiáridas do Brasil e do mundo que apresentem condições ecológicas, geográficas e sociais semelhantes às do Piauí. A produção de conhecimento sobre o desempenho dos sistemas agroflorestais em ambientes secos, associada ao desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao monitoramento e diagnóstico, pode contribuir para a construção de uma rede de conhecimentos e práticas agroflorestais voltadas à sustentabilidade e à adaptação climática em regiões semiáridas.

Para responder à problemática apresentada, o estudo parte das seguintes hipóteses: os sistemas agroflorestais implantados no semiárido piauiense apresentam expressiva capacidade de estocagem de carbono na biomassa e no solo e o manejo agroflorestal promove a melhoria das propriedades químicas do solo em ambientes semiáridos, favorecendo a conservação hídrica e a resiliência do agroecossistema.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o nível da estocagem de carbono por sistemas agroflorestais no

semiárido e sua potencialidade como sistema de produção adaptado à regiões secas na conservação de água do solo, como medida de ação climática no enfrentamento às mudanças climáticas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o nível de estocagem de carbono e qualidade química do solo por sistemas agroflorestais no semiárido piauiense;
- Investigar a influência que as agroflorestas manejadas no semiárido piauiense tem na regulação climática local;
- Desenvolver um protótipo de ferramenta web de apoio à decisão, denominado CAFE-Caatinga, para o monitoramento e diagnóstico de sistemas agroflorestais no Semiárido.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 GEOGRAFIA DO SEMIÁRIDO PIAUIENSE

O semiárido brasileiro tem como uma das principais características o seu clima, principalmente na ocorrência de grandes secas, caracterizada pelo declínio da umidade do solo (Baptista e Campos, 2013). Esses fatores aumentam a taxa de evapotranspiração, causando déficit hídrico no solo e reservatórios, gerando um balanço hídrico negativo.

O semiárido brasileiro é a área semiárida mais densamente povoada do mundo (Soares *et al.*, 2021; Oresca, 2022), com uma população de aproximadamente 24 milhões, o equivalente a 12% da população nacional (IBGE, 2017; Oresca, 2022).

O semiárido apresenta os piores índices socioeconômicos do Brasil devido à má distribuição de terras e ao uso irracional dos seus recursos naturais (Silva *et al.*, 2010; Oliveira, 2022). Boa parte da população desta área tem seu sustento proveniente de atividades agropecuárias e da agricultura, e essas atividades são dependentes da

chuva e da disponibilização de água, consequentemente ocasionando limitações de produção pela escassez hídrica nessas áreas.

A área semiárida apresenta diferentes paisagens com diversas variações de relevo, vegetação e formações geológicas, e estas variações resultam em diversos tipos de solo. No entanto, a maioria deles apresenta limitações agrícolas com baixo potencial produtivo (Oliveira, 2022). Os solos semiáridos são rasos e pouco profundos (Macedo et al., 2021); neste sentido, é correto afirmar que uma das características limitantes do semiárido ao uso agrícola é os seus solos pouco desenvolvidos.

O bioma predominante nessa região é a Caatinga, que constitui o sertão brasileiro (Suassuna, 2019). Segundo Salvador e Lima (2021), a área semiárida brasileira tem uma alta suscetibilidade à desertificação e degradação devido a ser uma área com baixo índice hídrico, sendo importante destacar também o alto nível de insolação no sertão.

O semiárido piauiense tem o seu período de estiagem entre dezembro e abril, com a pluviometria anual variando entre 350 mm a 750 mm (Viva o Semiárido, 2022). A região é caracterizada por condições climáticas áridas e com períodos de secas recorrentes, e tais características impactam as atividades agrícolas e a disponibilidade de água.

3.2 GEOECOLOGIA DA CAATINGA

Os sistemas predatórios introduzidos na Caatinga são caracterizados pela ausência de técnicas de manejos e uso do solo, e sempre com a possibilidade de exceder a capacidade de suporte natural do geossistema local (Silva, Medeiros e Azevedo, 2012). Esse mau uso do solo tem causado a deterioração ambiental da caatinga brasileira.

O bioma apresenta três estratos vegetativos: o herbáceo (abaixo de 2 metros), arbustivo (2 a 5 metros) e o arbóreo (de 8 a 12 metros) (WWF, 2022). A flora é denominada como xerófitas, apresentando uma estrutura adaptada a conviver com a seca e com as condições áridas (Melo et al., 2023); características como pequenas folhas, cascas grossas, espinhos, raízes e tronco que acumulam água ajudam no

combate à evapotranspiração intensa (ISPN, 2020). Neste modo, a vegetação consegue lidar com os meses de secas e com a alta insolação, rebrotando nos períodos chuvosos; assim, a caatinga tem diferentes paisagens no decorrer do ano.

As florestas secas do Brasil estão localizadas, em sua maioria, na caatinga brasileira, e as suas formações típicas abrigam pelo menos 3.347 espécies vegetais (Fernandes *et al.*, 2019; Flora do Brasil, 2020; Nepomuceno, 2021).

Nepomuceno (2021) realizou uma análise florística e biogeográfica das savanas da Caatinga. Ela realizou uma compilação de levantamentos florísticos publicados que registraram a flora geral nos locais selecionados, apresentando-nos 3 categorias de vegetação (Quadro 01).

Quadro 01 - Tipos de Vegetação da Caatinga Brasileira.

TIPO DE VEGETAÇÃO	CARACTERÍSTICAS E DESCRIÇÃO	REFERÊNCIAS
Caatinga do Cristalino	Vegetação mais típica dentro do Domínio Fitogeográfico da Caatinga, caracterizada pela presença de espécies caducifólias e espinhosas. É encontrada sobre amplas áreas do embasamento cristalino do semiárido brasileiro.	Moro <i>et al.</i> 2016; Nepomuceno, 2021
Caatinga do Sedimentar	Também é chamada de caatinga de areia, é a vegetação encontrada em terrenos arenosos das bacias sedimentares e dunas da Bahia dentro do Domínio Fitogeográfico da Caatinga.	Moro <i>et al.</i> 2016; Nepomuceno, 2021
Savanas da Caatinga	Dentro do Domínio Fitogeográfico da Caatinga são encontrados encraves de Cerrado que comumente apresentam fisionomias savânicas e compartilham espécies em comum com a vegetação de cerrado e também de caatinga.	Castro; Martins, 1999; Moro <i>et al.</i> 2016; Nepomuceno, 2021

Fonte: Nepomuceno, 2021; adaptado pelo autor, 2024.

A Caatinga é uma floresta tropical sazonalmente seca (FTSS) (Silva, 2021). Esse tipo de ecossistema combina características de florestas tropicais e áreas sazonalmente secas (Silva *et al.*, 2024), tornando-se um ambiente único e adaptado ao ambiente semiárido e à escassez hídrica.

Mendes *et al.* (2020) dissertam que a Caatinga pode desempenhar um papel como um sumidouro natural de carbono quando comparada a outras florestas secas, pois ela apresenta uma alta taxa de estoque de carbono resultante da baixa taxa de respiração do ecossistema; no entanto, Hamelak (2021) enfatiza o papel de

conservação do bioma, caso contrário a mesma pode funcionar como uma fonte de carbono na atmosfera.

3.3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS NO SEMIÁRIDO

A concentração de dióxido de carbono (CO_2) pode ser alterada por fatores naturais e por antrópicos. De acordo com IPCC (2014) *apud* Tavares, Arruda e Silva (2019), as atividades antrópicas estão contribuindo significativamente para a atual concentração de CO_2 na atmosfera terrestre.

O aumento da temperatura global e práticas agrícolas inadequadas aceleram o processo de desertificação, causando a diminuição de recursos naturais e o aumento da pobreza e êxodo rural no semiárido (Gonçalves, Medeiros e Matias, 2016). O semiárido piauiense, em sua grande maioria, é de áreas suscetíveis á desertificação (ASD) (Piauí, 2023); neste sentido, as mudanças climáticas atuam como um acelerador da desertificação, intensificando o processo de degradação ambiental e aprofundando as desigualdades sociais no território piauiense.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei 12.187/2009, define mudança do clima como:

[...] VIII - mudança do clima: mudança de clima que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis; (Brasil, 2019).

Assim, a PNMC trata as mudanças climáticas como as mudanças na atmosfera mundial. Como efeito dessas mudanças, a lei deixa a seguinte definição:

[..] II - efeitos adversos da mudança do clima: mudanças no meio físico ou biota resultantes da mudança do clima que tenham efeitos deletérios significativos sobre a composição, resiliência ou produtividade de ecossistemas naturais e manejados, sobre o funcionamento de sistemas socioeconômicos ou sobre a saúde e o bem-estar humanos; (Brasil, 2019).

As condições hídricas no semiárido brasileiro podem piorar devidos o avanço das mudanças climáticas (Angelotti *et al.*, 2010; Oliveira, 2022), pois podem aumentar a

temperatura global, aumentando a taxa de evapotranspiração do semiárido e reduzindo umidade do solo, aumentando o processo de desertificação.

A Política Estadual sobre Mudança do Clima e Combate à Pobreza (PEMCP) do estado do Piauí, instituída pela Lei 6.140/2011, destaca que um dos mecanismos e alternativas para o combate e controle das mudanças climáticas de execução do programa é o desenvolvimento de sistemas agroflorestais (Piauí, 2011). Desse modo, é correto afirmar que os SAFs é um sistema de produção com adaptabilidade às mudanças climáticas.

Na PEMCP, no Art. 17º, que trata das estratégias de mitigação da emissão de gases de efeito estufa, é apresentado os SAFs como uma das estratégias (Piauí, 2011), assim reafirmando o papel desses sistemas no combate e controle das mudanças climáticas.

Santiago, Sales e Paula (2013) destacam que a população do semiárido piauiense enfrenta sérias dificuldades em decorrência das condições climáticas extremas, agravadas pela crise climática. Essa situação compromete a qualidade de vida e a segurança alimentar da região.

Projeções indicam que a Caatinga brasileira vai ter o aumento de 1 °C na temperatura do ar e terá uma diminuição de 20% na quantidade de chuva (Mendes *et al.*, 2020; Hamelak, 2021), aumentando a incidência de eventos climáticos, além da intensificação da expansão da área semiárida no Brasil.

A crescente preocupação com os efeitos das mudanças climáticas tem motivado diversas cidades do semiárido piauiense a desenvolverem ações específicas para combater e se adaptar a esses impactos.

Municípios como Altos (Lei nº 518/2023), Angical do Piauí (Lei nº 693/2023), Buriti dos Montes (Lei nº 407/2023), Pimenteiras (Lei nº 639/2023), São João da Fronteira (Lei nº 244/2023), Queimada Nova (Lei nº 253/2023), São Félix do Piauí (Lei nº 569/2023), Wall Ferraz (Lei nº 009/2023), Floriano (Lei nº 1.228/2023), Currais (Lei nº 063/2023), Jardim do Mulato (Lei nº 314/2023), São José do Peixe (Lei nº 008/2023), Conceição do Canindé (Lei nº 952/2023), Barra D'Alcântara (Lei nº 308/2023), Nazária (Lei nº 211/2023), Brejo do Piauí (Lei nº 230/2023), Santa Cruz dos Milagres (Lei nº 410/2023), Nossa Senhora de Nazaré (Lei nº 249/2023), Barreiras do Piauí (Lei nº

316/2023), São José do Divino (Lei nº 336/2024), Francisco Macedo (Lei nº 303/2023), Landri Sales (Lei nº 861/2023), Curral Novo do Piauí (Lei nº 108/2023), São Pedro do Piauí (Lei nº 515/2023), Rio Grande do Piauí (Lei nº 086/2023), Hugo Napoleão (Lei nº 009/2023), Sigefredo Pacheco (Lei nº 122/2023), Oeiras (Lei nº 1.970/2023), Cajazeiras 7do Piauí (Lei nº 04/2024), São João da Serra (Lei nº 002/2023), Tanque do Piauí (Lei nº 394/2023) e João Costa (Lei nº 159/2023) já instituíram políticas públicas voltadas para essa questão.

3.4 MANEJO AGROFLORESTAL

Ao longo dos tempos, foram nos apresentadas inúmeras definições do conceito de agrofloresta (Goulart, 2019), mas o fato é que o termo sistema agroflorestal é um conceito novo, para apresentar e conceituar práticas e sistemas de produção antigos.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de produção em que plantas lenhosas são manejadas em combinação com plantas herbáceas, frutíferas, arbustos, culturas agrícolas e forrageiras na mesma unidade de manejo (CONAMA, Res. 429, 2011). Agro refere-se às espécies agrícolas; já floresta refere-se às espécies florestais (FAS, 2020).

As agroflorestas seguem os conceitos e princípios ecológicos no desenvolvimento de sistemas de produção integrados. O consórcio de diversas espécies vegetais conserva o solo, a água e a biodiversidade de forma sustentável (FAS, 2020). Este consórcio de espécies contribui para que o sistema agroflorestal seja o método mais efetivo no combate à degradação do solo em ambientes semiáridos (Nenova e Behrend, 2016; Oresca, 2022).

A técnica agroflorestal busca potencializar os processos de acumulação de biomassa sobre o solo, tendo como base as dinâmicas naturais e as intervenções/manejo (Goulart, 2019). Assim, o acúmulo de biomassa no solo potencializa a estocagem de carbono e a manutenção e conservação do ciclo hidrológico.

O Brasil apresenta instrumentos legais para o manejo e implantação de agroflorestas em seu território (Goulart, 2019); a maioria da base jurídica que se trata

dos SAFs e suas certificações se encontram nas leis e decretos que tratam sobre a agricultura familiar e interesse social.

O Novo Código Florestal (Lei 12.651/2012) define os sistemas agroflorestais como sistemas de interesse social:

[..] b) a exploração agroflorestal sustentável praticada na pequena propriedade ou posse rural familiar ou por povos e comunidades tradicionais, desde que não descaracterize a cobertura vegetal existente e não prejudique a função ambiental da área; (Brasil, 2012).

A Lei 12.651/2012 também preconiza que o manejo agroflorestal é uma atividade de baixo impacto:

[..] j) exploração agroflorestal e manejo florestal sustentável, comunitário e familiar, incluindo a extração de produtos florestais não madeireiros, desde que não descaracterizem a cobertura vegetal nativa existente nem prejudiquem a função ambiental da área; (Brasil, 2012).

Além das alíneas citadas, o Novo Código Florestal também prevê para os agricultores familiares, no capítulo XII, a exploração econômica da Reserva Legal por meio de agroflorestas, destacando a obrigatoriedade da autorização prévia do órgão competente e vinculado ao Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) (Brasil, 2012).

A Política Florestal do estado do Piauí, instituída pela Lei 5.178/2000, em seu Art. 3º, preconiza os seus objetivos, entre eles o fomento ao manejo agroflorestal em seu território:

[..] IV - Fomentar a oferta de produtos florestais energéticos e não energéticos através do manejo florestal, agroflorestal e plantios de essências florestais de uso múltiplo, preferencialmente nativas, de maneira que estas ações associem-se ao modelo produtivo atual; (Piauí, 2000).

Destacando, assim, o papel do estado e o incentivo do mesmo na agricultura de base sustentável. No Art. 6º, que se trata da autorização de exploração florestal das áreas nativas, é afirmado que há a necessidade da apresentação de um Plano de Manejo Agroflorestal Sustentável (Piauí, 2000), onde o mesmo tem o seguinte objetivo:

[..] § 1º O plano de Manejo Florestal, Agroflorestal, Silvipastoril será projetado e executado com o objetivo de promover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas locais, e assegurar o meio ambiente ecologicamente produtivo e equilibrado, e será subscrito por técnico competente, com a devida anotação de responsabilidade técnica - ART; (Piauí, 2000).

Neste modo, cabe à Secretaria de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Piauí (SEMARH), instituída pela Lei 4.797/1995, fixar normas e parâmetros de apresentação do manejo agroflorestal no território piauiense.

A Lei Estadual 8095/2023 define as áreas semiáridas piauienses como Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD). É importante enfatizar que o manejo agroflorestal tem uma contribuição significativa no combate à desertificação de regiões semiáridas (Silva *et al.*, 2010).

Silva *et al.* (2010) também destacam que trabalhar com o sistema agroflorestal é um caminho para a qualidade de vida das comunidades semiáridas, pois ele é um sistema que integra produção, preservação ambiental e geração de renda.

3.4.1 Tipos de Sistemas Agroflorestais

Os SAFs podem ser constituídos por 3 componentes principais: as espécies lenhosas perenes (árvores, arbustos etc.), as culturas agrícolas e os animais (Miccolis *et al.*, 2016; Oliveira, 2022). As agroflorestas podem ser classificadas observando seus componentes e manejo.

A SOS Amazônia (2016) separa os SAFs em 4 tipos: os Silvipastoris, os Agrosilvipastoris, os Sistemas Agroflorestais Tradicionais e os Quintais Agroflorestais.

O sistema agroflorestal Silvipastoril (SASP) é constituído pelo arranjo espacial e/ou temporal entre os componentes arbóreos, plantas forrageiras e animais. Sua principal característica é a regulação do microclima dentro das áreas de pastagens (Neto, 2022), e a sua implantação é planejada observando a interação entre espécies florestais e manejo animal.

O sistema agroflorestal Agrossilvipastoril (SAFP) é caracterizado pela integração de diferentes sistemas de produção. Nele, são integradas espécies agrícolas, espécies arbóreas/florestais e animais (Barros, 2022); além disso, esse sistema é apresentado

para diferentes ambientes no contexto ecológico e geográfico, com destaque para as áreas semiáridas (Barros, 2022).

O sistema agroflorestal tradicional (SAF) combina o cultivo de culturas anuais, semiperenes e espécies arbóreas/florestais (SOS Amazônia, 2016). A sua combinação de espécies pode representar uma alternativa de estímulo econômico à restauração florestal e ambiental (Martins *et al.*, 2019).

Os quintais agroflorestais (SAQA) são um sistema muito semelhante ao sistema agroflorestal tradicional. Segundo a Fundação Amazônia Sustentável (FAS) (2020), este modelo de sistema visa à produção e consumo familiar; nele, podem ser usadas diferentes espécies com portes e funções, como: ervas para temperos, plantas medicinais, hortaliças, plantas alimentícias não convencionais (PANCs), legumes e tubérculos, espécies frutíferas e espécies ornamentais.

3.5 AGROFLORESTAS E SEQUESTRO DE CARBONO NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE

Sequestro de carbono é o processo de remoção de gás carbônico da atmosfera (Gonçalves, Medeiros e Matias, 2016). O solo é um dos maiores reservatórios terrestres de carbono (Broggio, 2018), e a estocagem de carbono pode ocorrer acima e abaixo do solo.

A matéria orgânica do solo (MOS) é um reservatório natural de carbono. Ela se divide em diferentes estágios de decomposição, de acordo com sua complexibilidade estrutural e solubilidade (Crespo *et al.*, 2024). O MOS é a principal fonte de macronutrientes e micronutrientes; além disso, ele atua indiretamente na disponibilidade dos elementos (Cotrufo *et al.*, 2019).

Os SAFs contribuem para a fixação do carbono e do nitrogênio do solo, destacando-se como um agrossistema eficaz na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (Brasil, 2012).

Algumas agroflorestas mais consolidadas chegam a acumular mais de 150 toneladas métricas por hectare na biomassa vegetal e em diversas espécies do bioma da caatinga (Gonçalves, Medeiros e Matias, 2016), destacando o potencial de estocagem de carbono por SAFs no semiárido e no bioma da Caatinga.

Também é importante destacar que, segundo o Observatório Nacional da Caatinga (ONC), a Caatinga é o bioma com o maior desempenho de sequestro de carbono entre os biomas brasileiros. De 100 toneladas métricas de CO₂ absorvidas por florestas secas na área semiárida do Brasil, 45 a 60 toneladas métricas não retornam para a atmosfera (Amâncio e Dantas, 2024), desta forma enfatizando a necessidade de realizar trabalhos que busquem quantificar o estoque de carbono neste bioma.

O potencial de acúmulo de biomassa de uma agrofloresta depende da sua composição de espécies e da densidade de plantio, enfatizando que espécies mais duras, como o angico, ipê e imburana, contém mais carbono e, conseqüentemente, possui mais potencial de estocagem (Gonçalves; Medeiros e Matias, 2016).

Santos (2023), em seu trabalho de conclusão de curso, avaliou uma agrofloresta localizada no cerrado brasileiro. Em suas conclusões, a agrofloresta estudada melhorou e aumentou o aporte de carbono na área; além disso, o mesmo destacou que esse sistema tem potencialidade na recuperação de área degradada com foco na mitigação das mudanças climáticas.

3.6 AGROFLORESTAS E ADAPTABILIDADE A SECA NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE

O semiárido brasileiro é o mais chuvoso do mundo, porém, as chuvas são concentradas em poucos meses e mais de 90% dessa água não é aproveitada devido ao alto índice de evaporação e evapotranspiração e ao escoamento superficial do solo (Baptista e Campos, 2013).

A área semiárida piauiense caracteriza-se como a região mais ricas em recursos hídricos subterrâneos em comparação com o semiárido nordestino e com o estados do polígono das secas (Lei 63.778/68; Lei 1.348/51) (Araújo; Souza; Silva, 2020). Também é importante destacar que a Bacia Hidrográfica do Parnaíba possui o maior potencial hídrico da região nordeste (Ana, 2015; Araújo; Souza; Silva, 2020).

O Decreto estadual nº 22.306/2023 declarou situação de emergência provocada pela estiagem em 86 municípios do Piauí, indicando o mau planejamento e mau uso dos recursos hídricos no estado, reforçando a ideia de que no semiárido não falta água, mas sim um sistema eficiente de planejamento e uso da água.

A seca no estado atualmente está afetando a produção agrícola, principalmente nos municípios localizados no semiárido:

CONSIDERANDO levantamento sistemático da produção agrícola realizado pelo IBGE, demonstrando que a safra no Estado, em especial nos municípios do semiárido, não foi ainda restabelecida na sua totalidade; (Piauí, 2023).

Neste mesmo decreto afirma que alguns municípios se encontram em situação de colapso devido a escassez de água:

CONSIDERANDO que alguns municípios do semiárido se encontram em situação de colapso de atendimento d'água para o consumo às populações de suas comunidades, inclusive nas Zonas Urbanas, conforme informações dos Prefeitos e das visitas *in loco* da Secretaria de Estado da Defesa Civil; (Piauí, 2023).

Conforme apresentado no Quadro 02, observa-se uma expansão progressiva no número de municípios piauienses reconhecidos oficialmente em situação de emergência por seca ao longo do período de 2024 a 2025. Esse crescimento, que representou a ampliação de áreas críticas de 38 para 129 municípios em apenas 15 meses, reflete o agravamento das condições climáticas e hídricas no estado, especialmente nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Norte.

Quadro 02: Expansão municipal no estado do Piauí em situação de emergência por seca (2024-2025).

2024 (Fev): 38 municípios ¹ >>> 2024 (Jul): 96 municípios ² >>> 2025 (Abr): 129 municípios ³

Legenda: ¹: Dec. n° 22.756/2024; ²: Dec. n° 23.123/2024; ³: Dec. n° 23.699/2025.

Fonte: Decretos Estaduais n° 22.756/2024, n° 23.123/2024 e n° 23.699/2025.

Elaboração: Autor (2025), com base nos documentos oficiais.

É importante frisar que o Dec. n° 23.699/2025 não apenas reconhece formalmente 129 municípios piauienses em situação de emergência por seca, como também afirma a sua ocorrência em todo o território do estado:

CONSIDERANDO a ocorrência de secas em todo o território devido à irregularidade das chuvas e à redução dos volumes hídricos em barreiros, rios e riachos, especialmente na região centro-norte, na divisa com o estado do Ceará, bem como nos municípios das mesorregiões sudoeste e, sobretudo, sudeste, além das perdas agrícolas enfrentadas pelos pequenos produtores, constata-se a configuração da seca verde, com intensidades variando entre moderada e grave em 129 municípios; (Piauí, 2025).

Deste modo, observando que os municípios do semiárido piauiense estão suscetíveis à estiagem e à seca, e outros estão em situação de colapso (Dec. 23.519/2025), torna-se necessário a busca por sistemas de manejo com resistência à escassez de água.

Silva *et al.* (2010) afirmam que o manejo agroflorestal é um sistema com uma maior retenção de água, pois as espécies florestais retêm água nas folhas, galhos e frutos. Outra parte da água é introduzida no solo pelas suas raízes; além disso, a biomassa (podas e cobertura vegetal) protege o solo e retém água no mesmo. Assim, pode-se afirmar que a agrofloresta diminui significativamente a perda de água e a taxa de evapotranspiração.

Os SAFs promovem o uso eficiente da água e dos nutrientes por proporcionar, através do seu manejo, um sistema capaz de distribuição e compartilhamento desses recursos em seu interior (Bayala e Pietro, 2019).

Morais (2022) demonstrou, em sua pesquisa, a eficiência da retenção e o aumento do teor de umidade do solo nas agroflorestas em comparação com sistemas de monocultivo e na área de vegetação nativa, tendo uma superioridade de 30% em comparação com as outras áreas.

A compreensão do evapotranspiração (ET) e de balanço hídrico do solo é algo essencial para otimizar o manejo agroflorestal e melhorar a eficiência do uso da água em ambientes e área com limitação hídrica (Wang *et al.*, 2021). Em regiões semiáridas, como o Piauí, onde a água é um limitante de produção, a compreensão desses processos é essencial para otimizar o uso da água e garantir a sustentabilidade.

Perez-Marin e Menezes (2008) afirmam que as agroflorestas são um sistema estratégico de uso sustentável do solo e da água em regiões semiáridas. Nos SAFs, a combinação de espécies influencia diretamente na taxa de evapotranspiração, contribuindo com um microclima mais estável e úmido.

3.7 AGROFLORESTAS NA PROMOÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Os ecossistemas são compreendidos como um complexo de seres vivos e características ambientais onde os processos ecológicos são responsáveis pelo

funcionamento dos sistemas ambientais e pela produção de serviços ecossistêmicos (Santos *et al.*, 2018 *apud* Pivoto *et al.*, 2022).

Os serviços ecossistêmicos (SEs) são benefícios fundamentais para a sociedade gerados por ecossistemas em termos de recuperação, manutenção e melhoria das condições ambientais (Brasil, 2021). Eles são classificados em quatro modalidades:

a) **serviços de provisão**: os que fornecem bens ou produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, madeira, fibras e extratos, entre outros; (Brasil, 2021, grifo meu).

b) **serviços de suporte**: os que mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, a polinização, a dispersão de sementes, o controle de populações de potenciais pragas e de vetores potenciais de doenças humanas, a proteção contra a radiação solar ultravioleta e a manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético; (Brasil, 2021, grifo meu).

c) **serviços de regulação**: os que concorrem para a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, tais como o sequestro de carbono, a purificação do ar, a moderação de eventos climáticos extremos, a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico, a minimização de enchentes e secas e o controle dos processos críticos de erosão e de deslizamento de encostas; (Brasil, 2021, grifo meu).

d) **serviços culturais**: os que constituem benefícios não materiais providos pelos ecossistemas, por meio da recreação, do turismo, da identidade cultural, de experiências espirituais e estéticas e do desenvolvimento intelectual, entre outros; (Brasil, 2021, grifo meu).

Silva *et al.* (2021) destacam a importância do equilíbrio entre a conservação ecossistêmica e a produção de bens e serviços. Portanto, é importante enfatizar a necessidade de se produzir através de sistemas de base sustentável, alinhando a subsistência com a conservação. A agrofloresta, nesse contexto, é vista como uma alternativa sustentável aos sistemas agrícolas tradicionais, promovendo a biodiversidade, a fertilidade do solo e a resiliência dos ecossistemas.

Os sistemas agroflorestais têm uma contribuição na produção de diversos SEs, tais como os serviços de provisão: alimento, combustível e matéria-prima; serviços culturais: estética da paisagem, uso recreativo e religioso; e serviços de regulação e suporte: conservação da biodiversidade, sequestro de carbono, produção de biomassa, ciclagem de nutrientes e melhoria da qualidade do ar e água (Nair, 1993; MEA, 2005; Schwab *et al.*, 2015; Goulart, 2020).

É importante ressaltar que, devido à natureza dos SAFs, a produção de SEs é contínua nestes sistemas, assemelhando-se a ambientes naturais (Silva, 2023), diferentemente dos sistemas agrícolas tradicionais, que muitas vezes dependem de insumos externos e apresentam sazonalidade na produção. Os SAFs oferecem uma produção mais estável e diversificada de SEs ao longo do ano.

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

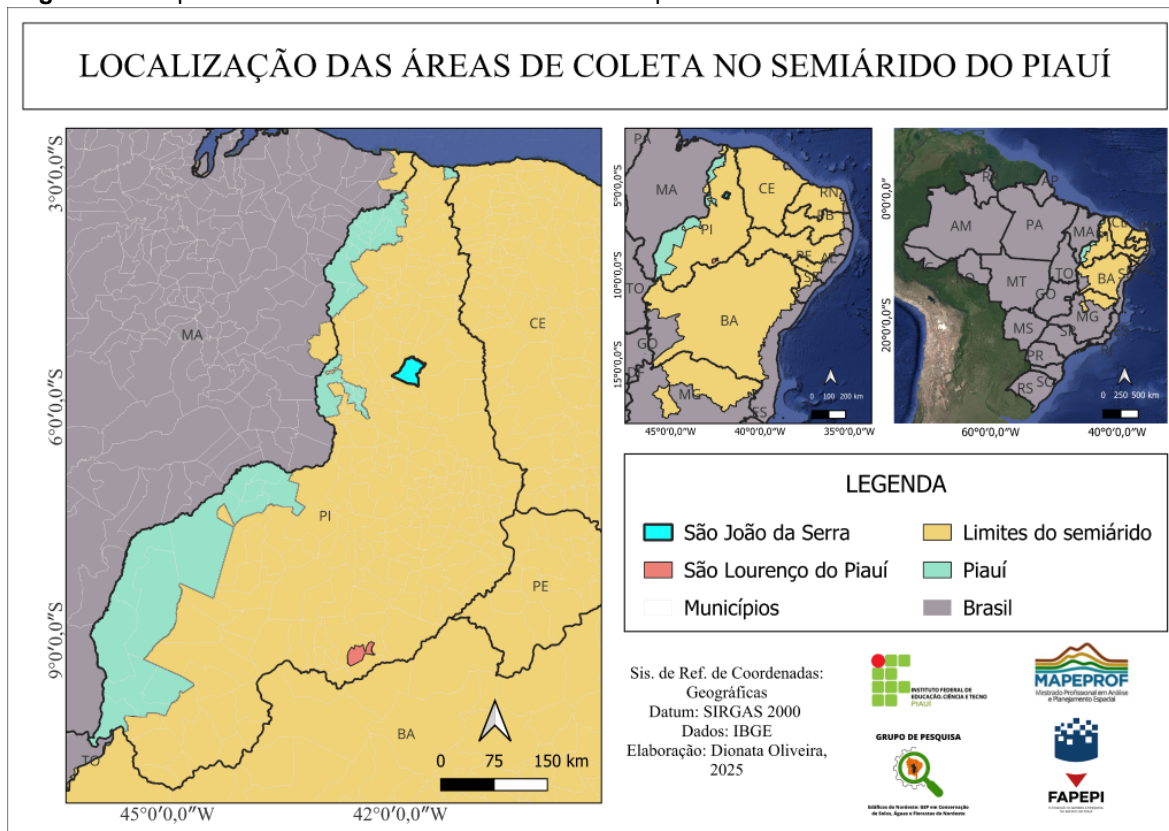
O estado do Piauí está localizado no Nordeste Brasileiro, sendo uma área de ecótono entre a Caatinga e o Cerrado (Salomão *et al.*, 2019). O perfil climático do estado é marcado pelo padrão sazonal de chuvas intensas no verão e no outono, e o inverno representa a estação seca, com temperaturas elevadas (Tinôco *et al.*, 2018; Salomão *et al.*, 2019). Segundo o Censo Agropecuário (2017) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Piauí tem a área mais ocupada por agricultura não familiar; isso pode ser um reflexo do avanço do MATOPIBA no estado, e este avanço pode ser um intensificador de desertificação.

Santiago, Sales e Paula (2013) afirmam que cerca de 10,95% do território piauiense apresenta algum nível de degradação e cerca de 67% dos municípios são suscetíveis a algum processo de desertificação, destacando a importância de manejo de base ecológica dentro do território semiárido do estado. A área semiárida e a caatinga piauiense é uma região naturalmente seca (Espindola *et al.*, 2021) (Figura 01), ocorrendo secas e estiagens anualmente. Além disso, o aumento e a mudança do uso da terra e a pouca quantidade de áreas protegidas aumenta o nível de ameaça da região (Espindola *et al.*, 2021).

No território semiárido piauiense, foram estudadas quatro agroflorestas localizadas em duas macrorregiões (MRR). A primeira delas é o SAF Belém, situado na macrorregião Meio-Norte, no Território de Desenvolvimento (TD) Carnaubais (TD C), dentro do Aglomerado (AG) 6, no município de São João da Serra (PI). As demais agroflorestas (SAF 16, SAF Sabiá e SAF 22) estão localizadas na macrorregião

Semiárido, no Território de Desenvolvimento Serra da Capivara (TD SC), pertencente ao Aglomerado 20, no município de São Lourenço do Piauí (PI) (Figura 01).

Figura 01: Mapa com os limites do semiárido e os municípios onde estão situados os SAFs analisados.



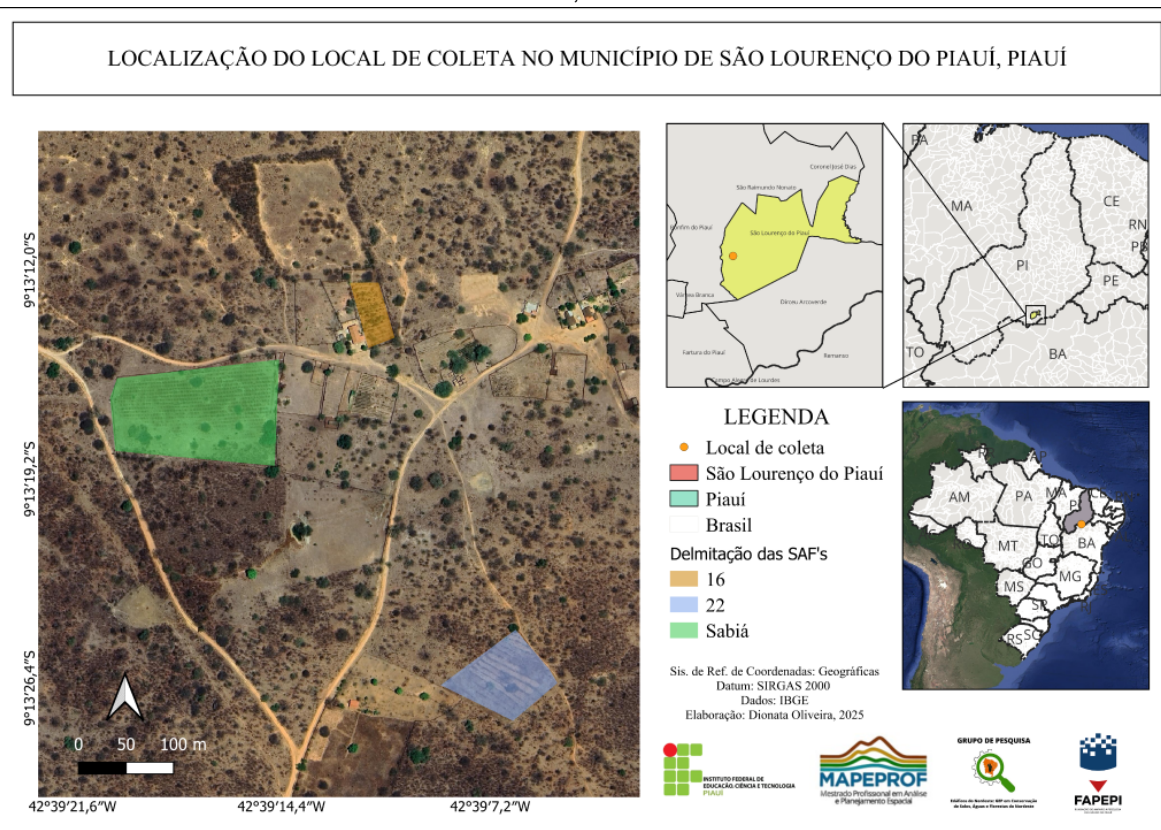
Fonte: Autor (2025).

O TD SC é caracterizado pelo domínio da caatinga na região e por seu clima semiárido (Espindola *et al.*, 2021). Já no aglomerado 20, destaca-se a qualidade da água subterrânea, que em sua grande maioria está salobra ou salgada (Aguar e Gomes, 2004). Os SAFs (SAF 16, SAF Sabiá e SAF 22) estão localizados nesse território, compartilhando dessas características; além disso, é importante frisar que os mesmos também estão localizados no Território Comunidade Quilombola Lagoa (TCQL).

O TCQL é o quarto maior território quilombola do país em extensão e em número de famílias (Faria, 2016). É o maior quilombo do Piauí (Santana e Martins, 2024), e o seu território é marcado pela cultura da apicultura, tendo a movimentação de mais de 2 milhões de reais só com a comercialização do mel (Freire, 2018). Atualmente, a

atividade apícola do quilombo está ameaçada pelos projetos de estrada de ferro (Farias, 2016). No município de São Lourenço do Piauí, todos os Sistemas Agroflorestais selecionados estão localizados dentro dos limites desse território quilombola (Figura 02).

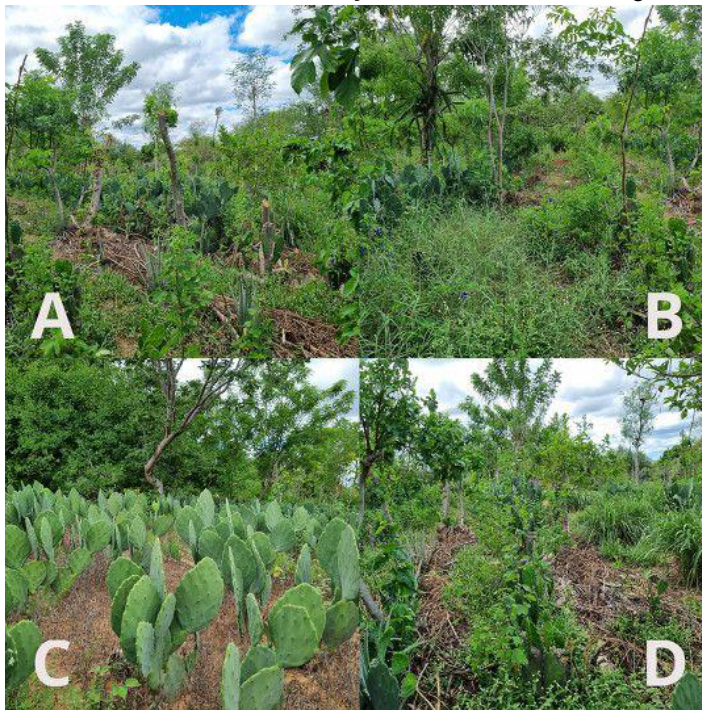
Figura 02: Mapa de localização dos sistemas agroflorestais localizados no município de São Lourenço do Piauí, Piauí.



Fonte: Autor (2025).

O SAF 16 ($9^{\circ} 13' 12.75''$ S, $42^{\circ} 39' 11.47''$ W) (Figura 03), localizado na comunidade da Onça, no território do TCQL, tem 9 anos de idade e é uma agrofloresta de agrossilvicultura. Esse modelo promove o manejo consorciado de múltiplas espécies arbóreas, sejam elas exóticas e/ou nativas, com variedades agrícolas (Weihs *et al.*, 2025). Já o manejo dele é caracterizado por ser de sequeiro, devido à salinidade e à escassez hídrica no local (CPRM, 2004).

Figura 03: SAF 16 em São Lourenço do Piauí, Quilombo Lagoa- Piauí.



Fonte: Autor (2025).

Já o SAF Sabiá (9° 13' 15.71" S, 42° 39' 16.40" W) (Figura 04) é um sistema do tipo silvipastoril com o pastejo de cabras (**Capra aegagrus hircus**). Ele possui 5 anos de implementação e, no seu manejo, não há poda e, devido ao pasto, há uma grande quantidade de esterco no chão. Farias (2020) analisou a eficácia do modelo silvipastoril na Caatinga pernambucana na contribuição do aumento de rebrotas para produção de lenha, tendo como resultado que o sistema apresentou uma eficácia no aumento de rebrotas e na frequência das mesmas, assim mostrando a eficiência desse tipo de manejo na Caatinga.

Figura 04: SAF Sabiá em São Lourenço do Piauí, Quilombo Lagoa - Piauí.



Fonte: Autor (2025).

O SAF 22 (9° 13' 25.1" S, 42° 39' 06.3" W) (Figura 05) é um manejo de agrossilvicultura; assim como os demais SAFs localizados em São Lourenço do Piauí, ele está localizado no domínio da Caatinga do Cristalino, e tem 3 anos de implantação. Também é um SAF de sequeiro, mas, diferente do SAF 16, nele não há poda no seu manejo.

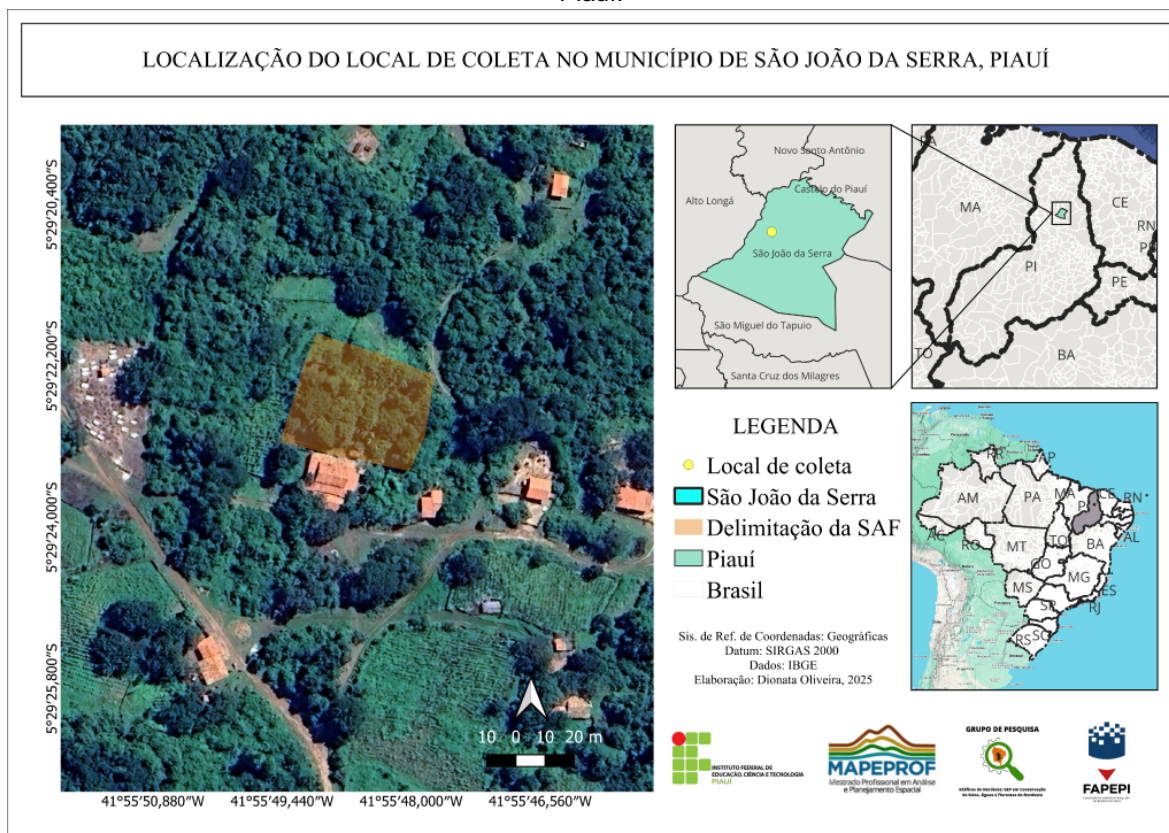
Figura 05: SAF 22 em São Lourenço do Piauí, Quilombo Lagoa- Piauí.



Fonte: Autor (2025).

O Território de Desenvolvimento Carnaubais tem seu clima caracterizado principalmente como semiárido (Lima, 2007); sua vegetação é caracterizada por ser de ecótono Cerrado-Caatinga (Carvalho, 2019). O SAF Belém está localizado neste território e no município de São João da Serra, Piauí (Figura 06), sendo a única agrofloresta estudada fora do TD SC e a única agrofloresta analisada em território de ecótono.

Figura 06: Mapa de localização do sistema agroflorestal localizado no município de São João da Serra, Piauí.



Fonte: Autor (2025).

Inserida no domínio das Savanas da Caatinga, a agrofloresta SAF Belém ($5^{\circ}29'23.50''$ S, $41^{\circ}55'48.62''$ W) (Figura 07) adota o modelo agrossilvicultural, devido às condições de escassez hídrica características da região. Com quatro anos de implantação, o sistema opera em regime de sequeiro e seu manejo é baseado no corte de podas de corte e no pousio, visando à manutenção da fertilidade do solo e à resiliência ecológica do sistema.

Figura 07: SAF Belém em São João da Serra, Comunidade Belém - Piauí.



Fonte: Autor (2025).

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa foi construída com base em levantamento bibliográfico e em caráter exploratório com avaliação de campo e laboratório. A pesquisa bibliográfica (PB) e documental (PD) constituem na base teórica e metodológica do projeto. A PB teve como base bancos de dados, tais como: Lens, Scopus, Scielo, Web of Science e Google Scholar, além de repositórios institucionais e bibliotecas digitais, objetivando a identificação de teses, dissertações e trabalhos acadêmicos em geral.

Já a PD teve seu foco em documentos e relatórios institucionais de órgãos públicos, como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí (SEMARH-PI) entre outros.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram estudadas agroflorestas por meio de uma pesquisa exploratória investigativa, onde foram utilizados 4 SAFs localizadas

dentro do Semiárido Piauiense, considerando os municípios de São Lourenço do Piauí (SLP) e São João da Serra (SJS) conforme apresentado no Quadro 03.

Quadro 03: Relação das Agroflorestas Selecionadas.

São Lourenço do Piauí/PI	São João da Serra/PI
Fazenda Agroecológica Xique-Xique: SAF 16; SAF SABIÁ SAF 22	Fazenda Belém: SAF BELÉM

Fonte: Autor (2026).

A análise avaliou as agroflorestas usando o princípio da sazonalidade, com coletas no período chuvoso (PC) e seco (PS) (Quadro 04).

Quadro 04: Relação das coletas nos períodos analisados.

MUNICÍPIO	PERÍODO E DATA
São Lourenço do Piauí/PI	PC: 04/05/2025 / PS: 07/03/2026
São João da Serra/PI	PC: 24/05/2025 / PS: 08/04/2026

Fonte: Autor (2026).

Foram coletados material para as análises de solos nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, sendo importante destacar que para nível comparativo foi coletado material na mata nativa mais próxima.

As amostras foram retiradas com pá e acondicionadas em sacos plásticos. Na análise as amostras foram destorroadas, secas e passadas em peneiras de 2 mm para análise química do solo. O pH foi determinado em água (1:2,5) por potenciometria. A acidez trocável (Al+3) foi extraída com KCl 1 mol L⁻¹ e quantificada por titulometria com NaOH 0,025 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997). O fósforo e o potássio foram extraídos com Mehlich I e medidos por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente. Cálcio e magnésio foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica. O nitrogênio total foi avaliado por digestão sulfúrica e destilação Kjeldhal (Bremner *et al.*, 1982). O carbono orgânico total foi quantificado por oxidação via úmida, utilizando dicromato de potássio em meio ácido e fonte externa de calor (Yeomans & Bremner, 1988).

As amostras e dados coletados permitiram realizar análises de caracterização e classificação do solo, quantificação de estoques de carbono, avaliação da fertilidade química, análise da umidade do perfil do solo.

A coleta de dados é apoiada por uma micro estação meteorológica instalada na área de estudo, responsável pelo registro contínuo de variáveis climáticas como precipitação, temperatura, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento. Esses parâmetros são integrados às análises de solo e vegetação, possibilitando compreender como o microclima influencia os processos de evaporação e infiltração. Dessa forma, a pesquisa busca estabelecer uma linha de base de dados primários que permitirá comparar o desempenho hídrico entre os SAFs, a Caatinga em condição nativa e os sistemas de manejo tradicionais.

Caracterizar um SAF vai além de identificar seus componentes, como árvores, culturas agrícolas e animais. É importante observar as práticas de manejo utilizadas, as suas relações e conexões e qual a finalidade por trás da organização dos elementos do sistema produtivo (Steenbock, Vezzani e Leme, 2023).

Os dados obtidos nas análises laboratoriais das amostras dos SAFs e das áreas de Mata Nativa foram organizados em planilha eletrônica e posteriormente processados em ambiente Python, utilizando o Google Colaboratory (Google Colab). O banco de dados foi inicialmente submetido a procedimentos de conferência, padronização dos nomes das variáveis, classificação das variáveis categóricas e conversão das variáveis quantitativas para formato numérico. Foram consideradas as informações referentes ao sistema de uso da terra, período de avaliação, parcela, profundidade do solo e atributos químicos analisados.

Inicialmente, foi realizada uma análise exploratória e descritiva dos dados, contemplando número de observações (n), média, desvio-padrão, erro-padrão, mediana, valores mínimo e máximo e coeficiente de variação. Para o carbono do solo (C), as estatísticas foram calculadas considerando-se o conjunto geral dos dados e os agrupamentos por sistema, período e profundidade, bem como pelas combinações entre sistema, período e profundidade. Essa etapa teve como finalidade caracterizar a distribuição dos dados e identificar a variabilidade dos atributos avaliados entre os diferentes ambientes e condições de amostragem.

Para investigar as relações lineares entre os atributos químicos do solo, foi calculada a matriz de correlação de Pearson. Foram consideradas as variáveis C, pH, Ca, Mg, Na, K, H+Al, Al, soma de bases (S), capacidade de troca de cátions (T), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), porcentagem de sódio trocável (PST), fósforo (P), nitrogênio (N), relação C/N, matéria orgânica (MO) e condutividade elétrica (CE). Para cada par de variáveis foram obtidos o coeficiente de correlação de Pearson (r) e o respectivo valor de probabilidade (p), permitindo avaliar a intensidade e a direção das associações lineares entre os atributos do solo.

A estrutura multivariada dos atributos químicos foi investigada por meio de análise de agrupamento hierárquico. Para essa análise, foram utilizadas as variáveis C, pH, Ca, Mg, Na, K, H+Al, Al, S, T, V, m, PST, P e CE. Os dados foram previamente padronizados por transformação em escore-z, de modo a colocar as variáveis em uma escala comparável, independentemente de suas unidades de medida e amplitudes. A similaridade entre as observações foi avaliada por distância euclidiana e o agrupamento foi realizado pelo método de Ward. A definição dos agrupamentos foi realizada a partir do procedimento de corte da árvore hierárquica, permitindo identificar a formação de grupos com características químicas semelhantes.

Também foi realizada análise de componentes principais (PCA) com o objetivo de reduzir a dimensionalidade do conjunto de atributos químicos e identificar os principais gradientes responsáveis pela variabilidade dos solos avaliados. Foram utilizadas as variáveis C, pH, Ca, Mg, Na, K, H+Al, Al, S, T, V, m, PST, P e CE. Antes da aplicação da PCA, os dados foram padronizados por escore-z utilizando o procedimento `StandardScaler`, evitando que variáveis com maior magnitude numérica exercessem influência desproporcional sobre a análise.

A PCA foi realizada a partir da matriz de dados padronizados, sendo obtidos os autovalores, a porcentagem de variância explicada e a variância acumulada por componente. Para interpretação das componentes, foram calculadas as cargas fatoriais, a contribuição relativa de cada variável para as componentes e o coeficiente de qualidade de representação. A interpretação dos resultados considerou principalmente as duas primeiras componentes principais, além da variância acumulada

pelos componentes subsequentes, permitindo avaliar a contribuição dos atributos químicos para a diferenciação dos sistemas estudados.

Para complementar a avaliação dos sistemas agroflorestais, foi realizada uma análise comparativa entre cada SAF e a respectiva área de Mata Nativa considerada como referência espacial. Foram estabelecidas as correspondências entre o SAF Belém e a Mata Nativa de São João da Serra, e entre os SAFs 16, 22 e Sabiá e a Mata Nativa de São Lourenço do Piauí. Essa etapa considerou os atributos C, pH, Ca, Mg, Na, K, H+Al, Al, S, T, V, m, PST, P e CE, permitindo avaliar comparativamente o comportamento dos atributos edáficos nos sistemas agroflorestais em relação às áreas de referência.

As análises foram executadas em Python, com utilização de bibliotecas específicas para manipulação dos dados, estatística, análise multivariada, aprendizado de máquina e representação gráfica, incluindo `pandas`, `numpy`, `scipy`, `scikit-learn` e `matplotlib`. Os resultados foram organizados em tabelas, matrizes, dendrogramas e gráficos multivariados, posteriormente utilizados na interpretação dos padrões de variação dos atributos químicos e do carbono do solo entre os sistemas avaliados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RELATÓRIO DE CAMPO

O campo relacionado a mata nativa e aos SAFs localizados na cidade de São Lourenço do Piauí/PI aconteceu nos dias 04/05/2025 (PC) e 07/03/2026 (PS). Durante o campo foram coletadas 4 amostras de solos nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm em cada área (Figura 08).

Figura 08: Sistemas Agroflorestais: A e D - SAF Sabia; B e E - SAF 16; C e F - SAF 22.



Fonte: Autor (2025).

Já o campo da cidade de São João da Serra/PI aconteceu do dia 24/05/2025 (Figura 09), foram realizadas as mesmas coletas dos demais.

Figura 09: Coletas SAF Belém: A, B e C - Coleta de solo; D - Solo do SAF

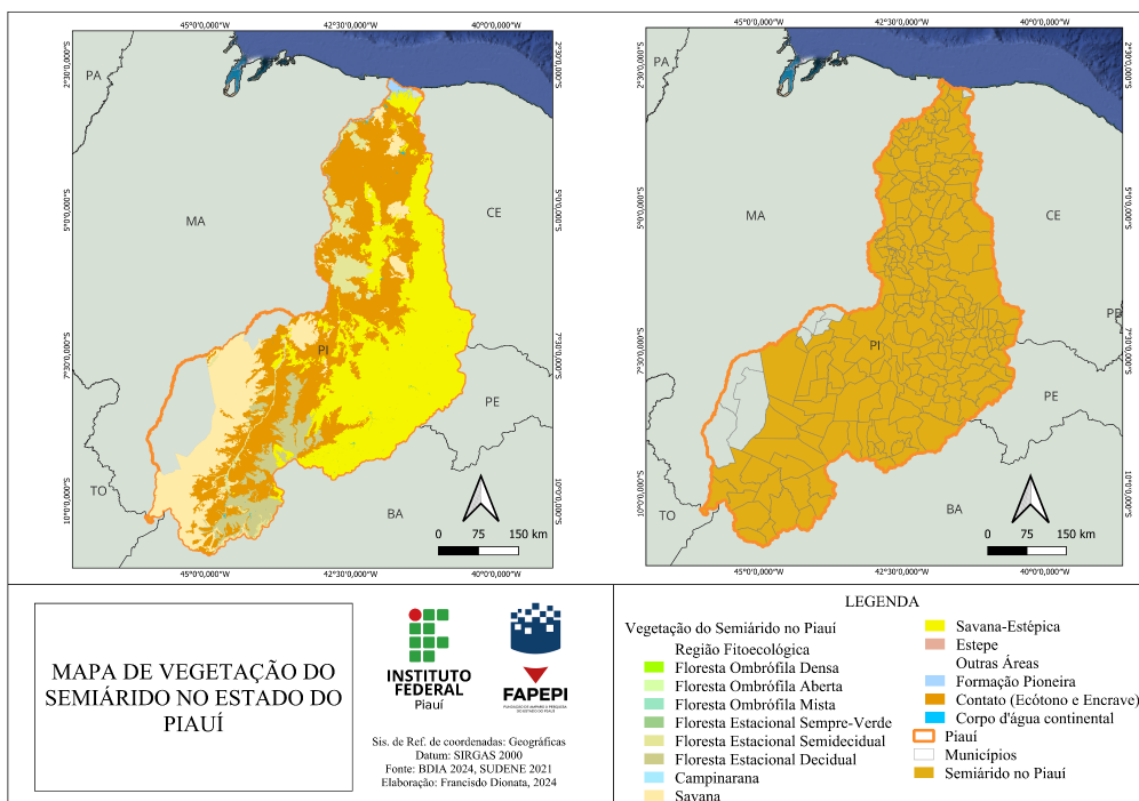


Fonte: Autor (2025).

5.2 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA SEMIÁRIDA PIAUIENSE

A cobertura vegetal do semiárido piauiense apresenta elevada heterogeneidade, refletindo sua posição de transição entre os domínios da Caatinga e do Cerrado. As suas principais formações vegetais são os Cerrados, Caatingas, transição Cerrado-Caatinga, floresta semidecídua, transição floresta semidecídua-cerrados e vegetação litorânea (Piauí 2005; Sousa, 2018; Sousa, 2023). Os dados disponibilizados pelo Banco de Dados e Informações Ambientais (BDiA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) enfatiza a predominância da Savana-Estépica, Contato (zona de ecótono) e Savana (Figura 10), as savanas podem e são consideradas por muitos autores como regiões de caatingas (Silva *et al.*, 2013) destacando a grande extensão deste bioma no semiárido do Piauí.

Figura 10: Mapa de vegetação da região semiárida do Piauí.



Fonte: BDIA, 2024; SUDENE, 2021; Autor, 2025.

No município de São João da Serra (PI) predomina a fitofisionomia de Savana-Estépica Parque e áreas de ecótono Cerrado–Caatinga, enquanto em São Lourenço do Piauí (PI) às formações de Savana-Estépica Arborizada e Savana-Estépica Arbustiva predominam (BDiA, 2023). A vegetação do tipo savânica e ecotonal apresentam uma elevada diversidade florística e vegetacional (Nepomuceno, 2021) desempenhando papel essencial na manutenção de serviços ecossistêmicos e na resiliência frente às variações climáticas.

A diversidade fitofisionômica observada no semiárido piauiense possui implicações diretas para o manejo agroflorestal. Enquanto nas áreas de Caatinga a adoção de espécies nativas é fundamental para a sustentabilidade ecológica e a adaptação ao déficit hídrico, nas regiões de transição com o Cerrado há maior plasticidade ecológica para a integração de espécies arbóreas de maior porte e frutíferas tropicais, o que pode ampliar a capacidade de sequestro de carbono.

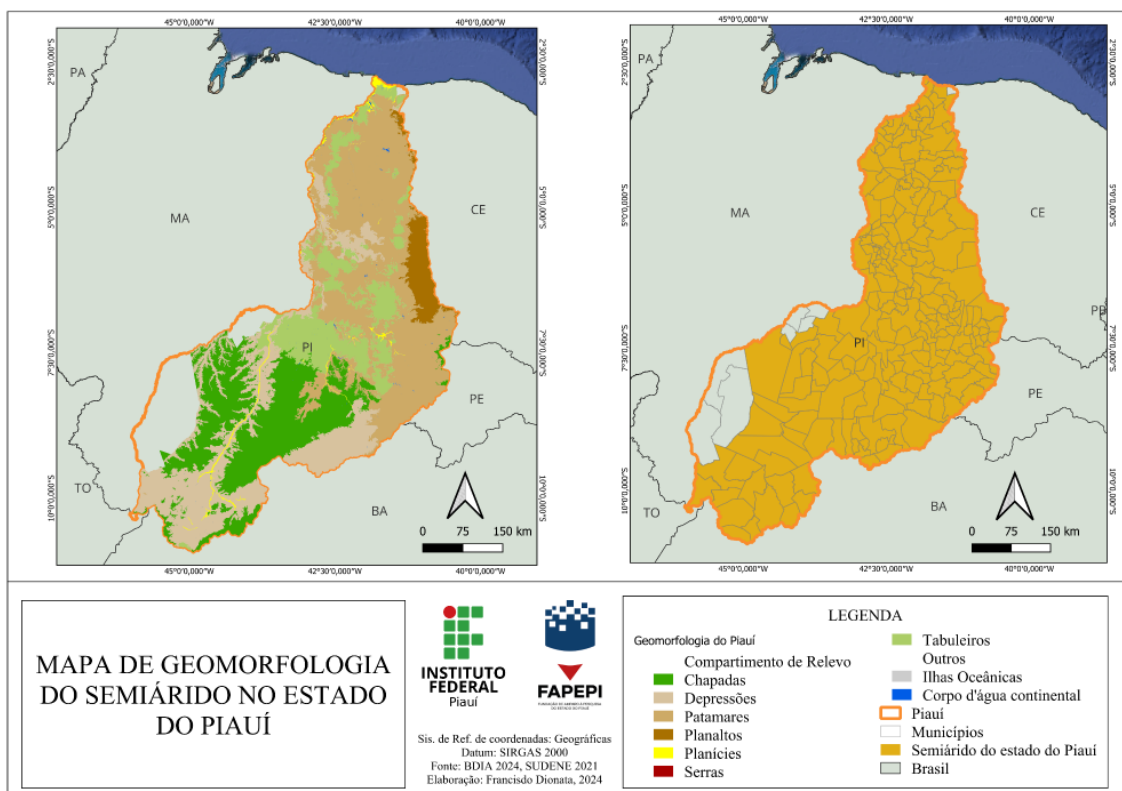
Por conta de sua posição geográfica o Piauí é considerado uma típica zona de transição climática entre o Nordeste semiárido e a Amazônia úmida (Lima *et al.*, 2020), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as Linhas de Instabilidade Tropical (LIT) são os sistemas climáticos que têm atuação no estado (MMA/SRH, 2006; Lima *et al.*, 2020).

No trabalho de Novais (2019) o mesmo classifica a área semiárida piauiense Zona Climática Tórrida, essa zona tem uma alta incidência solar anual (Sol próximo do zênite durante todo ano) (Novais, 2017), além disso o autor enfatiza duas subdivisões específicas o subdomínio equatorial seco nordestino e o subdomínio equatorial semiseco nordestino, nesse sentido a área de estudo possui longos períodos de estiagem e alta evapotranspiração devido a influência de sua zona climática.

Lima e Junior (2020) definem o estado do Piauí como dois regimes de precipitação o equatorial marítimo (EM) e o equatorial continental (EC), segundo os mesmos o EM se caracteriza pela grande capacidade de penetração de massas de ar, atingindo altitudes elevadas e pela instabilidade atmosférica, além da presença frequente de nuvens convectivas, que têm grande influência na redução da radiação solar desse modo explica a variação de temperatura do estado. Já o EC ocorre antes do regime anterior sua maior influência é na bacia do canindé e ele é condicionado pela massa amazônica úmida e instável (Lima e Junior, 2020).

As depressões é um tipo de relevo com maior proeminência nas áreas semiáridas brasileiras (Ab'Sáber, 1956; Diniz, 2024), também observa-se a forte presença de patamares, chapadas, planaltos, planícies e serras, situação semelhante com outras áreas semiáridas do Brasil (Figura 11).

Figura 11: Mapa geomorfológico do semiárido piauiense.



Fonte: BDIA, 2024; SUDENE, 2021; Autor, 2025.

Os Patamares do Parnaíba e Vãos do Médio Parnaíba são as unidades geomorfológicas mais presentes no município de São João da Serra (PI), em São Lourenço do Piauí (PI) predominam a Depressão de São Raimundo Nonato (BDIA, 2023).

Os patamares aparecem associados a vales fluviais e áreas de deposição aluvial (Figura 11). Essa característica tende a possuir maior disponibilidade hídrica e solos relativamente mais férteis (IBGE, 2009), o que os torna estratégicos para práticas de irrigação e para o estabelecimento de agroecossistemas de maior diversidade.

Nas depressões localizadas em áreas semiáridas uma de sua principal característica é a presença de solos poucos profundos (Filho *et al.*, 2022) assim essas áreas apresentam limitações agrícolas, mas sustentam atividades agroextrativistas tradicionais e sistemas agroflorestais adaptados às condições hídricas restritas.

Do ponto de vista agroflorestal, a geomorfologia do semiárido piauiense exerce influência direta sobre a capacidade de retenção de água, a disponibilidade de nutrientes e a resiliência dos sistemas produtivos. Áreas de depressão e patamares, podem funcionar como zonas preferenciais para implantação de SAFs voltados à convivência com a seca, enquanto os ambientes de chapada exigem práticas de manejo conservacionista mais intensivas para evitar processos erosivos.

A caracterização do semiárido piauiense reforça sua semelhança com outras regiões semiáridas do Brasil, evidenciando a predominância de padrões semelhantes de vegetação e geomorfologia.

5.3 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DOS SAFs ESTUDADOS

O SAF 16 também conhecido como AgroCaatinga localizado na Fazenda Agroecológica Xique Xique é a agrofloresta mais antiga e mais consolidada estudada neste trabalho. Seu manejo e estrutura é ideal para ser usado como inspiração para replicação em áreas semiáridas (Quadro 05).

Quadro 05: Matriz de manejo do SAF 16 em São Lourenço do Piauí, Quilombo Lagoa- Piauí.

INFORMAÇÕES GERAIS DO SAF 16						
TIPO	ESTÁGIO E IDADE	BIOMA	TIPO DE CAATINGA	CLIMA	TAMANHO	FILEIRAS
Agrossilvicultura	Secundária 2 e 9 anos	Caatinga	Caatinga do Cristalino	Semiárido	0,7 ha	5 metros
DETALHAMENTO DAS ESPÉCIES MANEJADAS						
FORRAGEM E PRODUÇÃO DE BIOMASSA						
Nativas	1. Ipê (<i>Handroanthus Mattos</i>).					
Exóticas	1. Moringa (<i>Moringa oleifera Lam.</i>); 2. Gliricídia (<i>Gliricidia sepium (Jacq.) Kunth ex Walp.</i>); 3. Leucena (<i>Leucaena Benth.</i>); 4. Palma (<i>Opuntia Mill.</i>); 5. Feijão-guandu (<i>Cajanus cajan (L.) Millsp.</i>).					
FRUTÍFERAS						
Nativas	1. Umbuzeiro (<i>Spondias tuberosa Arruda</i>) 2. Fruta-do-conde (<i>Annona squamosa L.</i>)					

	3. Caju (<i>Anacardium occidentale</i> L.) 4. Seriguela (<i>Spondias purpurea</i> L.) 5. Umburana-de-cheiro (<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.) 6. Sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.) 7. Pau-ferro (<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz)
Exóticas	1. Acerola (<i>Malpighia emarginata</i> DC.).
MANEJO • Não há irrigação devido à salinidade da água local; • Poda de sucessão e cobertura vegetal; • Adota-se o modelo de irrigação de salvação; • Foi utilizado esterco na implantação.	

Fonte: Autor (2025).

Segundo Martins (2022), o SAF 16 tem contribuído com a resiliência ambiental local, onde o mesmo aponta a agrofloresta como uma referência de agricultura preservacionista, para o semiárido. O seu manejo é caracterizado por seu um SAF de que não há irrigação convencional. Se é utilizado o modelo de irrigação de salvação, a vantagem de se usar esse modelo é a redução do risco de perda da produção em áreas semiáridas conforme destacado por Brito, Cavalcante e Silva (2014).

Na produção de biomassa, espécies exóticas predominam. Gonçalves, Cruz e Reis (2017) corroboram essa observação, afirmando que o manejo de espécies exóticas é o mais frequente em áreas agroflorestais no Brasil. É importante destacar que a vegetação natural da caatinga é pouco densa (Silva, 2022), dificultando o manejo dessas espécies em agroecossistemas como os SAFs.

O manejo de nativas aumenta a tolerância à seca de uma agrofloresta, já que as espécies nativas do bioma caatinga são altamente adaptadas às condições semiáridas e a ambientes sazonalmente secos (Souza, 2020). Nesta linha de pensamento, o SAF 16 tem uma alta adaptação a seca do semiárido piauiense.

Outra área analisada neste trabalho é o modelo silvipastoril Sabiá (Quadro 06), por se tratar de uma SASP não há manejo de espécies alimentícias. Este tipo de sistema melhora as condições ambientais das pastagens, além do conforto térmico através do sombreamento das espécies vegetais (Figueiredo, 2022).

Quadro 06: Matriz de manejo do SAF Sabiá em São Lourenço do Piauí, Quilombo Lagoa- Piauí.

INFORMAÇÕES GERAIS DO SAF SABIÁ
--

TIPO	ESTÁGIO E IDADE	BIOMA	TIPO DE CAATINGA	CLIMA	TAMANHO	FILEIRAS
Silvipastoril	Secundária 1 e 5 anos	Caatinga	Caatinga do Cristalino	Semiárido	-	4 metros
DETALHAMENTO DAS ESPÉCIES MANEJADAS						
PASTAGEM						
Cabra (<i>Capra aegagrus hircus</i>)						
ESPÉCIES ARBÓREAS						
Sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia Benth.</i>).						
OBSERVAÇÕES DE MANEJO • Devido a pastagem há uma grande quantidade de esterco no solo de todo o sistema; • Não há poda.						

Fonte: Autor (2025).

O Sabiá é uma espécie vegetal que desempenha papel importante na dinâmica ecológica e produtiva de sistemas de base sustentáveis. Segundo Lima (2023), áreas dominadas por sabiá apresentam uma maior atividade biológica do solo, com destaque para a decomposição intensificada da matéria orgânica no solo, o que contribui para a ciclagem de nutrientes. Essa característica, aliada à sua elevada adaptabilidade a diferentes condições edáficas e climáticas, torna a espécie amplamente utilizada em programas de restauração ecológica (Muniz, Felix e Silva, 2024), assim como em agroecossistemas diversos.

Além do papel ecológico, o sabiá tem valor estratégico em sistemas produtivos. Almeida *et al.* (2014) destacam sua contribuição em sistemas silvipastoris, tanto para a alimentação animal quanto para a diversificação da matriz energética no meio rural. Isso se deve, em parte, à sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico (Magalhães, 2017), o que melhora a fertilidade do solo e favorece a sustentabilidade da produção pecuária, especialmente em regiões semiáridas.

Outro aspecto relevante é o conforto térmico proporcionado por essa espécie. A presença de sombra natural pode reduzir em até 30% a incidência de calor em áreas quentes, o que diminui o estresse térmico dos animais (Blackshaw e Blackshaw, 1994; Almeida *et al.*, 2014).

Estudos recentes de Silva *et al.* (2025), realizados em Capitão de Campos-PI, observaram um sistema com bosque de sabiá e pastagem integrada. Notou-se que tanto no bosque quanto no SAF Sabiá, a ausência de podas, combinada à estratégia natural da planta de perder folhas para reduzir o estresse hídrico, resultou no acúmulo de biomassa vegetal mesmo em condições de seca e escassez hídrica. Tal adaptação demonstra a resiliência ecológica da espécie em ambientes semiáridos.

Quadro 07: Matriz de manejo do SAF 22 em São Lourenço do Piauí, Quilombo Lagoa - Piauí.

INFORMAÇÕES GERAIS DO SAF 22						
TIPO	ESTÁGIO E IDADE	BIOMA	TIPO DE CAATINGA	CLIMA	TAMANHO	FILEIRAS
Agrossilvicultura	Secundária 1 e 3 anos	Caatinga	Caatinga do Cristalino	Semiárido	-	7 metros
DETALHAMENTO DAS ESPÉCIES MANEJADAS						
FORRAGEM E PRODUÇÃO DE BIOMASSA						
Nativas	1. Ipê (<i>Handroanthus Mattos</i>).					
Exóticas	1. Gliricídia (<i>Gliricidia sepium Jacq. / Kunth ex Walp.</i>); 2. Cássia-do-Nordeste (<i>Senna spectabilis DC. / H.S.Irwin & Barneby</i>).					
FRUTÍFERAS						
Nativas	1. Aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolia Raddi</i>); 2. Caju (<i>Anacardium occidentale L.</i>); 3. Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniiifolia Benth.</i>).					
OBSERVAÇÕES DE MANEJO						
• Não há irrigação devido à salinidade da água local; • Adota-se o modelo de irrigação de salvação; • Não há poda no manejo.						

Fonte: Autor (2025).

O SAF Belém (Quadro 08) é descrito pelo produtor como uma agrofloresta de sequeiro, ou seja, não há irrigação no seu interior. Esse sistema é adaptado às condições semiáridas desse bioma (Barros Júnior e Cavalcanti, 2017), caracterizado pela dependência exclusiva da água da chuva, umidade do verão e pela umidade retida pelas culturas adubadoras/de umidade para o desenvolvimento das culturas. Diversos estudos indicam que esse tipo de sistema é uma alternativa viável para a produção

INFORMAÇÕES GERAIS DO SAF BELÉM						
TIPO	ESTÁGIO E IDADE	BIOMA	TIPO DE CAATINGA	CLIMA	TAMANHO	FILEIRAS
-	Secundária 1 - 4 anos	Ecótono Cerrado-Caatinga	Savanas da Caatinga	Semiárido	0,24 ha	5 metros
DETALHAMENTO DAS ESPÉCIES MANEJADAS						
FORRAGEM E PRODUÇÃO DE BIOMASSA						
Nativas	1. Capim-andropogon (<i>Andropogon gayanus Kunth</i>); 2. Pau d'arco (<i>Handroanthus impetiginosus Mart. ex DC. / Mattos</i>); 3. Araruta (<i>Maranta arundinacea L.</i>); 4. Caju (<i>Anacardium occidentale L.</i>);					
Exóticas	1. Banana (<i>Musa spp. L.</i>); 2. Palma (<i>Opuntia ficus-indica L. / Mill.</i>); 3. Eucalipto (<i>Eucalyptus spp. L'Hér.</i>); 4. Espinafre (<i>Spinacia oleracea L.</i>); 5. Gliricídia (<i>Gliricidia sepium Kunth ex Walp.</i>); 6. Palma (<i>Opuntia spp. Mill.</i>); 7. Acácia-manguecico (<i>Acacia mangium Willd.</i>); 8. Mogno (<i>Swietenia macrophylla King</i>).					
FRUTÍFERAS E ALIMENTÍCIAS						
Nativas	1. Faveira (<i>Parkia spp. R.Br.</i>); 2. Maracujá nativo (<i>Passiflora spp. L.</i>); 3. Banana (<i>Musa spp. L.</i>); 4. Ananás da Caatinga (<i>Ananas ananassoides Baker L.B.Sm.</i>); 5. Cajá (<i>Spondias mombin L.</i>);					
Exóticas	1. Açafrão (<i>Curcuma longa L.</i>); 2. Moringa (<i>Moringa oleifera Lam.</i>); 3. Mamão (<i>Carica papaya L.</i>); 4. Ficus-lira (<i>Ficus lyrata Warb.</i>); 5. Arroz (<i>Oryza sativa L.</i>); 6. Milho (<i>Zea mays L.</i>); 7. Feijão (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>); 8. Macaxeira (<i>Manihot esculenta Crantz</i>).					
MANEJO						
- O sistema é um SAF de sequeiro, o que significa que nunca foi irrigado; - Até tentou se usar irrigação mas a ausência de água a tornou sequeiro; - Ela sobrevive apenas da água da chuva, umidade do verão e pela umidade retida pelas culturas adubadoras/de umidade;						

- Nunca utilizou defensivos químicos nem NPK (fertilizantes sintéticos);
- Poda de corte e pouso.

Fonte: Autor (2025).

Dentre todos os SAFs o do Belém é o que tem a maior diversidade de espécie (Quadro 09), nesse modo contribuindo para uma maior restauração e conservação ecológica da área, já que uma alta diversidade de espécies arbóreas contribui nos serviços ambientais de restauração (Padovan, Mayer e Pereira, 2022).

Quadro 09: Matriz ecológica comparativa entre os SAFs analisados. ⁴

MATRIZ ECOLÓGICA COMPARATIVA ENTRE OS SAFs				
Critério / Sistema Agroflorestal	SAF 16	SAF SABIÁ	SAF 22	SAF BELÉM
Retenção de água				
Diversidade de espécies				
Tolerância à seca				
Acúmulo de Biomassa				
Biodiversidade associada				
Legenda: Sistema Agroflorestal (SAF); Sistema de Cores: MUITO ALTA: ; ALTA: ; MÉDIA: ; BAIXA: ; MUITO BAIXA:				

Fonte: Autor (2025).

No quesito retenção de água, as agroflorestas apresentaram desempenho equilibrado, com exceção do SAF 22, que registrou baixa capacidade de retenção. A ausência da palma (*Opuntia sp.*) no manejo é apontada como um dos fatores que contribuíram para esse resultado.

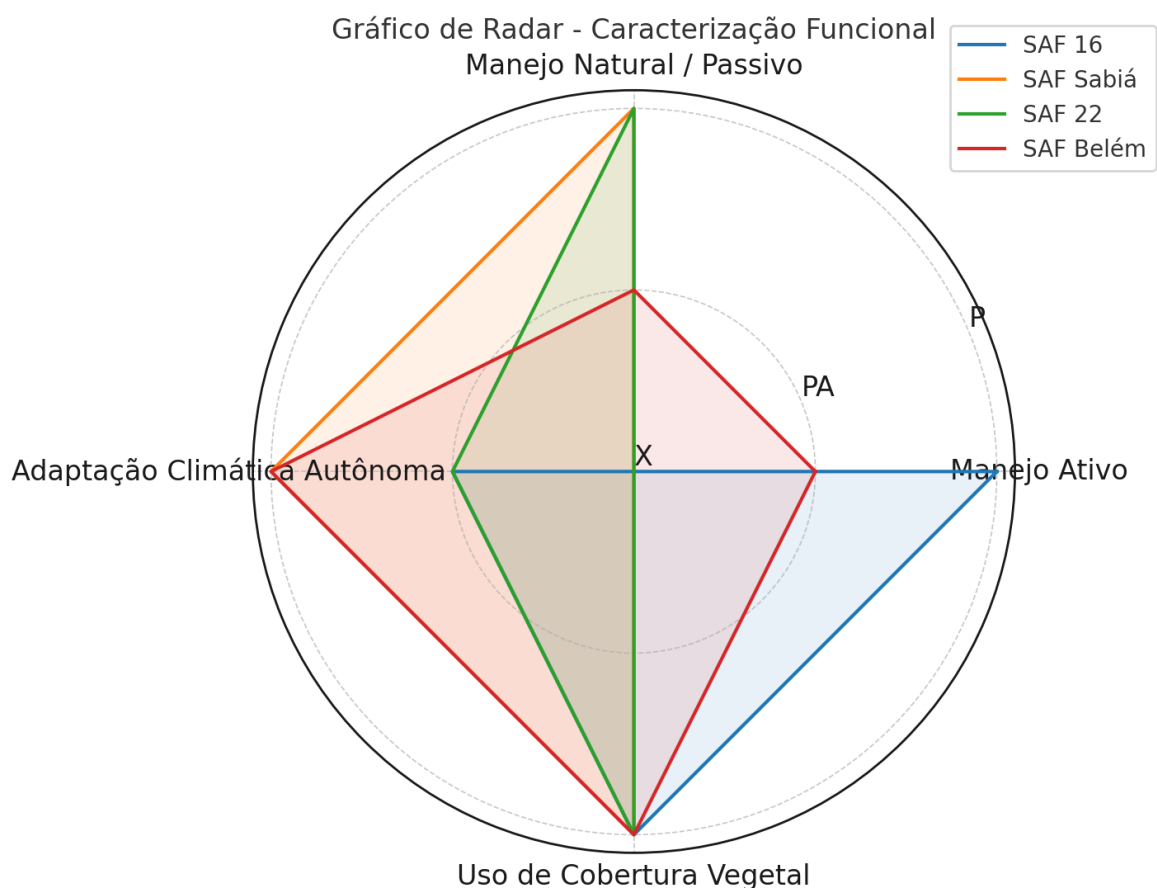
A palma em ambientes semiáridos demonstra uma eficiência muito alta no uso e reuso da água (Campos, 2018), nesse sentido os sistemas que incorporam essa espécie em seu manejo tendem a ter uma maior eficiência nos processos de ciclo e reciclagem da água.

Todos os SAFs analisados são de sequeiro, assim ambos apresentam, estratégias adaptativas e resistência à seca, destaca-se a atuação das espécies arbóreas por meio da redistribuição hidráulica, processo realizado pelas raízes, no qual as plantas transferem água de regiões mais úmidas para áreas mais secas do solo,

principalmente durante a noite (Santos, 2025). Esse mecanismo tem uma contribuição significativa na resiliência e capacidade de uso e reuso da água de um SAF.

Conforme apresentado na Figura 12, o SAF Belém é o único sistema que integra dois tipos de manejo distintas: o manejo ativo, por meio da realização de podas, e o manejo por pousio, caracterizado por períodos sem intervenção direta no sistema.

Figura 12: Caracterização funcional de manejo em agroflorestas analisadas.



Legenda: P: Presente / Ativo; X: Não há / com baixa frequência; PA: Parcial;

Fonte: Autor (2025).

O manejo ativo em sistemas agroflorestais tem diversos benefícios como a eliminação parcial e/ou completa de espécies invasoras (Sousa e Coronel, 2025), além da otimização da produção agrícola e florestal (Santos, 2017; Machado & Correia, 2023). Mesmo em agroecossistemas de base sustentável, o monitoramento periódico é fundamental para acompanhar a dinâmica dos sistemas, avaliar sua condição ecológica

e orientar práticas de manejo capazes de manter sua funcionalidade e favorecer sua trajetória de desenvolvimento (Madeira, 2017; Derisso *et al.*, 2025).

O plantio de leguminosas arbóreas no manejo de pousio tem diversos benefícios tais como o aumento de nutrientes nas camadas mais superiores do solo (Rangel-Vasconcelos *et al.*, 2017), neste modo através da fixação de nutrientes ocorre o aumento da disponibilidade produtiva, tendo impactos positivos no sistema como um todo.

As particularidades do manejo dos SAFs apresentados refletem estratégias de manejo ajustadas às condições geoambientais e climatológicas de cada local, evidenciando a adaptação ecológica e a diversidade de arranjos possíveis dentro de agroflorestas localizadas na área semiárida do Piauí (Quadro 10).

Quadro 10: Diversidade de Estratégias de Manejo das agroflorestas analisadas.

Comparação por Estratégia de Manejo				
SAF	Irrigação	Poda	Uso de insumos	Tipo de manejo adotado
SAF Belém	Sem irrigação	Poda e pousio	Nenhum insumo	Sistema de sequeiro, com foco agroecológico
SAF 16	Sem irrigação	Poda de sucessão	Uso de esterco na implantação	Agrofloresta com práticas ecológicas adaptadas
SAF Sabiá	Sem irrigação	Sem poda	Grande quantidade de esterco via pasto	Silvipastoril com alta associação vegetal e animal
SAF 22	Sem irrigação	Sem poda	Sem insumos	Pouco conduzido, foco em resistência natural

Fonte: Autor (2025).

É fundamental se analisar e divulgar técnicas de manejos devido o alto potencial dos SAFs no combate e adaptação climática dos sistemas produtivos (Schembergue *et al.*, 2017), a disseminação de práticas de sucesso em agroflorestas implantadas no semiárido pode servir de referência para a adaptação e a implementação de novos sistemas produtivos de base sustentável em outras regiões semiáridas.

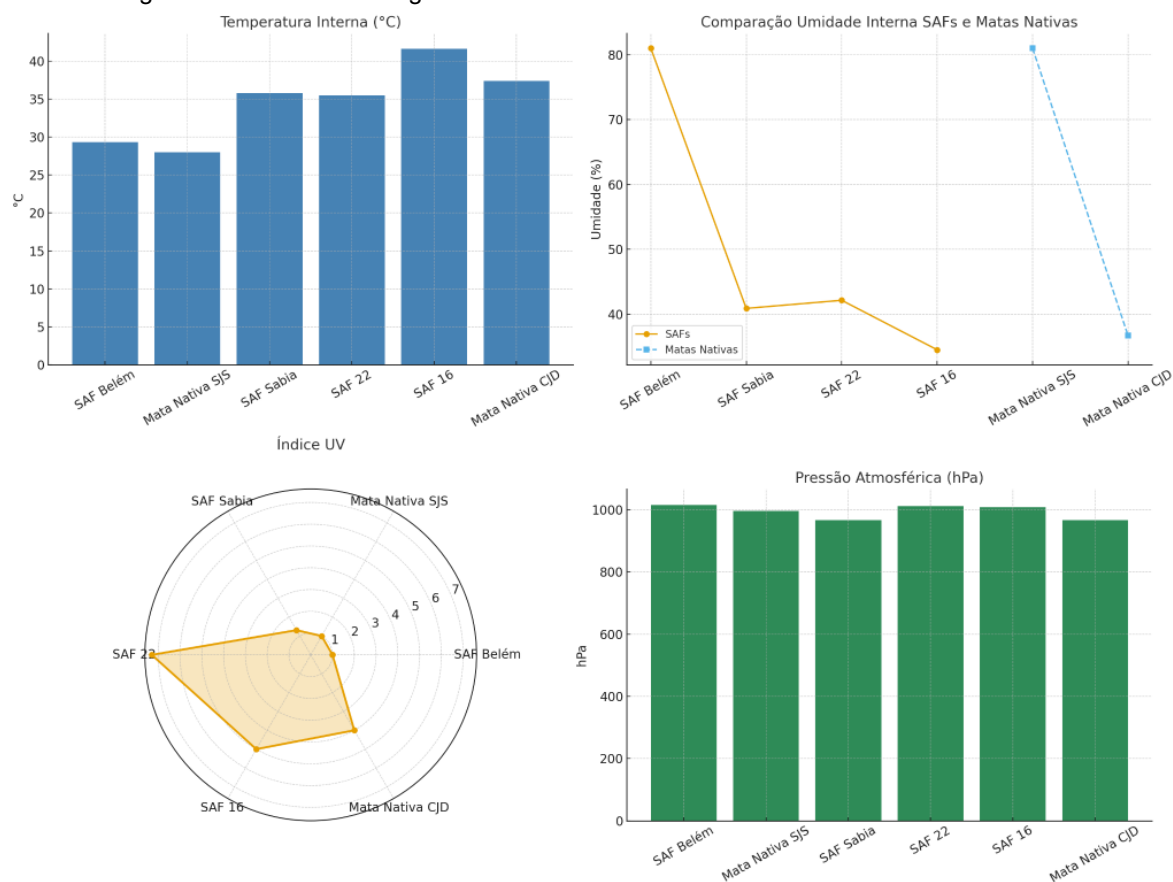
Silva e Santos (2010) afirma que é importante avaliar a adequação do tipo de vegetação em um sistema silvipastoril as condições ambientais e ecológicas da região, no contexto da caatinga piauiense, o SAF Sabiá representa uma alternativa de manejo

estratégico, sobretudo por sua configuração silvipastoril com elevada associação entre espécies vegetais e animais.

5.4 DADOS METEOROLÓGICOS

A compreensão das variáveis microclimáticas em diferentes sistemas de uso e cobertura do solo é fundamental para avaliar a eficácia de práticas agrícolas nos SAFs na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas em regiões semiáridas. Os dados obtidos revelam padrões distintos de microclima entre os SAFs estudados e suas respectivas áreas de mata nativa, bem como entre diferentes SAFs (Figura 13).

Figura 13 – Variáveis microclimáticas (temperatura, umidade interna, índice UV e pressão atmosférica) registradas em sistemas agroflorestais e áreas de mata nativa no semiárido do Piauí.



Fonte: Autor (2025).

Os dados revelam uma amenização microclimática proporcionada pelos SAFs em comparação com a Mata Nativa de São Lourenço do Piauí e, principalmente, em relação às agroflorestas menos diversificadas. O SAF 16, embora seja o mais consolidado, registrou a temperatura mais elevada (41,6 °C) e a menor umidade relativa (34,5%). Esse resultado pode estar associado à sua localização específica, manejo e à predominância de espécies de dossel menos denso. Em contrapartida, o SAF Belém, localizado em São João da Serra em área de ecótono Cerrado-Caatinga, apresentou a temperatura mais amena (29,3 °C) e a umidade mais alta (81%), apresentando condições microclimáticas semelhantes às da vegetação nativa (28 °C e 81%).

O SAF Sabiá se comparado a sua mata nativa apresentou um clima mais ameno, com um temperatura de 35,8 °C e umidade de 40,88%, com uma diferença de 1,6 °C a menos e 4,18% a mais de umidade. Isso indica que o manejo do Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) em sistemas silvipastoris pode proporcionar conforto térmico, de forma similar ao seu ambiente natural (Blackshaw e Blackshaw, 1994; Almeida *et al.*, 2014). Já a superioridade de umidade pode está relacionada a alta perda de folhas do Sabiá (Silva *et al.*, 2025) devido a cobertura e sombreamento do solo consequentemente reduzindo a evapotranspiração, como também pode está relacionado a decomposição intensificada

SAF 22 também apresentou condições mais favoráveis, com 35,5 °C e 42,13% de umidade, sendo 1,9 °C mais frio e 5,44% mais úmido que a mata nativa. corroborando com a ideia que os SAFs são sistemas de uso estratégico e sustentável do solo e da água em regiões semiáridas e áridas (Perez-Marin e Menezes, 2008), a adaptação e resiliência natural do SAF pode ter contribuído nesses resultados, a ausência de manejo não afetou a capacidade de adaptação e resiliência natural do sistema.

O SAF Belém, caracterizado pela maior diversidade de espécies entre os sistemas analisados, utiliza um manejo que combina poda de corte e pousio. Embora ligeiramente mais quente que a mata nativa, sua capacidade de manter o mesmo índice UV e a mesma umidade pode ser atribuída à complexidade estrutural proporcionada pela diversidade, que contribui para a restauração e conservação ecológica (Bayala e Pietro, 2019). O sistema de sequeiro, dependente apenas da água da chuva e da

umidade retida pelas culturas adubadoras, demonstra adaptabilidade às condições semiáridas e as condições de secas, demonstrando eficiência e adaptabilidade.

O índice ultravioleta (IUV) é uma medida da intensidade da radiação UV (INMET, 2025), os dados indicam que os IUVs variam significativamente entre os sistemas agroflorestais e as áreas de mata nativa. As áreas do SAF Belém e Mata Nativa SJS registraram um IUV de 1, classificando o risco como Baixo, isso pode ser associado a diferentes fatores podendo ser geográficos quanto de manejo já que esse índice pode ser associado a densidade vegetal do SAF e a presença de temperaturas menos elevadas em comparação com a região de São Lourenço do Piauí.

O SAF Sabia apresentou um índice de classificação Baixa, com o registro de 1,31, podendo ser associado ao conforto térmico e a densidade vegetal do Sabiá (Almeida *et al.*, 2014), já os SAFs 22 e 16 registraram índices UV de 7,3, classificado como Alto segundo o INMET, e o SAF 16 registrou 5 de índice sendo classificado como Moderado. Como apresentado o único sistema que não apresentou valores altos de IUV na região de São Lourenço do Piauí foi o SAF Sabiá, podendo ser relacionado ao manejo passivo do Sabiá, já que espécies nativas da caatinga tem uma estrutura adaptada à seca e condições áridas do semiárido (Melo *et al.*, 2023).

O SAF Sabia apresentou um índice de classificação Baixa, com o registro de 1,31, podendo ser associado ao conforto térmico e a densidade vegetal do Sabiá (Almeida *et al.*, 2014), já os SAFs 22 e 16 registraram índices UV de 7,3, classificado como Alto segundo o INMET, e o SAF 16 registrou 5 de índice sendo classificado como Moderado. Como apresentado o único sistema que não apresentou valores altos de IUV na região de São Lourenço do Piauí foi o SAF Sabiá, podendo ser relacionado ao manejo passivo do Sabiá, já que espécies nativas da caatinga tem uma estrutura adaptada à seca e condições áridas do semiárido (Melo *et al.*, 2023).

Já a mata nativa CJD apresentou 1 de IUV, sendo classificado como baixo, neste modo, observa-se que, entre as agroflorestas localizadas na Caatinga do Cristalino, apenas o SAF Sabiá manteve-se na mesma classe de IUV da mata nativa, evidenciando maior capacidade de redução da radiação ultravioleta.

5.5 CONDIÇÕES QUÍMICAS DOS SOLOS NOS SISTEMAS AVALIADOS

5.5.1 Carbono orgânico do solo nos sistemas agroflorestais e áreas de referência no Semiárido piauiense

O carbono orgânico (COT) do solo apresentou média geral de 8,770, com valores variando de 3,390 a 17,700 e desvio-padrão de 4,051, apresentando uma considerável amplitude entre os dados de carbono (Tabela 01).

Tabela 01: Estatística descritiva do carbono orgânico do solo (C) nos sistemas avaliados.

SISTEMA	MÉDIA	DP	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO
Mata Nativa SJS	4,070	0,768	4,075	3,390	4,740
SAF Belém	7,770	3,341	7,775	4,610	10,920
Mata Nativa SLP	9,365	2,349	8,855	7,270	12,480
SAF 16	14,232	3,522	14,165	10,900	17,700
SAF 22	8,500	3,202	8,465	5,490	11,580
SAF Sabiá	6,632	1,265	6,615	5,440	7,860

Fonte: Autor (2026).

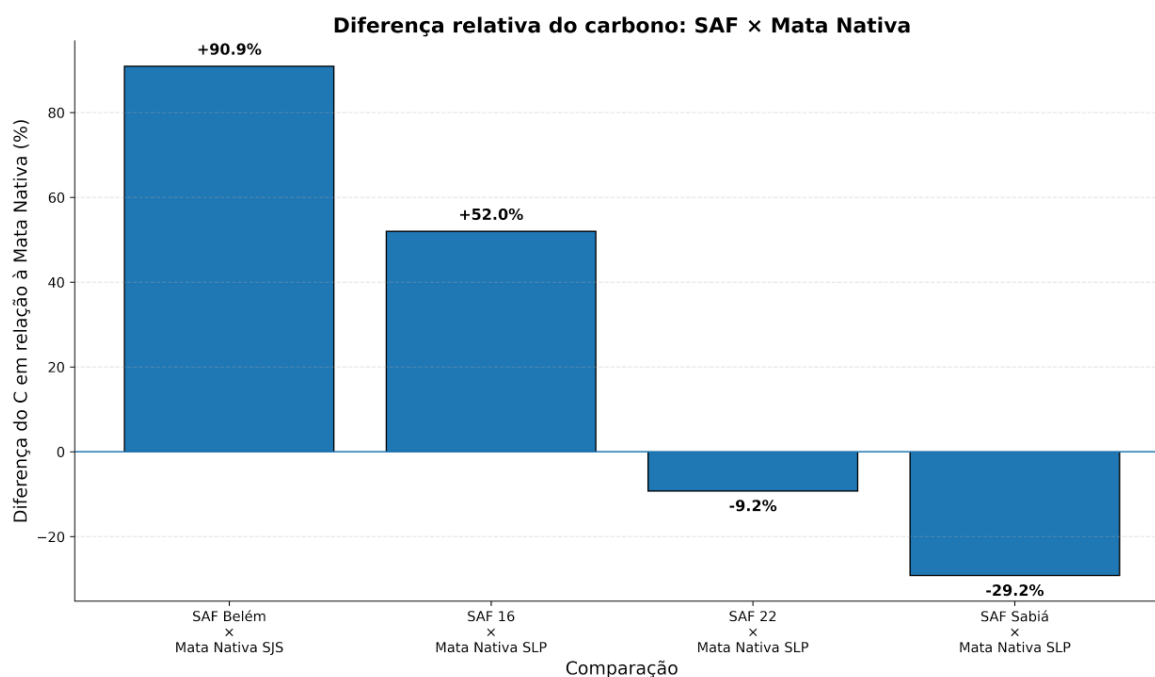
Conforme apresentada na tabela 01, o sistema que apresentou a maior média de COT foi o SAF 16 com a média de 14,232 obtendo um aumento de 52% em relação a média encontrada pela mata nativa, já o SAF Belém teve a média de 7,770 tendo um incremento de 90,9% em relação à mata nativa. Lima *et al.* (2011) estudaram SAFs no cerrado piauiense em seus resultados as agroflorestas também obtiveram teores mais elevados em relação a sua vegetação nativa atribuindo os teores ao manejo intensivo, principalmente pelo incremento de podas no solo, assim melhorando a qualidade edáfica do solo.

Campos e Oliveira (2025) destacaram em seu trabalho que a conversão da caatinga para lavoura e pastagem resultou na perda de 49,32% e 45,32% do carbono já estocado, destacando o papel dos agroecossistemas para a soberania alimentar sem aplicar a agricultura exaustiva e evitando a degradação ambiental semiárida.

Já os SAFs 22 e Sabiá apresentaram as médias de 8,500 (-9,2%) e 6,632 (-29,2%) (Figura 14), o que podem ser atribuídas à pouca idade e ao baixo manejo. O manejo inadequado dos sistemas de cultivos alinhado às condições ambientais semiáridas como as altas temperaturas e a baixa produção vegetal podem reduzir os teores de matéria orgânica (Sacramento *et al.*, 2013), tornando o solo do semiárido dependente de um aporte constante de resíduos vegetais.

Os teores de COT dos SAFs 16 e Belém ressaltam o papel das agroflorestas como sumidouros de carbono e como Tecnologia de Baixa Emissão de Carbono (TecABC) aumentando a capacidade adaptativa dos produtores (Mattos, 2025), assim além de diminuir a dependência das condições climáticas, o manejo agroflorestal tem o potencial de uso sustentável dos recursos naturais e conservação do solo (Crespo, Souza e Silva, 2023).

Figura 14: Diferença relativa no teor de carbono orgânico total (COT) entre os SAFs e suas respectivas áreas de referência de Mata Nativa.



Fonte: Autor (2026).

A maior concentração de C ocorreu na camada de 00–10 cm na maioria das áreas avaliadas, com exceção da mata nativa SJS e do SAF Belém, que apresentaram maiores valores na camada de 10–20 cm (Tabela 02).

Tabela 02: Carbono orgânico do solo (C) nos sistemas avaliados nas profundidades.

SISTEMA	00–10 cm	10–20 cm	Padrão observado
Mata Nativa SJS	3,405	4,735	Maior C na camada de 10-20cm
SAF Belém	4,645	10,895	Maior C na camada de 10-20cm
Mata Nativa SLP	10,175	8,555	Maior C na camada de 00–10 cm
SAF 16	17,525	10,940	Maior C na camada de 00–10 cm
SAF 22	11,495	5,505	Maior C na camada de 00–10 cm
SAF Sabiá	7,815	5,450	Maior C na camada de 00–10 cm

Fonte: Autor (2026).

A maior concentração de carbono nas camadas de 00-10 cm entram em consonância com os resultados de Campos e Oliveira (2025) concentrando os maiores teores na superfície, como observado nos SAFs 16, 22 e Sabiá, atribuindo isso a dinâmica natural da caatinga e solos semiáridos onde a deposição contínua de serapilheira constitui a principal entrada de carbono orgânico.

O SAF Belém apresentou um comportamento diferente dos agroecossistemas localizados no TD SC, tendo o maior teor de carbono na camada de 10-20 cm tendo um aumento de 134,5% em relação a 00-10 cm podendo ser associado à maior estabilização do carbono em camadas mais profundas, devido à menor exposição a processos de biodegradação (Iwata *et al.*, 2021) além disso o manejo de pousio, localização ecotonal e a maior diversidade de espécies podem ter influenciado essa maior concentração já que essas características podem contribuir para um maior grau de maturação e processamento microbiano mais estável da matéria orgânica (Couto *et al.*, 2017 *apud* Iwata *et al.*, 2021). Importante enfatizar que as características regionais

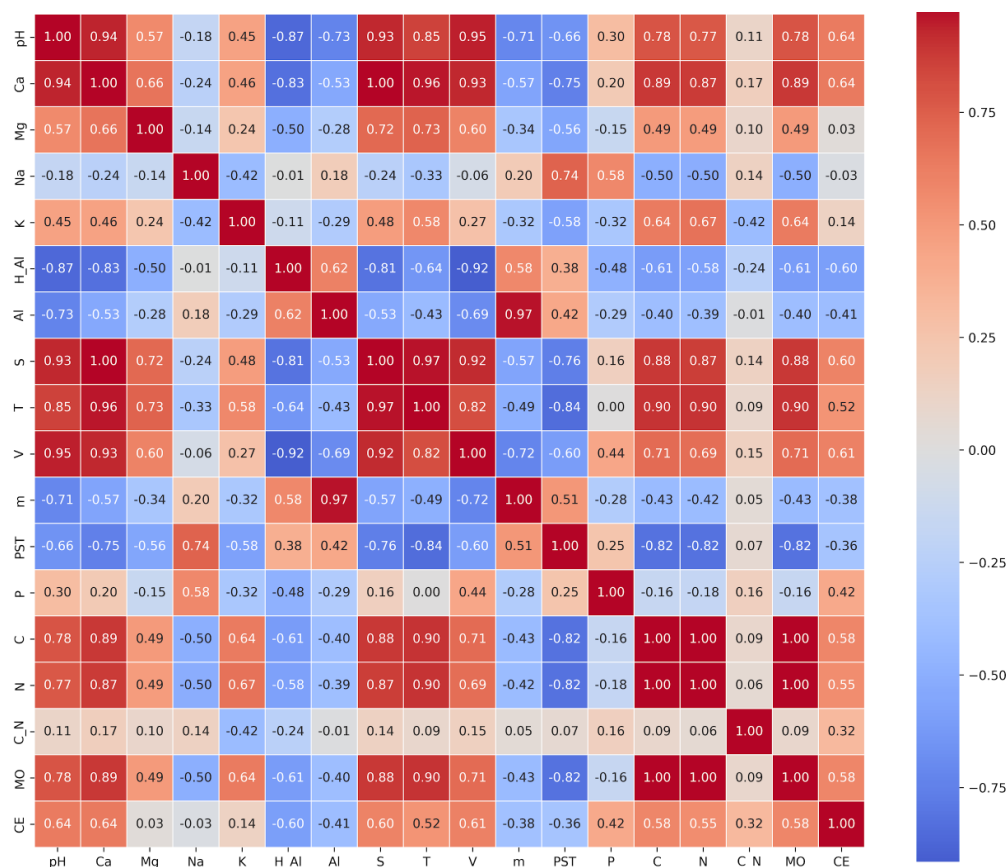
de São João da Serra podem ter influenciado essa diferença de teores já que a mata nativa SJS apresentou o mesmo padrão de concentração de carbono, assim não podendo atribuir a maior concentração na camada subsuperficial só ao manejo agroflorestal.

O carbono orgânico do solo desempenha um papel fundamental na manutenção da qualidade do solo, eficiência da produção agrícola e na mitigação climática (Gomes, 2024) em regiões como o semiárido piauiense que tem como características alta temperatura e déficit hídrico é de extrema importância buscar sistemas de produção que busquem evitar o processo de degradação, já que ambientes semiáridos tem suscetibilidade a degradação ambiental e a desertificação (Sampaio *et al.*, 2022; Araújo Filho, 2002) assim tornando as agroflorestas como uma técnica essencial para a resiliência dos produtores piauienses.

5.5.2 Relações do carbono orgânico com a fertilidade e a acidez do solo

A matriz de correlação evidenciou diferentes associações entre o carbono e os atributos químicos avaliados (Figura 15). Entre as relações positivas, destacaram-se aquelas entre C e T ($r = 0,90$), C e Ca ($r = 0,89$) e C e S ($r = 0,88$), além das associações com pH ($r = 0,78$), V ($r = 0,71$) e K ($r = 0,64$). Em sentido contrário, foram observadas associações negativas entre C e PST ($r = -0,82$), H+Al ($r = -0,61$), Na ($r = -0,50$), m ($r = -0,43$) e Al ($r = -0,40$).

Figura 15: Matriz de correlação de Pearson entre o carbono orgânico e os atributos químicos dos solos dos sistemas avaliados.



Fonte: Autor (2026).

As correlações positivas entre o C e T ($r = 0,90$) e C e Ca ($r = 0,89$) evidenciam que a manutenção da matéria orgânica é determinante para a resiliência química do solo em regiões semiáridas do Piauí. Campos e Oliveira (2025) afirmam que a redução da MO reduz a capacidade de trocas cátions (CTC) no solo, nesse modo é correto afirmar que o manejo de sucessão com o uso de podas e matérias vegetais é indispensável na produção alimentícia semiárida, principalmente levando em consideração as condições climáticas e geográficas desse ambiente que aceleram a degradação da MO no solo (Sampaio *et al.*, 2022), apresentando as agroflorestas como um sistema com capacidade de produção de base sustentável para o semiárido.

A forte relação do C e Ca ($r = 0,89$) também pode ser explicado pelo fato de que o cálcio pode atuar diretamente na estabilização do carbono orgânico através das

pontes catiônicas (Steinfeld *et al.*, 2023), portanto, a associação observada sugere que o manejo agroflorestal intensifica o fluxo biogeoquímico, transformando o solo em um reservatório eficiente de carbono e nutrientes essenciais.

As associações positivas de C com V ($r = 0,71$), K ($r = 0,64$) e Mg ($r = 0,49$) indicam influência direta entre a estocagem de carbono e a disponibilidade de bases trocáveis. O aporte contínuo de podas vegetais de diferentes espécies favorece o equilíbrio nutricional do solo (Iwata *et al.*, 2021), nesse modo a complexibilidade de espécies têm papel direto sobre o equilíbrio nutricional dos agrossistemas potencializando a ciclagem dos macronutrientes, onde os estoques edáficos de K e Mg são frequentemente correlacionados ao conteúdo de biomassa depositada (Steinfeld *et al.*, 2023).

Além disso o manejo de adição de MO como o manejo agroflorestal pode influenciar o pH do solo, complexar os cátions H+Al ($r = -0,61$) e Al ($r = -0,40$) com os compostos orgânicos assim reduzindo a acidez do solo (Matias, 2021), explicando assim as relações negativas com esses cátions e a positiva com o pH ($r = 0,78$). Comprovando o potencial dos SAFs para ambientes ácidos e contribuindo para reservas nutricionais no solo.

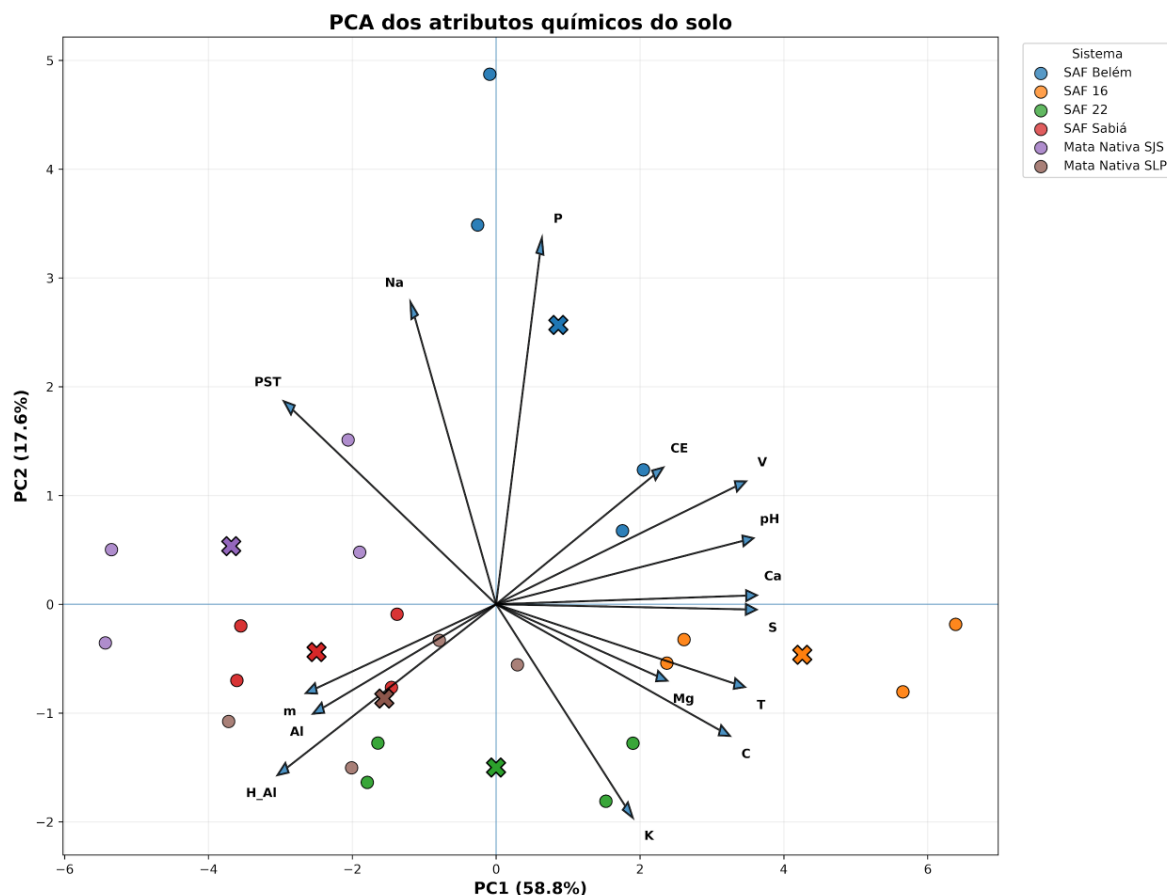
Esse conjunto de relações indica que o carbono não se distribuiu de forma independente dos demais atributos químicos, mas esteve associado a um gradiente de condições de fertilidade e redução de acidez nos solos dos sistemas avaliados. No Piauí, SAFs têm demonstrado capacidade de elevar o pH e reduzir os teores de Al (Lima *et al.*, 2011) o que sugere que o aporte contínuo de biomassa favorece um ambiente quimicamente mais estável enfatizando os agroecossistemas como cruciais frentes as mudanças climáticas na área semiáridas piauiense.

5.5.3 Diferenciação multivariada dos sistemas quanto às condições químicas do solo

A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada como abordagem multivariada para sintetizar as relações entre os atributos químicos do solo e verificar a diferenciação dos sistemas avaliados. Os dois primeiros componentes principais

explicaram conjuntamente 76,35% da variância total dos dados, sendo 58,80% atribuídos ao PC1 e 17,56% ao PC2 (Figura 16).

Figura 16: Biplot da Análise de Componentes Principais (PC1 vs. PC2) integrando os atributos químicos do solo e os sistemas avaliados.



Fonte: Autor (2026).

O PCA permitiu entender a estrutura de variância dos atributos dos solos dos sistemas avaliados, o PC1 apresentou associação aos atributos relacionados à fertilidade do solo apresentando teores de Ca, S, T e V com o pH predominante positivos enquanto os teores de H+Al, Al e m apresentaram a orientação mais para o lado negativo. Assim, este arranjo apresenta atributos associados à maior presença de bases e condições de menor acidez do solo.

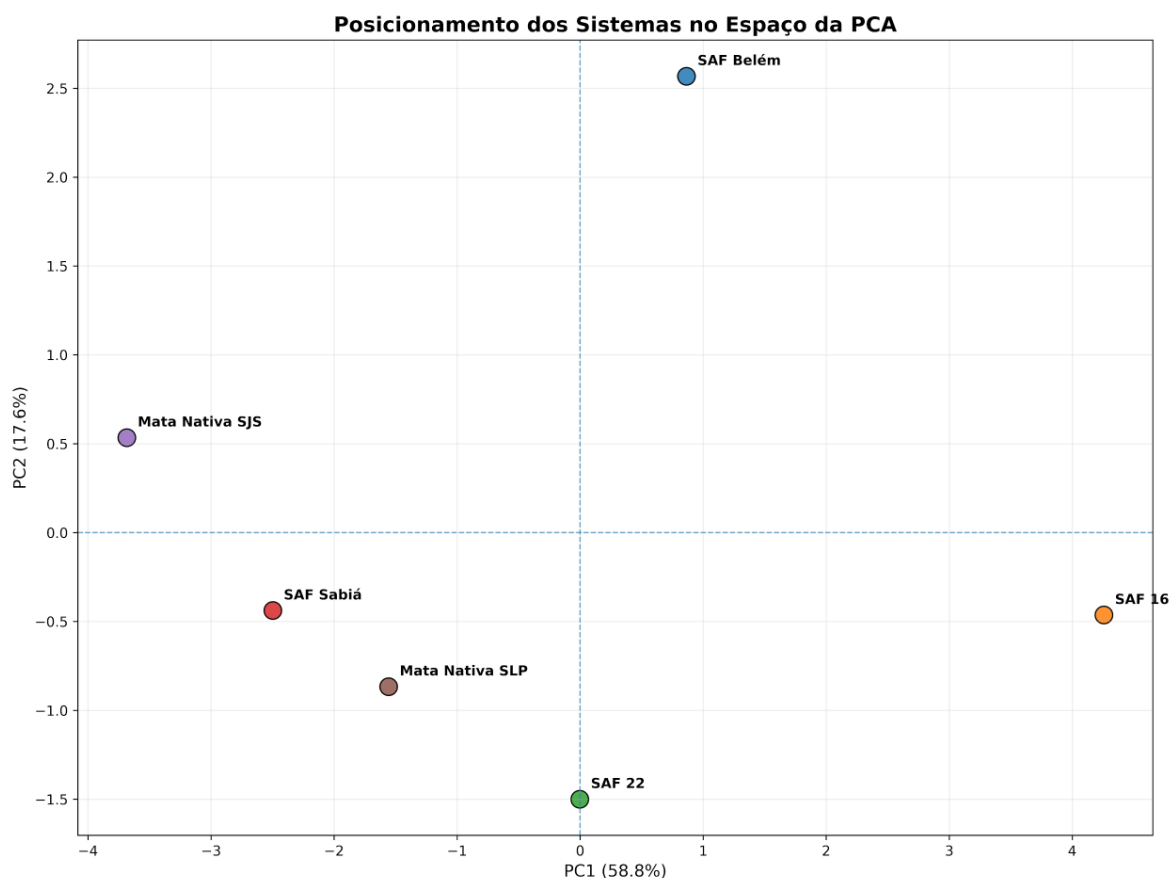
O padrão do PCA se apresentou coerente com as relações observadas na matriz de correlação, especialmente entre C e Ca ($r = 0,89$), C e S ($r = 0,88$), C e T ($r = 0,90$) e C e V ($r = 0,71$), assim confirmando a relação direta da matéria orgânica com a

fertilidade do solo e mitigação da acidez (Iwata *et al.*, 2012; Gomes, 2024; Steinfeld *et al.*, 2023; Lima *et al.*, 2011) nesse modo as agroflorestas se apresentam como uma técnica extremamente importante para o contexto do semiárido piauiense contribuindo para a resiliência da produção dos produtores.

Já o PC2 no gráfico, atributos como P, Na, PST, CE e, em menor medida, pH e V, apresentam orientação positiva, enquanto K, C, T e Mg apresentam orientação predominantemente negativa. Neste modo esse arranjo apresenta os teores relacionados sobre o material mineral do solo dos sistemas.

Quanto ao posicionamento dos sistemas no PCA (Figura 16 e Figura 17), o SAF 16 apresentou a posição mais deslocada para o lado positivo do PC1, enquanto o SAF Belém ocupou posição positiva em ambos os componentes, se destacando principalmente pela maior posição no PC2. O SAF 22 apresentou posição próxima ao centro do PC1 e negativa no PC2. A Mata Nativa SJS, por sua vez, apresentou posicionamento negativo no PC1 e positivo no PC2. O SAF Sabiá e a Mata Nativa SLP apresentaram posições negativas nos dois componentes.

Figura 17: Posicionamento dos sistemas avaliados no espaço da PCA dos atributos químicos do solo.



Fonte: Autor (2026).

A posição do SAF 16 vincula o mesmo aos vetores de Ca, S, T e C, indicando que o mesmo está ligado diretamente aos maiores valores dos cátions de fertilidade e carbono. Quanto mais antiga uma agrofloresta, mais potencial e eficiência na estocagem de carbono ela possui (Crespo *et al.*, 2023), o que pode explicar a relação do sistema com o carbono orgânico já que o SAF 16 constitui o sistema mais antigo e consolidado entre as áreas avaliadas.

Iwata *et al.* (2012) e Gomes (2024) discutem que o acúmulo de biomassa sobre o solo e que as raízes mais profundas favorecem a capacidade de troca catiônica do solo, além disso a vinculação do SAF com o cálcio e carbono pode indicar que o Ca está atuando na estabilização física da matéria orgânica via pontes organominerais

(Steinfeld *et al.*, 2023), nesse modo os agroecossistemas podem ser tratados mecanismo essenciais para a conservação do carbono em climas semiáridos.

Ao contrário da agrofloresta 16 que se destaca pela fertilidade orgânica, o SAF Belém aproxima-se aos vetores de P, Na, CE e PST, conferindo ao sistema uma assinatura química distinta dos demais SAFs avaliados. Conforme Lima *et al.* (2011), destacam que o fósforo (P) tem baixa mobilidade edáfica, destacando o papel dos SAFs na circulação fosfata do solo já que o sistema tem bastante proximidade com o elemento, importante destacar que a proximidade também pode ter tido influência a das podas e do sistema radicular do sistema (Peneiro, 1999; Lima *et al.*, 2011), já que durante a implantação o produtor manteve espécies já consolidadas.

A maior proximidade do sistema com o sódio (Na) e à Condutividade Elétrica (CE) sugere o SAF Belém retém uma maior carga mineral, possivelmente devido à menor lixiviação característica do manejo em regime de sequeiro (Angelotti, 2022), além disso é importante destacar que Filho *et al.* (2022) afirmam que a baixa umidade do semiárido faz com o intemperismo seja mais lento na região, nesse modo os solos desses ambientes tem como característica a concentração de minerais. A agrofloresta Belém necessita de atenção já que a alta concentração de Na pode causar sodificação do solo, mas isso com o excesso de irrigação (Sobral *et al.*, 2015 *apud* Silva, 2025).

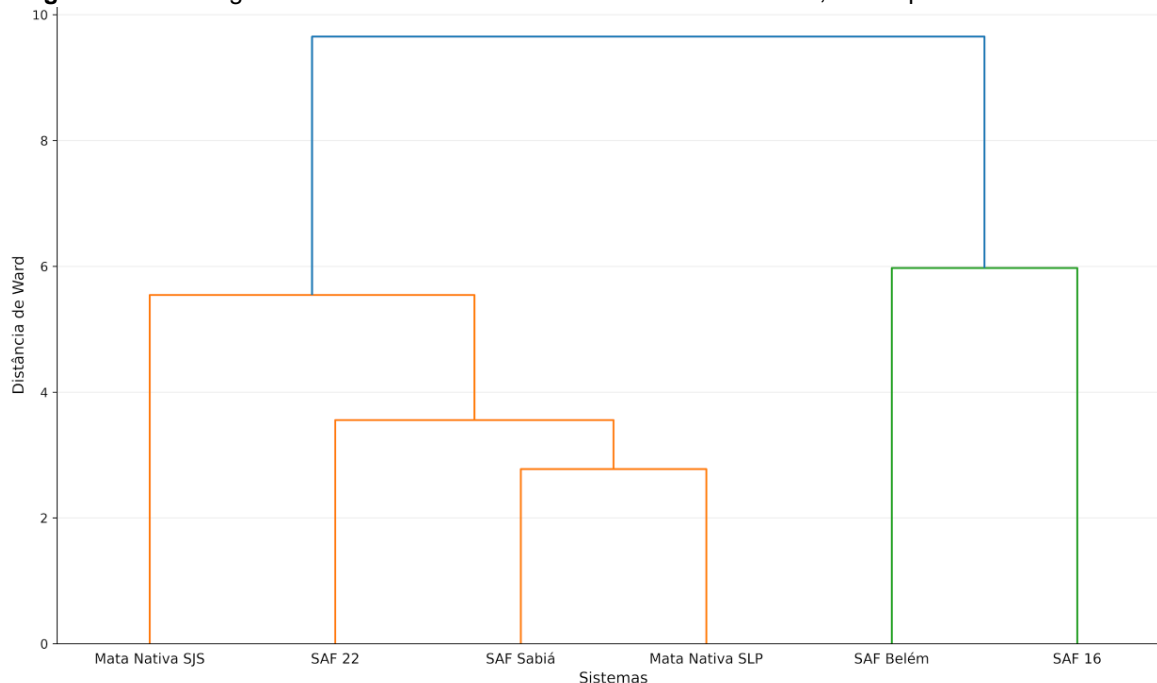
No caso do SAF 22, sua posição na região negativa do PC2 ocorre em direção relativamente próxima aos vetores associados a C, K, Mg e T. A deposição vegetal natural do sistema pode explicar a proximidade com o carbono e a capacidade de troca, já que a MO decomposta aumenta o COT e incrementa húmus ao solo elevando a relação de trocas edáficas (Macedo, 2013; Gomes, 2024), podendo explicar também a proximidade do agroecossistema com os K e Mg.

O SAF Sabiá apresentou posição mais próxima da Mata Nativa SLP, ambos situados no quadrante negativo do PC2, essa proximidade ocorre em uma região do gráfico, caracterizada pela associação com C, K, Mg e T. Segundo Figueiredo (2026) a biomassa vegetal com o esterco tem contribuição direta sobre a ciclagem de nutrientes e manutenção da qualidade do solo, nesse modo o sistema silvipastoril pode reduzir processos de degradação natural no semiárido piauiense como também pode explicar a proximidade da agrofloresta com esses elementos.

5.5.4 Similaridade multivariada entre os sistemas

A análise de agrupamento hierárquico, realizada pelo método de Ward, permite avaliar a similaridade multivariada entre os sistemas a partir do conjunto dos atributos químicos do solo (Iwata *et al.*, 2023). No dendrograma, menores distâncias de Ward indicam maior similaridade multivariada, enquanto valores maiores representam maior diferenciação entre os sistemas, apresentando a formação de três grupos de similaridade (Figura 18).

Figura 18: Dendrograma de similaridade multivariada entre os sistemas, obtido pelo método de Ward.



Fonte: Autor (2026).

O SAF Sabiá e a mata nativa de São Lourenço do Piauí formaram o primeiro agrupamento, sendo o sistema mais próximo de sua respectiva vegetação nativa com a distância de 2,8. Isso indica que eles possuem os seus níveis teores bem próximos, apresentando uma estrutura química do solo semelhante.

Castro (2021) destaca o sabiá como uma opção de manejo para agroflorestal silvipastoril, devido a sua adaptação climática ao clima semiárido e tem a capacidade de prover diversos serviços ecossistêmicos para a pastagem, nesse modo apesar de

jovem o SAF Sabiá manteve semelhanças ao seu ecossistema nativo, o que é bastante interessante já que no primeiros anos de implantação o sistema tende a perder carbono (Wendling, 2011; Matos, Antonio e Rodrigues, 2016).

Com uma distância de 3,6, o SAF 22 se aproxima com a similaridade química com o Sabiá e a sua floresta nativa, depois a vegetação nativa de São João da Serra se incorpora no grupo com a distância de 5,6. Na PCA, o SAF 22 também apresentou posicionamento no quadrante negativo de PC2 e próximo ao eixo central do PC1, reforçando a existência de uma aproximação multivariada entre esses sistemas, no entanto com menos intensidade. A presença da mata nativa SJS ocorre no nível mais elevado do seu grupo de associação, indicando que a composição química do solo apresenta uma diferença em relação às demais áreas analisadas.

O agrupamento com todas as áreas avaliadas ocorre na distância de aproximadamente 9,7, a maior observada no dendrograma. Indicando que a presença ou ausência de intervenções antrópicas conservacionistas pode afetar o equilíbrio químico do solo (Sacramento, 2013), já que o manejo tende a melhorar e equilibrar os teores químicos do solo (Lima *et al.*, 2011).

O grupo verde agrupa os SAFs Belém e o 16 com uma distância de aproximadamente 6,0. Isso pode ter ocorrido devido que os sistemas possuem características de sistemas agroflorestais com manejo ativo e presença de espécies destinadas à produção de biomassa. O SAF 16 no PCA apresentou forte associação com C, Ca, S e T, indicando uma estrutura do solo relacionada a atributos de fertilidade e carbono, já o Belém apresentou maior aproximação com P, Na, CE e PST, assim destacando que embora tenham formado o agrupamento ambos tem suas distinções.

5.6 CADERNO AGROFLORESTAL DA CAATINGA – CAFE-CAATINGA

O Caderno Agroflorestal da Caatinga – CAFE-Caatinga constitui um produto tecnológico desenvolvido para apoiar o registro, o monitoramento e o diagnóstico de sistemas agroflorestais inseridos no contexto do Semiárido. A ferramenta foi concebida com a finalidade de integrar informações e estimativas relacionadas ao estoque de carbono, à disponibilidade hídrica e ao desempenho produtivo dos sistemas

agroflorestais, permitindo reunir indicadores ambientais e produtivos em uma estrutura de fácil consulta. A plataforma foi desenvolvida como uma ferramenta de caráter educacional e técnico, orientada à transformação de procedimentos quantitativos em informações acessíveis aos usuários.

Seu funcionamento baseia-se na inserção de dados da propriedade, do inventário arbóreo, das condições do solo, do balanço hídrico e da produção agroflorestal, a partir dos quais são realizados cálculos automáticos e apresentados indicadores sintéticos. É importante destacar que a própria ferramenta ressalta que seus resultados constituem estimativas e devem ser interpretados considerando as condições locais e a qualidade dos dados de entrada.

5.6.1 Concepção e metodologia de desenvolvimento

A proposta adotou uma abordagem interdisciplinar, utilizando fundamentos relacionados à ciência do solo, biomassa e carbono, recursos hídricos, produção agrícola e sistemas agroflorestais. A primeira etapa consistiu na definição dos indicadores que seriam incorporados à ferramenta e na seleção das equações e procedimentos quantitativos. A partir disso, foram estabelecidos três eixos analíticos principais: carbono, água e produtividade. Posteriormente, esses resultados foram integrados em um painel de diagnóstico, permitindo uma leitura conjunta das diferentes dimensões do sistema agroflorestal.

O cálculo da biomassa aérea utilizou equação alométrica aplicada à vegetação lenhosa da Caatinga, baseada no diâmetro à altura do peito (DAP), na versão atual da ferramenta, a equação alométrica $B = 0,173 \times \text{DAP}^2$,²⁹⁵, aplicada exploratoriamente a indivíduos com DAP entre 3 e 30 cm. A biomassa individual é posteriormente convertida para unidade de área com base na área da parcela. O carbono da biomassa é estimado mediante fator de conversão de 0,47 e sua conversão para dióxido de carbono equivalente utiliza a relação 44/12. O carbono do solo é estimado a partir da concentração de carbono orgânico, densidade do solo e espessura da camada avaliada.

Neste sentido a ferramenta apresenta, como indicadores de carbono a biomassa aérea (Mg ha^{-1}), carbono da biomassa (Mg C ha^{-1}), CO_2 equivalente da biomassa, carbono do solo, carbono total considerado e CO_2 equivalente total. Além disso, é apresentado um diagnóstico de confiabilidade, classificando a estimativa como exploratória e permitindo verificar a compatibilidade da equação alométrica com as árvores cadastradas.

No módulo de balanço hídrico, a ferramenta foi estruturada a partir dos procedimentos da FAO para estimativa da evapotranspiração de referência, evapotranspiração da cultura e disponibilidade de água no solo. O usuário informa a evapotranspiração de referência (ET_0), o coeficiente de cultivo efetivo (K_c), a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente, a profundidade efetiva das raízes, a fração de água disponível antes do estresse e a depleção do dia anterior. Também são consideradas as entradas e saídas de água representadas pela precipitação, escoamento superficial, irrigação, ascensão capilar e percolação profunda.

A partir desses dados, a ferramenta calcula a evapotranspiração da cultura, a água total disponível, a água prontamente disponível, a depleção atual, o coeficiente de estresse hídrico, a evapotranspiração ajustada, a margem até o estresse e o percentual de depleção da água disponível. A ferramenta apresenta ainda uma classificação da situação hídrica do sistema.

O módulo de produtividade foi desenvolvido para permitir o registro de diferentes produtos gerados no sistema agroflorestal, como grãos, frutas, forragem, biomassa e outros componentes produtivos. Para cada produto, podem ser inseridas a produção obtida no SAF e, quando disponível, uma produtividade de referência em cultivo separado. Essas informações permitem calcular o Land Equivalent Ratio (LER), ou índice de equivalência de uso da terra, utilizado para comparar a produtividade relativa do sistema agroflorestal com os cultivos de referência.

O módulo também incorpora uma estimativa de produtividade sob condições de déficit hídrico. Para essa finalidade, são inseridos valores de produtividade máxima (Y_m), coeficiente de resposta ao déficit hídrico (K_y), evapotranspiração real (ET_a) e evapotranspiração máxima (ET_m). A partir desses dados, a ferramenta estima a

produtividade alcançada (Y_a), a redução estimada da produtividade e a produtividade da água.

Os resultados dos três módulos são reunidos no painel integrado de diagnóstico do SAF. Essa estrutura permite apresentar conjuntamente os indicadores de carbono, água e produtividade, favorecendo uma interpretação integrada do funcionamento do sistema agroflorestal.

5.6.1.1 Desenvolvimento e arquitetura tecnológica

A ferramenta foi desenvolvida em formato de website responsivo, utilizando as tecnologias HTML, CSS e JavaScript. O HTML foi utilizado para estruturar os formulários de entrada, os painéis de resultados e a seção metodológica. O CSS definiu a identidade visual, a responsividade para uso em computador e celular, os cartões de indicadores e os alertas de interpretação. O JavaScript concentrou a lógica computacional, realizando os cálculos automáticos de biomassa, carbono, CO_2 equivalente, estoque de carbono no solo, evapotranspiração da cultura, água disponível, estresse hídrico, produtividade estimada, produtividade da água e eficiência de uso da terra.

A integração entre HTML, CSS e JavaScript permitiu reunir, em uma mesma aplicação, a estrutura de entrada dos dados, a apresentação visual das informações e a execução dos cálculos. Assim, o usuário insere os dados necessários nos respectivos campos e a ferramenta processa essas informações, apresentando os indicadores calculados nos painéis correspondentes aos módulos de carbono, água e produtividade.

A arquitetura foi orientada à facilidade de utilização, de modo que a ferramenta pudesse ser consultada em diferentes dispositivos. Essa característica é particularmente relevante para um produto tecnológico destinado ao registro e acompanhamento de sistemas agroflorestais, uma vez que permite que as informações sejam inseridas e consultadas tanto em computadores quanto em dispositivos móveis.

5.6.2 Estrutura e funcionamento da ferramenta

A arquitetura funcional do CAFE-Caatinga está organizada em cinco componentes principais: Cadastro do SAF; Carbono; Água; Produtividade; Painel integrado – Diagnóstico do SAF (Quadro 11).

Quadro 11: Estrutura funcional do CAFE-Caatinga.

MÓDULO	PRINCIPAIS INFORMAÇÕES DE ENTRADA	PROCESSAMENTO	PRINCIPAIS RESULTADOS
1 · Cadastro do SAF: Informações da propriedade	Nome do agricultor ou da família; Nome da propriedade ou comunidade; Município; UF; Idade do SAF (anos); Área total do SAF (ha); Área da parcela inventariada (m²); Data da medição.	Registro e caracterização do sistema.	Identificação e contextualização do SAF.
2 · Carbono: Biomassa e carbono das árvores	Espécie; DAP (cm); Carbono orgânico do solo (g/kg); Densidade do solo (Mg/m³); Espessura da camada (cm).	Estimativa de biomassa aérea, carbono da biomassa, CO ₂ e carbono do solo.	Estimativa de Biomassa aérea (Mg/ha), Carbono da biomassa (Mg C/ha), CO ₂ equivalente da biomassa (t CO ₂ e/ha), Carbono do solo (Mg C/ha), Carbono total considerado (Mg C/ha), CO ₂ equivalente total (t CO ₂ e/ha).
3 · Água: Balanço hídrico diário	ET _o (mm/dia); K _c efetivo do sistema; Capacidade de campo, θ_{FC} (m³/m³); Ponto de murcha, θ_{WP} (m³/m³); Profundidade efetiva da raiz (m); Fração p; Depleção no dia anterior (mm); Chuva P (mm); Escoamento RO (mm); Irrigação líquida I (mm); Ascensão capilar CR (mm); Percolação profunda DP (mm)	Balanço hídrico diário na zona radicular e cálculo da depleção e do estresse hídrico.	ET _c potencial (mm/dia); TAW (mm); RAW (mm); Depleção atual (mm); Coeficiente de estresse K _s ; ET _c ajustada (mm/dia); Margem até estresse (mm); Percentual de depleção (% do TAW)
4 · Produtividade: Produção e eficiência do SAF	Produto/cultura; produção no SAF; produtividade de referência; Produtividade	Cálculo do LER e estimativa de produtividade sob	LER / UET total (índice)

	máxima Ym (kg/ha); Ky; ET real, ETa (mm); ET máxima, ETm (mm)	déficit hídrico.	Interpretação (uso da terra); Produtividade estimada Ya (kg/ha); Redução estimada (%); Produtividade da água (kg/m³).
5 · Painel integrado: Diagnóstico do SAF	Resultados dos módulos de carbono, água e produtividade.	Integração dos indicadores.	Diagnóstico integrado do SAF.

Fonte: Autor (2026).

A programação da versão inicial foi realizada em formato de website responsivo, utilizando HTML, CSS e JavaScript, sem dependência de servidor externo. O HTML foi utilizado para estruturar os formulários de entrada, os painéis de resultados e a seção metodológica. O CSS definiu a identidade visual, a responsividade para uso em computador e celular, os cartões de indicadores e os alertas de interpretação. O JavaScript concentrou a lógica computacional, realizando os cálculos automáticos de biomassa, carbono, CO₂ equivalente, estoque de carbono no solo, evapotranspiração da cultura, água disponível, estresse hídrico, produtividade estimada, produtividade da água e eficiência de uso da terra.

A ferramenta também foi planejada para favorecer a autonomia do usuário. Por isso, foram incluídas funcionalidades de armazenamento local dos dados no navegador, exportação e importação em formato JSON, geração de relatório para impressão e interpretação automática dos principais indicadores. Essa decisão metodológica buscou adequar o produto ao contexto de uso em comunidades rurais, onde a conectividade pode ser limitada e onde ferramentas simples, leves e de fácil operação tendem a apresentar maior potencial de adoção.

A validação preliminar da ferramenta foi pensada em três níveis. O primeiro corresponde à validação matemática, por meio da conferência das fórmulas implementadas no código. O segundo envolve a validação técnica, com especialistas em solos, agroflorestas, recursos hídricos e planejamento ambiental. O terceiro corresponde à validação de usabilidade, realizada com agricultores ou técnicos de campo, avaliando clareza das entradas, facilidade de preenchimento, compreensão dos resultados e utilidade prática das recomendações. Estudos da Embrapa sobre sistemas

agroflorestais e sistemas integrados na Caatinga reforçam a relevância de ferramentas capazes de monitorar carbono, matéria orgânica do solo e desempenho produtivo em condições semiáridas. Mas ressalta-se que essa proposta não executou a fase de validação junto aos usuários, podendo ser o desdobramento de trabalhos futuros.

Dessa forma, a ferramenta foi construída como um protótipo tecnológico de apoio à decisão, articulando modelagem ambiental, programação web e linguagem acessível ao agricultor. Sua principal contribuição está na integração entre indicadores normalmente avaliados de forma separada, permitindo analisar o sistema agroflorestal como uma unidade funcional que produz alimentos, conserva água, acumula carbono e contribui para a resiliência climática em territórios semiáridos.

6 PRODUÇÕES ACADÊMICAS VINCULADAS

O trabalho está associado ao grupo de estudo e pesquisa (GEP) Edáficos do Nordeste. O autor é colaborador do mesmo desde de 2023. Também é importante enfatizar que esta pesquisa é financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí por meio do Edital 003/2024 – Programa de Apoio à Pós-Graduação Stricto Sensu (PAPG) - Bolsas de Mestrado e Doutorado.

O Quadro 12 apresenta os trabalhos publicados, apresentados, submetidos e aprovados para apresentação em eventos científicos durante o desenvolvimento da pesquisa, distinguindo aqueles diretamente relacionados ao objeto deste estudo daqueles desenvolvidos em outras temáticas.

Quadro 12: Trabalhos publicados, apresentados, submetidos e aprovados em eventos científicos.

Modalidade	Título do trabalho / Evento	Autores	Acesso
Apresentados			
Trabalhos relacionados a esta pesquisa			
Oral	V SEMINÁRIO INTEGRADOR DO MAPEPROF: MANEJO AGROFLORESTAL COMO AÇÃO CLIMÁTICA NO SEQUESTRO DE CARBONO E NA CONVIVÊNCIA COM A SECA NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE	Francisco Dionata de Oliveira Silva Bruna de Freitas Iwata	

Oral	XV CONGEA: Agricultura de baixo de carbono no Piauí: Uma análise da Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária (lei 7.480/2021)	Francisco Dionata de Oliveira Silva Naíde de Lucas da Silva Neta João Antonio Rodrigues Paz Krishna Shiva Oliveira Sousa Bruna de Freitas Iwata	http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.XI-018
Trabalhos não relacionados a esta pesquisa			
Oral	XV CONGEA: Praças Públicas e a Gentrificação Silenciosa: Um Relato de Caso do Planejamento Urbano em Campo Maior, Piauí	João Antonio Rodrigues Paz Naíde de Lucas da Silva Neta Francisco Dionata de Oliveira Silva Bruna de Freitas Iwata	http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.IV-012
Oral	XV CONGEA: Conflito de Uso e Ocupação do Solo na Área de APP do Riacho Itararé (Mandacarú), Teresina Piauí	Naíde de Lucas da Silva Neta Francisco Dionata de Oliveira Silva João Antonio Rodrigues Paz Bruna de Freitas Iwata	http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.VI-017
Oral	XV CONGEA: Políticas Públicas no Desempenho da Proteção e nas Medidas Mitigadoras dos Impactos Ambientais nos Recursos Hídricos de Teresina, Piauí	Liana Cristine Sousa Chaves Ageu da Silva Monteiro Freire Bruna de Freitas Iwata Krishna Shiva Oliveira Sousa Francisco Dionata de Oliveira Silva	http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.IX-022
Oral	XV CONGEA: Fatores Naturais e Antrópicos que Contribuem para Enxurradas, Inundações e Alagamentos no Meio Urbano de Teresina, Piauí	Krishna Shiva Oliveira Sousa Liana Cristine Sousa Chaves Francisco Dionata de Oliveira Silva Leila Guimaraes Goncalves Freire Bruna de Freitas Iwata	http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.XI-019
Oral	XVI CONGEA:	Francisco Dionata de	

	ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS GEOESPACIAIS PARA COMPREENSÃO DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA SERRA – PI,	Oliveira Silva Naíde de Lucas da Silva Neta Liana Cristine Sousa Chaves Krishna Shiva Oliveira Sousa Bruna de Freitas Iwata	http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.IV-006
Oral	XVI CONGEA: Análise Espaço-Temporal da Expansão Agrícola em seu Uso e Ocupação do Solo da Mesorregião Sudoeste do Piauí	Liana Cristine Sousa Chaves Francisco Dionata de Oliveira Silva Naíde de Lucas da Silva Neta Krishna Shiva Oliveira Sousa Bruna de Freitas Iwata	http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.XI-027
Oral	XVI CONGEA: ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI E SAVI: ANÁLISE TEMPORAL DA SUB-BACIA PD11 EM TERESINA, PIAUÍ	Naíde de Lucas da Silva Neta Francisco Dionata de Oliveira Silva Liana Cristine Sousa Chaves Krishna Shiva Oliveira Sousa Bruna de Freitas Iwata	http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.V-005
Oral	XVI CONGEA: O ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMAS SILVICULTURAIS DE EUCALIPTO E VEGETAÇÃO NATIVA NA CAATINGA PIAUIENSE	Krishna Shiva Oliveira Sousa Francisco Dionata de Oliveira Silva Liana Cristine Sousa Chaves Naíde de Lucas da Silva Neta Bruna de Freitas Iwata	—
Oral	VII SBRNS: ANÁLISE GEOESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS EM MUNICÍPIO DA CHAPADA DO ARARIPE, SEMIÁRIDO PIAUIENSE	Naíde de Lucas da Silva Neta Francisco Dionata de Oliveira Silva Samuel Cabral da Silva Francílio de Amorim dos Santos Reurysson Chagas de Sousa Morais	https://drive.google.com/file/d/1JMKVWVMS4J1ZFATkmNHv0RAZ_3p_o6u/view

		Bruna de Freitas Iwata	
--	--	------------------------	--

LEGENDA: *XV CONGEA: XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental; XVI CONGEA: XVI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental; VII SBRNS: VII Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido;
Fonte: Autor (2026).

O Quadro 13 apresenta as produções bibliográficas vinculadas à pesquisa.

Quadro 13: Produção bibliográfica relacionada à pesquisa de mestrado.

Título do capítulo	Modelo	Autores	Situação
Conservação do solo e mitigação climática em agroflorestas: estoques de carbono e fertilidade no ecótono semiárido de Teresina, Piauí	ebook (livro digital)	Francisco Dionata de Oliveira Silva, Naíde de Lucas da Silva Neta, Bruna De Freitas Iwata	Aprovado / sem publicação
Carbono no solo e sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas	ebook (livro digital)	Naíde de Lucas da Silva Neta, Francisco Dionata de Oliveira Silva, Laudenides Pontes dos Santos, Bruna de Freitas Iwata	Aprovado / sem publicação
Título do artigo	Revista	Autores	Situação
Estrutura temática e geográfica da pesquisa agroflorestal no Brasil: uma análise bibliométrica	Revista Caatinga	Francisco Dionata de Oliveira Silva, Naíde de Lucas da Silva Neta, Bruna De Freitas Iwata	Submetido

Fonte: Autor (2026).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa buscou avaliar o potencial dos SAFs como agroecossistemas adaptáveis às condições climáticas do semiárido piauiense. A partir da análise do carbono orgânico do solo, dos atributos químicos e das condições microclimáticas, a investigação foi desenvolvida em quatro agroflorestas localizados nos municípios de

São Lourenço do Piauí e São João da Serra, além de áreas de mata nativa utilizadas como referências espaciais.

Os resultados permitem afirmar que os sistemas avaliados apresentaram estruturas químicas distintas e níveis de COT variáveis, podendo ser influenciado por idade, tipo de manejo e características ambientais e geográficas. Entre os sistemas analisados, o SAF 16 apresentou a maior média de carbono orgânico total, com 14,232 (g/kg) tem um superioridade de 52% em relação a sua vegetação nativa (9,36 g/kg), no entanto o SAF Belém com 7,770 (g/kg) obteve uma diferença de 90,9% em relação a sua floresta primária, sendo a agrofloresta com a maior superioridade em relação à mata nativa. Esses achados demonstram que mesmo em condições semiáridas, com solos rasos e déficit hídrico, é possível construir sistemas produtivos que funcionam como sumidouros de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas em ambientes como o semiárido piauiense.

As fortes correlações positivas entre carbono e atributos de fertilidade como a capacidade de troca catiônica ($r=0,90$), cálcio ($r=0,89$), soma de bases ($r=0,88$) e saturação por bases ($r=0,71$) evidenciam que a matéria orgânica não é apenas um reservatório de carbono, mas um elemento estruturante da qualidade química do solo, sendo essencial para a sustentabilidade da produção agrícola em regiões semiáridas. Enfatizando o papel essencial do manejo ativo de podas, com sistemas com essa característica mantiveram as condições químicas do solo mais favoráveis à produção como os SAFs 16 e Belém.

Na adaptabilidade a seca os agroecossistemas demonstraram alto potencial de resistência, como os SAFs Sabiá e Belém que apesar de ser manejado em regime de sequeiro apresentaram temperaturas mais amenas e umidade relativa superior em comparação com a mata nativa, proporcionando uma amenização microclimática no interior do sistema. Além disso, o SAF Sabiá obteve um índice ultravioleta baixo (1,31), evidenciando seu potencial para reduzir o estresse térmico dos animais, demonstrando os impactos positivos que o uso do sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) e o manejo agroflorestal tem na pastagem. Os resultados são essenciais no atual quadro climático que projetam aumento de temperatura e redução de chuvas para o semiárido, sendo

necessário alternativas de adaptações para a produção alimentícia e pastagem como os sistemas de base sustentável e de baixo carbono.

A pesquisa também avançou na compreensão dos diferentes modelos de manejo agroflorestal, conduzidos na região semiárida do Piauí. A análise de componentes principais evidenciou uma clara diferenciação química entre os sistemas, o SAF 16, com manejo ativo e podas de sucessão, associou-se a atributos de fertilidade, sugerindo que a biomassa e a sobreposição do solo, pode acelerar a ciclagem de nutrientes e melhorar a qualidade do solo. Por outro lado, o SAF Belém, com manejo de pousio e localizado em área de ecótono, aproximou-se de atributos minerais, indicando uma trajetória química distinta, que merece monitoramento para evitar riscos de sodificação. Já o SAF Sabiá, se manteve similar quimicamente à sua mata nativa com a distância de Ward = 2,8, sugerindo que sistemas silvipastoris com espécies nativas podem ser uma alternativa de baixo impacto e de baixa degradação.

A análise de sistemas inseridos em diferentes contextos do semiárido piauiense é importante por considerar as diversidades desse ambientes como as diferenças territoriais, climáticas, edáficas, ambientais e produtivas, se tornando relevante para as tomadas de decisões seja para produtores como para a formulação de políticas públicas, uma vez que diferentes ambientes podem precisar de diferentes estratégias de implantação, manejo e monitoramento.

O desenvolvimento do Caderno Agroflorestal da Caatinga (CAFE-Caatinga) se trata da contribuição tecnológica da pesquisa. Ele se trata de uma ferramenta web com o objetivo de integrar e calcular as estimativas relacionadas ao carbono, à disponibilidade hídrica e à produtividade dos sistemas agroflorestais, podendo ser utilizada por produtores, técnicos e no ambiente acadêmico.

Por fim, esta pesquisa demonstra que os sistemas agroflorestais, mesmo em condições semiáridas, podem desempenhar um papel relevante na ação climática, na conservação do solo, combate à desertificação e na adaptação à seca, podendo ser tratados como uma estratégia de desenvolvimento territorial no Semiárido piauiense. O CAFE-Caatinga, como produto tecnológico, representa uma ferramenta de monitoramento e acessível, que pode auxiliar agricultores e comunidades no manejo sustentável de suas terras.

REFERÊNCIAS

- ANGELOTTI, F.; SIGNOR, D.; GIONGO, V. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Experiências e Oportunidades para o Desenvolvimento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 484-495, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Vanderlise-Giongo/publication/341065274_Mudancas_Climaticas_no_Semiario_Brasileiro_Experiencias_e_Oportunidades_para_o_Desenvolvimento_Climate_Change_in_the_Brazilian_semiarid_Experiences_and_Opportunities_for_Development/links/5ec331ec458515626cb4b9c5/Mudancas-Climaticas-no-Semiario-Brasileiro-Experiencias-e-Oportunidades-para-o-Desenvolvimento-Climate-Chang-e-in-the-Brazilian-semiarid-Experiences-and-Opportunities-for-Development.pdf. Acesso em: 02 ago. 2026.
- ARAÚJO, Marcos Vinícius Machado de et al. A crise hídrica no Vale do Sambito: uma perspectiva de desenvolvimento socioambiental. **Revista Monografias Ambientais**, [S.L.], v. 1, p. 5, 15 maio 2020. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2236130840707>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/40707/html>. Acesso em: 28 ago. 2024.
- ARAÚJO FILHO, J. C. de; MARQUES, F. A.; AMARAL, A. J. do; CUNHA, T. J. F.; SOUZA JÚNIOR, V. S. de; GALVÃO, P. V. M. Solos do Semiárido: características e estoque de carbono. In: GIONGO, V.; ANGELOTTI, F. (org.). **Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas: experiência brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. cap. 6, p. 93-112.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Caatinga: Agroecologia versus desertificação. **Ciência Hoje**, v. 30, p. 44-45, 2002.
- ALMEIDA, Roberto Giolo et al. Sistemas silvipastoris: produção animal com benefícios ambientais. In: Embrapa Gado de Corte-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **congresso nordestino de produção animal**. 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1012584/1/aacSistemas.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- AGUIAR, Robério Bôto de; GOMES, José Roberto de Carvalho (org.). Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de São Lourenço do Piauí. Fortaleza: CPRM, 2004. 8 p. 1 mapa. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/items/01f83466-9525-410b-9351-360d92f4455c>. Acesso em: 26 ago. 2025.
- BARROS JUNIOR, G. ; CAVALCANTI, S. M. V. L. . Avanços e debilidades em estudos de áreas experimentais de base agroflorestal em regime de sequeiro no Semiárido. In: Lorena Lima de Moraes; Laeticia Medeiros Jalil; Genival Barros Júnior. (Org.). Uma

Construção Agroecológica e Coletiva de Saberes no Semiárido Brasileiro. 1ed. Recife: Actionaid, 2017, v. 1, p. 33-48.

BAYALA, Jules; PRIETO, I. Water acquisition, sharing and redistribution by roots: applications to agroforestry systems. **Plant and Soil**, v. 453, p. 17-28, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-019-04173-z>. Acesso em: 27 ago. 2024.

BLACKSHAW, J. K.; BLACKSHAW, A. W. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 34, n. 2, p. 285–295, 1994. DOI: 10.1071/EA9940285.

BRASIL. Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 25 ago. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 29 dez. 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 23 ago. 2024.

BRASIL. Lei nº 14119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nºs 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Brasília, Disponível em: https://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03///_Ato2019-2022/2021/Lei/L14119.htm. Acesso em: 28 ago. 2024.

BRASIL. Lei nº 1.348, de 10 de fevereiro de 1951. Dispõe sobre a revisão dos limites da área do polígono das secas. Brasília, DF, 14 fev. 1951. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1950-1959/lei-1348-10-fevereiro-1951-361925-norma-atualizada-pl.html>. Acesso em: 27 ago. 2024.

BRASIL. Plano ABC: agricultura de baixo carbono: Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono: Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012. ISBN 978-85-7991-062-0.

BRASIL. Projeto de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido - Viva o Semiárido (PVSA): Relatório de Conclusão do Projeto. Brasília, 2022. 150 p. Disponível em: <https://vivaosemiarido.org.br/inicio/wp-content/uploads/2023/02/Relatorio-de-Conclusao->

[PVSA-2022.pdf](#). Acesso em; 19 ago. 2024.

BRITO, L. T. de L.; CAVALCANTI, N. de B.; SILVA, A. de S. Irrigação de salvação em culturas anuais. In: FURTADO, D. A.; BARACUHY, J. G. de V.; FRANCISCO, P. R. M.; FERNANES NETO, S.; SOUSA, V. A. de (org.). Tecnologias adaptadas para o desenvolvimento sustentável do Semiárido brasileiro. Campina Grande: EPGraf, 2014. cap. 2, p. 17-20. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/984951>. Acesso em: 13 jun. 2025.

BARROS, Laiza Leão. Produção animal em sistema agrossilvipastoril. 2022. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2022. Disponível em: <http://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/5005>. Acesso em: 27 ago. 2024.

CAMPOS, Allan Radax Freitas. Manejo de irrigação na palma forrageira: definição de critérios com base no potencial matricial da água no solo. 2018. 102 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, BA, 2018. Disponível em: https://ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/ALLAN_RADAX_FREITAS_CAMPOS.pdf. Acesso em: 6 set. 2025.

CAMPOS, C. S.; OLIVEIRA, R. V. Estoque de carbono no solo sob diferentes tipos de uso no bioma Caatinga. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 26, n. 104, p. 86-105, abr. 2025. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/74601/41024>. Acesso em: 28 jul. 2026.

CARVALHO, Kelly Cristina Melo de. Planejamento territorial e regionalização no Piauí: uma análise a partir dos Territórios de Desenvolvimento. 2019. 90 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/handle/123456789/1828>. Acesso em: 18 jul. 2025.

CASTRO, J. B. S. S. Potencialização dos serviços ecossistêmicos em sistema agrossilvipastoril com adubação nitrogenada. 2021. 51 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/handle/123456789/4434>. Acesso em: 12 ago. 2026.

COELHO, Victor H. R. et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014. DOI: 10.1590/S1415-43662014000100009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/7hTsMfpbbPzGYzMTWwP6spw/?format=html&lang=pt&ilang=pt_BR. Acesso em: 17 abr. 2024

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2011. Resolução, n. 429, de 28 de Fevereiro de 2011. Dispõe sobre a metodologia de recuperação das Áreas de Preservação Permanente-APPs. Publicada no DOU, n. 43. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0429-280211.PDF>. Acesso em: 22 ago. 2024.

CONTI, Irio Luiz; SCHROEDER, Edni Oscar (orgs.). **Convivência com o Semiárido Brasileiro: Autonomia e Protagonismo Social**. Brasília: Editora IABS, 2013. 208 p. ISBN 978-85-64478-20-6. Disponível em: <https://www.asabrazil.org.br/images/UserFiles/File/convivenciacomosemiaridobrasileiro.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2024.

CRESPO, A. M.; SOUZA, M. N.; SILVA, M. A. B. Ciclo do carbono (C) e sistemas agroflorestais na sustentabilidade da produção agrícola: Revisão de literatura. **Incaperevista**, Vitória, v. 13-14, p. 6-19, 2023. Disponível em: <https://www.revista.incapere.gov.br/index.php/ojs/article/view/12>. Acesso em: 29 jul. 2026.

COTRUFO, M. Francesca et al. Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. **Nature Geoscience**, [S.L.], v. 12, n. 12, p. 989-994, 18 nov. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41561-019-0484-6>.

COUTO, W. H. et al. Carbono, Nitrogênio, Abundância Natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do Solo sob Sistemas Agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/loram/a/WRbDJwYnfq9RGvpJdXvM8Jm/?lang=pt>. Acesso em: 28 jul. 2026.

DERISSO, Vitoria Duarte; CÉSAR, Ricardo Gomes; VIANI, Ricardo Augusto Gorne; GOMES, Haroldo Borges; VIDAL, Edson. Ecological indicators for monitoring coffee agroforestry systems in protected areas: a case study in São Paulo State, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 224, 104245, 2025. DOI: 10.1016/j.agsy.2024.104245. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104245>. Acesso em: 9 set. 2025.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça. Analysis of the paper “Peripheral depressions and semiarid depressions in Northeast Brazil”, by Aziz Ab’Sáber (1956) / Análise do artigo “Depressões periféricas e depressões semiáridas no Nordeste do Brasil”, de Aziz Ab’Sáber (1956). **Margarida Penteado Revista de Geomorfologia**, v. 1, n. 2, p. 1-9, 2024. Disponível em: <https://revistaaprogeomg.org.br/index.php/margaridapenteadorevista/article/view/68/59>. Acesso em: 18 ago. 2024.

ESPÍNDOLA, G. M. de; et al. Cropland expansion as a driver of land-use change: the case of Cerrado–Caatinga transition zone in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, p. 17146-17160, nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01387-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-021-01387-z#citeas>. Acesso em: 03 jun.

2025.

FARIA, Ana Tereza Dutra Pena de. **Comunidade quilombola Lagoas**. Belo Horizonte: FAFICH, 2016. 16 p. (Terras de Quilombos). Disponível em: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/lagoas.pdf/@@display-file/file>. Acesso em: 9 set. 2026.

FARIAS, José Ray Martins. Resposta da vegetação lenhosa em área de caatinga submetida ao manejo silvipastoril. 2020. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2020. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/19511>. Acesso em: 26 abr. 2025.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA SUSTENTÁVEL – FAS. **Práticas Agroecológicas: guia de saberes e práticas sustentáveis para comunidades ribeirinhas da Amazônia: volume 3 – sistemas agroflorestais**. Manaus: FAS, 2020. 43 p. ISBN 978-65-89242-13-0. Disponível em: https://fas-amazonia.org/wp-content/uploads/2022/12/educacao-praticas-agroecologicas_3_compressed.pdf. Acesso em: 26 ago. 2024.

FELICIANO, Diana et al. Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.L.], v. 254, p. 117-129, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.032>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880917305297>. Acesso em: 22 abr. 2024.

FERNANDES, Shaline Séfara Lopes et al. Serviços ambientais culturais e de suporte: percepção por agricultores familiares em sistemas agroflorestais do Brasil e Costa Rica. **Research, Society and Development**, [S.L.], v. 9, n. 12, 15 dez. 2020. **Research, Society and Development**. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i12.10783>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10783/9729>. Acesso em: 26 abr. 2024.

FIGUEIREDO, L. P. S. Agri'cultura' que alimenta a terra: qualidade dos solos de quintais agroflorestais. 2025. 241 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2025. Disponível em: <https://hal.science/tel-05551790/>. Acesso em: 11 ago. 2026.

FREIRE, Bernardo Curvelano. Questões postas ao território: mineração e comunidades produtoras em São Raimundo Nonato. Curitiba: UNIVASF/CRV, 2018. Disponível em: https://www.academia.edu/download/57806172/Capitulo_6_-_Questoes_postas_ao_territorio_1.pdf. Acesso em: 17 jul. 2025.

GONÇALVES, André Luiz Rodrigues; MEDEIROS, Carlos Magno de; MATIAS, Rivanelde Lígia Almeida de. **Sistemas agroflorestais no Semiárido brasileiro: estratégias para combate à desertificação e enfrentamento às mudanças climáticas**. Recife: Centro Sabiá/Caatinga, 2016. 136 p. Disponível em:

https://issuu.com/centrosabia/docs/sistemas_agroflorestais_no_semi__ri. Acesso em: 23 ago. 2024.

GONÇALVES, A. L. et al. Ocorrência de espécies nativas e exóticas nos quintais agroflorestais urbanos de Breu Branco-PA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 994-1010, 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Alisson-Reis/publication/317713918_OCORRENCIA_DE_ESPECIES_NATIVAS_E_EXOTICAS_NOS_QUINTAIS_AGROFLORESTAIS_URBANOS_DE_BREU_BRANCO-PA/links/5ba162ed92851ca9ed14af24/OCORRENCIA-DE-ESPECIES-NATIVAS-E-EXOTICAS-NOS-QUINTAIS-AGROFLORESTAIS-URBANO-S-DE-BREU-BRANCO-PA.pdf. Acesso em: 23 jun. 2025.

GOMES, J. H. Indicadores físicos e biológicos do solo em sistemas agroflorestais no bioma Amazônia. 2024. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1394769>. Acesso em: 29 jul. 2026.

GOULART, Aline Gomes. **Modelo de sistema agroflorestal como alternativa de uso do solo em áreas em processo de arenização em São Francisco de Assis - RS.**

Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/206818/001113497.pdf?sequence=1&isAlloved=y>. Acesso em: 28 ago. 2024.

GOULART, Isabelle Cristine Garcia. **Sistemas agroflorestais e seus serviços ecossistêmicos na RDS do Uatumã, Amazonas, Brasil.** 2020. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. Disponível em:

<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7830>. Acesso em: 28 ago. 2024.

GUIMARÃES, T. G.; MADEIRA, N. R. Sistema Filho: fruticultura integrada com lavouras e hortaliças. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2017. 12 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 34). Disponível em:

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos – Piauí. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/pdf/pi.pdf. Acesso em: 13 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. BDIAWeb – Banco de Dados e Informações Ambientais. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/>. Acesso em: 7 set. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. Terras de Quilombos – Lagoas (Piauí). Coleção Terras de Quilombos. Brasília: INCRA;

NEAD-SEAD; UFMG, [s.d.]. Disponível em:
<https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/lagoas.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Índice Ultravioleta. Disponível em: https://satelite.cptec.inpe.br/uv/?utm_source. Acesso em: 5 set. 2025.

IWATA, Bruna de Freitas et al. Manejo de resíduos em argissolo sob agrofloresta no semiárido cearense. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 20702-20716, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n4-300>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/9098/7730>. Acesso em: 22 abr. 2024.

IWATA, B. F. et al. Total and particulate contents and vertical stratification of soil organic carbon in agroforestry systems in Caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 34, n. 2, p. 443-451, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/gHhJDQ4wJxwCtZVJYm6g6cB/?lang=en>. Acesso em: 30 jul. 2026.

IWATA, B. F. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/896JCprfHvQjNy5cmMg7jmJ/?lang=pt>. Acesso em: 08 ago. 2026.

LIMA, Odenilson de Deus Ribeiro. Atividade biológica associada à leguminosa nativa sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e à palmeira ruderal babaçu (*Attalea speciosa* Mart.) no Maranhão central. 2023. Tese (Doutorado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2023. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/jspui/handle/123456789/2917>. Acesso em: 26 jun. 2025.

LIMA, M. G. de et al. **Climas do Piauí: interações com o ambiente**. Teresina: Edufpi, 2020. 144 p. ISBN 978-65-86171-80-8.

LIMA, S. S. et al. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 51-60, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/DvYcwJFGb9sdks9LckWgHGK/?lang=pt>. Acesso em: 30 jul. 2026.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. das C.; COSTA, D. B.; ARAÚJO, F. S.; HOLANDA NETO, M. R. **Sistemas agroflorestais em latossolos no cerrado piauiense**: teores de nutrientes e estoques de carbono. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira: anais. Gramado: SBCS, 2007. 4 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/69605>. Acesso em: 20 jun. 2025

MACEDO, Manuel Cláudio Mota et al. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. **Encontro de Adubação de Pastagens da Scot Consultoria**. Ribeirão Preto: Scot Consultoria, v. 1, p. 158-181, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Manuel-Macedo-2/publication/267771203_Metodos_de_recuperacao_de_pastagens_degradadas/links/605cf33d458515e8346fe624/Metodos-de-recuperacao-de-pastagens-degradadas.pdf. Acesso em: 29 jul. 2026.

MARTINS, E. M. et al.. O uso de sistemas agroflorestais diversificados na restauração florestal na Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 632–648, abr. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/69Wm8Q5W3HhMpKMK8MnxqXR/?format=html&lang=pt#>. Acesso em: 27 ago. 2024.

MARTINS, Esther (ed.). Caderno de casos: semiárido brasileiro: Serra da Capivara, Piauí: sistema agroflorestal – SAF da Fazenda Xique Xique. São Lourenço do Piauí: DAKI – Semiárido Vivo, 2022. (Coleção de Experiências DAKI – Semiárido Vivo). Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7830>. Acesso em: 08 jul. 2025.

MÂNCIO, Adriana; DANTAS, Rafael. Research shows the Caatinga is Brazil's most efficient carbon capture biome. **Mongabay**, 10 maio 2024. Disponível em: <https://news.mongabay.com/2024/05/research-shows-the-caatinga-is-brazils-most-efficient-carbon-capture-biome/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

MACEDO, Rodrigo Santana et al. PROCESSOS PEDOGENÉTICOS E SUSCEPTIBILIDADE DOS SOLOS À DEGRADAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 22, n. 81, p. 176-195, 1 jun. 2021. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg228155397>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/55397>. Acesso em: 28 ago. 2024.

MAGALHÃES, Rafaela Batista. Aspectos radiculares de espécies arbóreo-arbustivas em sistema agroflorestal e seus efeitos no solo. 2017. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/29001/3/2017_dis_rbmagalhaes.pdf. Acesso em: 03 jul. 2025.

MACHADO, Dilson Duarte Pinto; CORREIA, Maria Elizabeth Fernandes. Agroforestry systems as an alternative for agriculture around conservation units. **Cadernos de Geografia**, v. 48, 2023. DOI: https://doi.org/10.14195/0871-1623_48_3. Disponível em: <https://impactum-journals.uc.pt/cadernosgeografia/article/view/12728>. Acesso em: 1 set. 2025.

MATOS, E. S.; ANTONIO, D. B. A.; RODRIGUES, R. Estoques de carbono e nitrogênio do solo em área de SAF e floresta nativa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 10., 2016, Cuiabá. **Anais**. Cuiabá: SBSAF, 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1066260>. Acesso em: 03 ago. 2026.

MATIAS, V. A. Efeito da composição funcional de sistemas agroflorestais sucessionais sobre propriedades biogeoquímicas de solo arenoso hidromórfico. 2021. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/230958>. Acesso em: 12 ago. 2026.

MATTOS, V. Z. A. Análise da Viabilidade das Tecnologias Agrícolas de Baixo Carbono para os pequenos produtores rurais do semiárido brasileiro. 2025. 130 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://ppe.coppe.ufrj.br/publicacao/analise-da-viabilidade-das-tecnologias-agricolas-de-baixo-carbono-para-os-pequenos-produtores-rurais-do-semiarido-brasileiro/>. Acesso em: 12 ago. 2026.

MELO, J. O.; DANTAS-MEDEIROS, R.; MOREIRA, L. G. L.; GIORDANI, R. B.; ZUCOLOTO, S. M. A Caatinga: um bioma exclusivamente brasileiro. **Ciência e Cultura**, v. 75, n. 4, p. 1-9, 2023. DOI: 10.5935/2317-6660.20230048. Disponível em: https://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-6725202300040004&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 25 ago. 2024.

MORAIS, Adão Barros de. **Cronossequência em sistema agroflorestal: impacto nos teores de carbono, água e nutrientes do solo**. 2022. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/71689>. Acesso em: 28 ago. 2024.

MUNIZ, Sebastião Pereira; FELIX, Janaine de Lima; SILVA, José Alisson Santos. RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA DAS MARGENS DO RIO CARIUS UTILIZANDO ESPÉCIES *Mimosa caesalpiniiifolia* BENTH NATIVA DA CAATINGA – PLANTA SABIÁ, NO MUNICÍPIO DE NOVA OLINDA – CE. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 57–68, 2024. DOI: 10.51189/integrar/rem/4446. Disponível em: <https://editoraintegrar.com.br/publish/index.php/rem/article/view/4446>. Acesso em: 8 set. 2025.

NETO, Rubens Marques Rondon. Performance silvicultural de eucalipto em dois modelos de plantio em sistema silvipastoril. **Scientia Naturalis**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 1-9, 2022. Even3. <http://dx.doi.org/10.29327/269504.4.2-1>. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/6161>. Acesso em: 27 ago. 2024.

NEPOMUCENO, Izaíra Vasconcelos. Análise florística e biogeográfica das savanas da caatinga. 2021. 99 f. Dissertação (Mestrado em Sistemática, Uso e Conservação da Biodiversidade) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de

Pós-Graduação em Sistemática, Uso e Conservação da Biodiversidade, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/57650>. Acesso em: 6 set, 2025.

NOVAIS, Giuliano Tostes. Classificação climática aplicada ao Bioma Cerrado. 2019. 184 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.1e.2019.2199>. Acesso em: 01. fev. 2024.

NOVAIS, G.T. Distribuição média dos Climas Zonais no Globo: estudos preliminares de uma nova classificação climática. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.05, p. 1614-1623, 2017.

OLIVEIRA, Arley Andesom Soares de; SOARES, Marciane Borges. Qualidade física do solo e produção de serapilheira em sistemas agroflorestais no município de Irituia-Pa. Orientador: Victor de Oliveira Ferreira. 2021. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capião Poço, 2021. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/3256>. Acesso em: 14 fev. 2025.

OLIVEIRA, Lua Naama Custódio de. Quantificação da produção de biomassa e da cobertura do solo em sistemas agroflorestais no município de Trairí - CE. 2022. 47 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/71073>. Acesso em: 28 ago. 2024.

ORESCA, Denizard. Efeitos das mudanças no uso da terra na respiração do solo e das raízes na região semiárida de Pernambuco. 2022. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/45351>. Acesso em: 27 ago. 2024.

PADOVAN, Milton Parron; MAYER, Tatiana da Silva; PEREIRA, Zefa Valdivina. Modelo de arranjo agroflorestal biodiverso para restauração ecológica de Áreas de Preservação Permanente, com geração de renda. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2022. 37 p. (Documentos / Embrapa Agropecuária Oeste, ISSN 1679-043X; 146). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1145056>. Acesso em: 8 set. 2025.

PENEIREIRO, F. M. Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso. 1999. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999. Disponível em: <http://www.lerf.esalq.usp.br/divulgacao/produtos/dissertacoes/peneireiro1999.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2026.

PEREIRA, Marcilio Felix. **Agrobiodiversidade, produção de serrapilheira e cobertura de solo em sistemas agroflorestais de região semiárida**. 2021. 41 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,

2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/62010>. Acesso em: 23 abr. 2024.

PEREZ-MARIN, Aldrin Martin et al. Ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *Gliricidia sepium*.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 32, n. 6, p. 2573-2579, dez. 2008.

FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000600034>.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/TCz3NqxCw56PGHqCSmP9Zjk/?lang=pt&format=html#>.

Acesso em: 28 ago. 2024.

PIAUÍ. Decreto nº 22.306, de 08 de agosto de 2023. Declara situação de emergência provocada pelo desastre natural classificado e codificado como "Estiagem" (COBRADE 1.4.1.1.0), nos municípios que especifica. Diário Oficial do Estado do Piauí, Teresina, 08 ago. 2023. Disponível em:

[https://www.diario.pi.gov.br/doe/files/diarios/anexo/3ea10c5f-b5c2-4d5e-a235-0c1fb8d8b790/DIARIO-OFICIAL-DO-ESTADO-DO-PIAUI-PUBLICACAO-N-154%20\(4\).pdf](https://www.diario.pi.gov.br/doe/files/diarios/anexo/3ea10c5f-b5c2-4d5e-a235-0c1fb8d8b790/DIARIO-OFICIAL-DO-ESTADO-DO-PIAUI-PUBLICACAO-N-154%20(4).pdf). Acesso em: 26 ago. 2024.

PIAUÍ. Lei nº 5.178, de 27 de dezembro de 2000. Dispõe sobre a política florestal do Estado do Piauí e dá outras providências.. . Teresina, PI, Disponível em:

<https://www.mppi.mp.br/internet/wp-content/uploads//2017/09/publicacao%20-%20legislao%20ambiental%20do%20estado%20do%20piaui%20-%20semar.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2024.

PIAUÍ. Lei nº 6.140, de 06 de dezembro de 2011. Institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima e Combate à Pobreza - PEMCP e dá outras providências. Disponível em:

<https://www.mppi.mp.br/internet/wp-content/uploads//2017/09/publicacao%20-%20legislao%20ambiental%20do%20estado%20do%20piaui%20-%20semar.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2024.

PIAUÍ. Lei nº 8095, de 13 de julho de 2023. Institui a Política Estadual de Combate à Desertificação e para fins de Recuperação de Áreas Degradadas no estado do Piauí. Teresina, PI, Disponível em:

https://sapl.al.pi.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2023/5720/lei_no_8095_de_13_de_julho_de_2023.pdf. Acesso em: 27 ago. 2024.

PIAUÍ. Decreto nº 23.519, de 03 de janeiro de 2025. Declara situação de emergência provocada pelo desastre natural classificado como "Seca", nos municípios que especifica. Diário Oficial do Estado do Piauí, Teresina, 3 jan. 2025. Disponível em: https://www.diario.pi.gov.br/doe/files/diarios/anexo/89c18560-2d62-4d75-9149-ee96b1a7e545/DOEPI_2_2025.pdf. Acesso em: 24 fev. 2025.

PIVOTO, Altair Sancho et al. Serviços Ecossistêmicos Culturais em Áreas Protegidas: uma revisão da literatura. **Cultur - Revista de Cultura e Turismo**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 1-31, 30 mar. 2022. Universidade Estadual de Santa Cruz.

<http://dx.doi.org/10.36113/cultur.v16i1.3270>. Disponível em:
<https://periodicos.uesc.br/index.php/cultur/article/view/3270>. Acesso em: 28 ago. 2024.

PORFIRIO, V.; SANTOS, M. V. Perspectivas da arborização de pastagens na produção animal agroecológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 2., 2010, Viçosa, MG. **Agropecuária, agroecologia e cooperativismo: anais**. Viçosa, MG: UFV, 2010. p. 207-226. Disponível em:
<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/864065>. Acesso em: 6 set. 2025.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; KATO, O. R.; OLIVEIRA, F. de A.; MIRANDA, I. de S. **Floresta secundária como pousio em sistemas agroflorestais sequenciais na Amazônia**. In: CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. de A. (Org.). Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias. Belém: EDUFRA, 2017. cap. 6, p. 191-208.

SACRAMENTO, J. A. A. S. et al. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 784-795, 2013. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/V8sfqxNnshzp9JhzbptvNkH/?lang=en>. Acesso em: 28 jul. 2026.

SANTANA, Mônica et al. Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 16, p. e00205, 2019. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352009418302256>. Acesso em: 27 jul. 2026.

SALOMÃO, R. P.; GONÇALVES, L. K. S.; MORAIS, R. F. de; et al. Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a mosaic habitat at the ecotone between two savanna ecosystems in the Neotropical region. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 39, p. 249-256, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42690-019-00031-8>.

SALVADOR, Maria do Socorro Silva; DE LIMA, Valéria Raquel Porto. ANÁLISE DO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO DA VEGETAÇÃO EM UMA ÁREA DO BIOMA CAATINGA. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 15, n. 2, p. 248-264, 2021. Disponível em:
https://www.researchgate.net/profile/Maria-Salvador-17/publication/374153253_ANALISE_DO_PROCESSO_DE_DEGRADACAO_DA_VEGETACAO_EM_UMA_AREA_DO_BIOMA_CAATINGA/links/65107a4b61f18040c220e2e8/ANALISE-DO-PROCESSO-DE-DEGRADACAO-DA-VEGETACAO-EM-UMA-AREA-DO-BIOMA-CAATINGA.pdf. Acesso em: 28 ago. 2024.

SILVA, Antonio Joaquim da. OS DESAFIOS DA AGRICULTURA FAMILIAR DO CERRADO PIAUIENSE. **Revista da Academia de Ciências do Piauí, Teresina**, v. 2, n. 2, p. 1-20, 28 ago. 2021. Disponível em:
<https://periodicos.ufpi.br/index.php/acipi/article/view/913>. Acesso em: 30 ago. 2024.

SILVA, Ana Caroline Coelho Pereira da; GONÇALVES, Clécia Simone; PACHECO,

Rosa. Sistemas agroflorestais na Caatinga: uma revisão de escopo. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 4, n. 3, 2023. Disponível em: <https://ime.events/coneamb2023/pdf/28880>. Acesso em: 18 jul. 2025.

SILVA, Adeildo Fernandes da et al. **Agricultura agroflorestal e criação animal no semiárido**. Recife: Centro de Desenvolvimento Agroecológico Sabiá, 2010. 54 p. Disponível em: https://issuu.com/centrosabia/docs/agricultura_agroflorestal_no_semiar. Acesso em: 23 ago. 2024.

SILVA, F. D. O. **Avaliação da produção de serviços ambientais dos sistemas agroflorestais (SAFs) do município de Teresina - Piauí**. 2023. 130 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, Teresina, 2023. Disponível em: <http://bia.ufpi.edu.br:8080/jspui/handle/123456789/2726>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SILVA, João Henrique Constantino Sales et al. INDICADORES QUALITATIVOS DO AMBIENTE EDÁFICO E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM DIFERENTES SISTEMAS DE OCUPAÇÃO DA TERRA. **Nativa**, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 519-527, 18 dez. 2021. *Nativa*. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v9i5.13079>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/13079>. Acesso em: 28 ago. 2024.

SILVA, J. N. B. et al. Estimativas do Sequestro de Carbono em Espécies Predominantes na Vegetação de Caatinga: Compreendendo a Dinâmica do Carbono em um Bioma Semiárido. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 92-106, 2025. Disponível em: <https://www.revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1879>. Acesso em: 29 jul. 2026.

SANTANA, Luan Matheus; MARTINS, Tânia. Selo orgânico e agroflorestas: a experiência que está transformando quintais quilombolas no Piauí. **Marco Zero Conteúdo**, 01 fev. 2024. Disponível em: <https://marcozero.org/selo-organico-e-agroflorestas-a-experiencia-que-esta-transformando-quintais-quilombolas-no-piaui/>. Acesso em: 04 abr. 2025.

SANTIAGO, Cristiane Maria Cordeiro; SALES, Marta Celina Linhares; PAULA, Jorge Eduardo Abreu. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL DA BACIA DO RIO SÃO NICOLAU-SEMIÁRIDO PIAUIENSE. **Revista Equador**, v. 2, n. 1, p. 118-139, 2013. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/1035/1023>. Acesso em: 26 ago. 2024.

SANTOS, Wagner Martins dos; MARTINS, Lady Daiane Costa de Sousa; COSTA, Claudenilde de Jesus Pinheiro; MATOS, Yasmin Caroline da Silva; MEDEIROS, Luana da Silva; AVIZ, Rhaiana Oliveira de; LOPES DOS ANJOS, Marcelo; VIANA, Vinícius Soares; BEZERRA DE LIMA, Jonas; SILVA, Welder Willian Ângelo da; SALVADOR, Kaique Renan da Silva; BEZERRA, Alan Cezar; SOUZA, Evaristo Jorge Oliveira de. Sistemas agroflorestais no Semiárido Brasileiro: uma revisão sobre viabilidade,

benefícios econômicos e ecológicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 18, n. 1, p. 200–220, 2025. Disponível em:

<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/download/261315/48212/278189&ved=2ahUKEwipssulsM-OAxUsBLkGHRBdCGgQFnoECA0QAQ&usq=AOvVaw190sgx5P7fREqgAAfBGdjy>. Acesso em: 3 set. 2025.

SCHEMBERGUE, A.; CUNHA, D. A. da; CARLOS, S. de M.; PIRES, M. V.; FARIA, R. M. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil 2. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 1, p. 9–30, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550101>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/Wh4yNYqTzKtYhXXST8QFCTF/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 2 set. 2025.

STEINFELD, W. et al. Increasing complexity of agroforestry systems benefits nutrient cycling and mineral-associated organic carbon storage, in south-eastern Brazil.

Geoderma, v. 438, 116726, 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706123004032>. Acesso em 20 jul. 2026.

SOARES, Marcelo de Oliveira et al. Challenges and perspectives for the Brazilian semi-arid coast under global environmental changes. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 267-278, 2021. DOI: 10.1016/j.pecon.2021.06.001.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2530064421000523?via%3Dihub>. Acesso em: 19 ago. 2024.

SOBRAL, L. F. et al. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1042994/guia-pratico-para-interpretacao-de-resultados-de-analises-de-solos>. Acesso em: 25 jun. 2025.

SOS AMAZÔNIA. **Sistemas Agroflorestais**. Rio Branco: SOS Amazônia, 2016. 44 p. Disponível em:

<https://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/acervo-projetos-cartilhas-outros/SOS-Amazonia-Sistemas-Agroflorestais-cartilha.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2024.

SOUZA, Danilo Diego de. **Adaptações de plantas da Caatinga**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 96 p. Disponível em:

https://books.google.com.br/books?id=UvGnEAAAQBAJ&dq=vegeta%C3%A7%C3%A3o+caatinga+seca+adapta%C3%A7%C3%A3o&lr=&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s. Acesso em: 13 jun. 2025.

SOUZA, Kaíse Barbosa *et al.* Mudança no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Uruçuí-Preto, Piauí. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 5, n. 11, p. 25490-25511, 2019. Brazilian Journal of Development.

<http://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n11-211>.

SOUSA, Thallyson Bruno Ferreira de; CORONEL, Daniel Arruda. Agroflorestas: uma alternativa à produção alimentar e à recuperação ambiental. **Revista UNEMAT de Contabilidade**, [S. l.], v. 14, n. 27, p. 43–68, 2025. DOI: 10.30681/ruc.v14i27.13513. Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/ruc/article/view/13513>. Acesso em: 8 set. 2025.

SUASSUNA, João. **SEMI-ÁRIDO: proposta de convivência com a seca**. 2021.

Disponível em:

<https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/artigos-d-e-joao-suassuna/semi-arido-proposta-de-convivencia-com-a-seca>. Acesso em: 28 ago. 2024.

TAVARES, Válter Cardoso; ARRUDA, Ítalo Rodrigo Paulino de; SILVA, Danielle Gomes da. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, [S.L.], v. 34, n. 70, p. 385-405, 25 mar. 2019. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

<http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385>. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/2177-5230.2019v34n70p385/38526>. Acesso em: 23 ago. 2024.

WANG, Zikui et al. Modeling the coupling processes of evapotranspiration and soil water balance in agroforestry systems. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 250, p. 106839, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106839>.

Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377421001049?casa_token=hASAcbyNMNcAAAAA:hASDJJoFVpmy67nBZjOZDaDfyyDsu8HAe-zCdsu7qNK0BhgtLPLxjo5wSNVex9cgQRAWjCWIV8c. Acesso em: 28 ago. 2024.

WEIHS, M. et al.. “Tudo lindo e maravilhoso”: vulnerabilidade e bem-estar na agrossilvicultura camponesa na fronteira agrícola da Amazônia. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 63, p. e286204, 2025. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/resr/a/B6tFd4bVYdr96FPFsKtsMDM/?format=html&lang=pt>.

Acesso em: 18 jul. 2025.

WENDLING, Beno; JUCKSCH, Ivo; MENDONÇA, Eduardo de Sá; VINHAL-FREITAS, Isabel Cristina. Mudanças no carbono e nitrogênio em diferentes compartimentos da matéria orgânica sob sistema agrossilvipastoril. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 641-653, out./dez. 2011. DOI: 10.5902/198050984509.

APÊNDICE 01 - Link do CAFE-Caatinga

<https://cafecaatinga.vercel.app/>

APÊNDICE 02 - Interface da tela do CAFE-Caatinga

TECNOLOGIA PARA AGROFLORESTAS DO SEMIÁRIDO

CAFE-Caatinga

Ferramenta para o agricultor registrar dados da propriedade e estimar carbono estocado, situação hídrica e produtividade do sistema agroflorestal.

Como usar

Preencha apenas os dados que você possui. Os cálculos são atualizados automaticamente e os resultados podem ser impressos ou salvos no navegador.

Calcular tudo

Salvar neste navegador

Exportar dados

Importar dados

Imprimir relatório

Limpar

1-Cadastro do SAF

Informações da propriedade

Dados básicos para identificar a área monitorada.

Nome do agricultor ou da família

Ex.: Família Silva

Nome da propriedade ou comunidade

Ex.: Sítio Boa Esperança

Município

Ex.: São Raimundo Nonato

UF

PI

Idade do SAF (anos)

Ex.: 4

Área total do SAF (ha)

1

Área da parcela inventariada (m²)

400

Data da medição

17/08/2026

2-Carbono

Biomassa e carbono das árvores

Informe o DAP de cada árvore ou fuste medido. A versão atual usa, como cálculo exploratório, a equação $B = 0,173 \times DAP^{2,295}$, aplicável somente a DAP entre 3 e 30 cm.

ESPÉCIE	DAP (CM)	BIOMASSA ESTIMADA (KG)	COMPATIBILIDADE
Ex.: umbuzeiro	cm	0,00	Aguardando
Ex.: umbuzeiro	cm	0,00	Aguardando
Ex.: umbuzeiro	cm	0,00	Aguardando

+ Adicionar árvore

Carregar exemplo

Biomassa aérea

0,00 Mg/ha

Carbono da biomassa

0,00 Mg C/ha

CO₂ equivalente da biomassa

0,00 t CO₂e/ha

Árvores válidas

0 indivíduos/fustes

Carbono do solo

Carbono orgânico do solo (g/kg)

Densidade do solo (Mg/m³)

Espessura da camada (cm)

0,3

Carbono do solo

0,00 Mg C/ha

Carbono total considerado

0,00 Mg C/ha

CO₂ equivalente total

0,00 t CO₂e/ha

Confiabilidade

Exploratória ver diagnóstico

⚠ Exploratória confiabilidade

A estimativa usa equação genérica regional e fator padrão de carbono.

3-Água

Balanco hídrico diário

Use dados de chuva, solo e evapotranspiração para acompanhar a depleção de água e o risco de estresse hídrico.

ETo (mm/dia)

Kc efetivo do sistema

Capacidade de campo, ΘFC (m³/m³)

Evapotranspiração de referência.

Ponto de murcha, ΘWP (m³/m³)

Profundidade efetiva da raiz (m)

Fração p

Depleção no dia anterior (mm)

Chuva P (mm)

Escoamento RO (mm)

Irrigação líquida I (mm)

Ascensão capilar CR (mm)

Percolação profunda DP (mm)

ETc potencial

TAW

RAW

Depleção atual

Coefficiente de estresse Ks

ETc ajustada

Margem até estresse

Percentual de depleção

Dados de solo inválidos

Verifique capacidade de campo, ponto de murcha e profundidade radicular.

4-Produtividade

Produção e eficiência do SAF

Cadastre os produtos do sistema e, quando houver, uma produtividade de referência em cultivo separado.

PRODUTO/CULTURA

PRODUÇÃO NO SAF (KG/HA)

REFERÊNCIA EM CULTIVO SEPARADO (KG/HA)

LER PARCIAL

Ex.: milho

—

x

Ex.: milho

—

x

+ Adicionar produto

Carregar exemplo

LER / UET total

Interpretação

0,000

Sem dados

Estimativa de produtividade sob déficit hídrico

Produtividade máxima Ym (kg/ha)

Ky

ET real, ETa (mm)

ET máxima, ETm (mm)

Fator de resposta ao déficit hídrico.

Produtividade estimada Ya

Redução estimada

Produtividade da água

Dados insuficientes

Cadastre pelo menos uma cultura com produtividade no SAF e referência comparável.

5-Painel Integrado

Diagnóstico do SAF

Síntese dos três módulos. Os resultados são estimativas e devem ser interpretados junto com as condições locais e a qualidade dos dados de entrada.

Carbono

0,00 Mg C/ha

Equivale a 0,00 t CO₂e/ha nos compartimentos considerados.

Água

0,00 mm de depleção

Dados de solo inválidos. TAW = 0,00 mm e RAW = 0,00 mm.

Produtividade

LER 0,00

Produtividade estimada sob déficit: 0 kg/ha; produtividade da água: 0,000 kg/m³.

▼ Base científica, fórmulas e referências

Carbono

$$\text{Biomassa individual (kg)} = 0,173 \times \text{DAP}^2,295$$

$$\text{Biomassa por hectare (Mg/ha)} = (\Sigma \text{ biomassa individual} / 1000) \times (10000 / \text{área da parcela em m}^2)$$

$$\text{C biomassa} = \text{Biomassa} \times 0,47$$

$$\text{CO}_2\text{e} = \text{Carbono} \times 44/12$$

$$\text{C solo (Mg C/ha)} = \text{Corg (g/kg)} \times \text{densidade (Mg/m}^3) \times \text{espessura (cm)} / 10$$

Água

$$\text{ETc} = \text{Kc} \times \text{ETo}$$

$$\text{TAW} = 1000 \times (\theta\text{FC} - \theta\text{WP}) \times \text{Zr}$$

$$\text{RAW} = p \times \text{TAW}$$

$$\text{Dr},1 = \text{Dr},1-1 - (P - \text{RO}) - I - \text{CR} + \text{ETc} + \text{DP}$$

$$\text{Se Dr} \leq \text{RAW, Ks} = 1; \text{ caso contrário, Ks} = (\text{TAW} - \text{Dr}) / ((1 - p) \times \text{TAW})$$

Produtividade

$$\text{LER} = \Sigma (\text{Y SAF} / \text{Y referência})$$

$$1 - \text{Ya/Ym} = \text{Ky} \times (1 - \text{ETa/ETm})$$

$$\text{WP (kg/m}^3) = \text{Ya} / (10 \times \text{ETa})$$

1. IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.
2. Allen, R. G. et al. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
3. FAO. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 66.
4. **Equações alométricas para Caatinga.** A versão atual utiliza a forma $B = 0,173 \times \text{DAP}^2,295$ como cálculo exploratório para indivíduos com DAP entre 3 e 30 cm, conforme literatura regional citada no desenvolvimento conceitual da ferramenta.

Atenção metodológica: para uso científico, técnico oficial, inventários de carbono, projetos de crédito de carbono ou pagamento por serviços ambientais, substitua valores genéricos por equações, parâmetros e fatores validados para as espécies, condições edafoclimáticas e desenho amostral do estudo.

ANEXO 01 - MANEJO AGROFLORESTAL COMO AÇÃO CLIMÁTICA NO SEQUESTRO DE CARBONO E NA CONVIVÊNCIA COM A SECA NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE



SEMINÁRIO INTEGRADOR

MANEJO AGROFLORESTAL COMO AÇÃO CLIMÁTICA NO SEQUESTRO DE CARBONO E NA CONVIVÊNCIA COM A SECA NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE

Francisco Dionata de Oliveira Silva¹ e Bruna de Freitas Iwata²

¹ Mestrando em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, e-mail: dionatatcc@gmail.com

² Orientador e professor do Mestrado em Análise e Planejamento Espacial/IFPI, e-mail: iwata@ifpi.edu.br

RESUMO:

O trabalho explora a importância das práticas agroflorestais para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e melhorar a resiliência das comunidades do Semiárido à seca. O estudo investigará como os sistemas agroflorestais poderão contribuir para a captura de carbono e para a sustentabilidade socioeconômica das populações locais, considerando uma região que enfrenta desafios como a escassez de água e a degradação ambiental. A pesquisa pretende produzir evidências empíricas sobre o potencial de sequestro de carbono em áreas agroflorestais do Semiárido Piauiense, região pouco explorada. A metodologia envolverá a coleta de dados sobre o estoque de carbono no solo e na biomassa, análises da qualidade do solo, além de uma análise da dinâmica atmosférica e uma análise climática. Os resultados esperados incluem a quantificação do carbono sequestrado nessas áreas, a validação da eficácia das práticas agroflorestais para a convivência com a seca, e a estimativa do potencial dessas práticas para a mitigação das mudanças climáticas.

Palavras chave: Mudança Climática; Sistemas Agroflorestais; Caatinga; Serviços Ecossistêmicos.

1. Introdução/contextualização

A degradação ambiental advinda da exploração exaustiva da terra tem alterado consideravelmente os ecossistemas, resultando em compactação do solo, solos expostos e erodidos, contaminação dos corpos hídricos e perda da biodiversidade (Fernandes, 2020), evidenciando assim graves problemáticas que compõem o atual quadro de emergência climática.

Diante desse cenário, tem-se buscado por alternativas do uso da terra que permitam a produção e atendimento das necessidades humanas que não inviabilizam a qualidade ambiental e a produção de serviços ecossistêmicos, tais como o manejo agroflorestal.

Neste sentido, os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de produção, em que plantas lenhosas são manejadas em combinação com plantas herbáceas, frutíferas, arbustos, culturas agrícolas e forrageiras, na mesma unidade de manejo (CONAMA, Res. 429, 2011).

Feliciano *et al.* (2018) destacam que as agroflorestas funcionam como mitigador das alterações climáticas, assim como, Fernandes *et al.* (2020) afirmam que entre os diversos serviços de regulação de um SAF o que mais destaca é a regulação climatológica advinda da estocagem de carbono no solo, a fixação de carbono no solo e na biomassa desempenha um papel crucial no enfrentamento e no avanço das mudanças climáticas, conforme é destacado por Iwata *et al.* (2020), logo, os SAFs passam a ser adotados como um sistema eficiente na ação climática, tendo seu papel fundamental na manutenção dos serviços ecossistêmicos e no uso justo e saudável da terra.

O semiárido possui um grande risco de deterioração pelas suas características naturais, além disso há uma maior perda da qualidade desse solo devido a exploração no modelo exaustivo, pela agricultura e pecuária (Coelho *et al.*, 2014; Pereira, 2021), além das condições climáticas de elevadas temperaturas, altos índices de evapotranspiração e escassez hídrica.

O manejo agroflorestal é uma abordagem multifuncional que pode ajudar a alcançar vários ODS simultaneamente, promovendo a sustentabilidade ambiental, econômica e social na região do semiárido piauiense. Pode-se citar: ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável, na promoção de práticas agrícolas sustentáveis; ODS 6 - Água Potável e Saneamento, na relação de uso e reuso da água na convivência com a seca; ODS 13 - Ação contra a Mudança Global do Clima, no processo de descarbonização do planeta; ODS 15 - Vida Terrestre, no contexto da preservação da biodiversidade, recuperação de área degradadas e no manejo sustentável do solo; ODS 1 - Erradicação da Pobreza, na questão do aumento de renda; ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis, no uso consciente dos recursos naturais.

Assim, observando que a maioria de trabalhos que busca comprovar a eficiência da estocagem de carbono por meio das agroflorestas estão localizados na região amazônica (Lima *et al.*, 2011; Silva, 2023), destacando que os SAFs podem ser uma possibilidade de sistema de produção para a região semiárida e para o bioma caatinga destacando que no estado do Piauí há ainda uma escassez de trabalhos que envolva sistemas de produção de base sustentável, desta forma torna-se necessário trabalhos e pesquisas que envolvam o clima semiárido no território piauiense, destacando o tipo de solo e os biomas que abrangem o estado.

Desta forma, essa pesquisa tem como objetivo geral avaliar o nível da estocagem de carbono por sistemas agroflorestais no semiárido piauiense e sua potencialidade como sistema de produção adaptado a regiões secas na conservação de água do solo, como medida de ação climática no enfrentamento às mudanças climáticas.; e como objetivos específicos: Analisar o nível de estocagem de carbono e qualidade química do solo por sistemas agroflorestais no semiárido piauiense; Medir o nível de retenção de água das agroflorestas implantadas no semiárido piauiense; Investigar a influência que as agroflorestas manejadas no semiárido piauiense tem na regulação climática local.

Este trabalho irá se basear nas seguintes hipóteses: Hipótese 1. Os sistemas agroflorestais implantados no semiárido piauiense tem um alto nível de estocagem de carbono; Hipótese 2. Os sistemas agroflorestais contribuem com a redução de perda de água em agroecossistemas no semiárido;

2. Fundamentação teórica e conceitual

O semiárido brasileiro tem como uma das principais características o seu clima, principalmente na ocorrência de grandes secas, caracterizada pelo declínio da umidade do solo (Baptista e Campos, 2013). Esses fatores aumentam a taxa de evapotranspiração, causando déficit hídrico no solo e reservatórios, deste modo gerando um balanço hídrico negativo.

Ele apresenta os piores índices socioeconômico do Brasil, devido a má distribuição de terras e o uso irracional dos seus recursos naturais (Silva et al., 2010; Oliveira, 2022), boa parte da população desta área tem seu sustento proveniente de atividades agropecuárias e da agricultura, essas atividades são dependentes da chuva e da disponibilização de água, consequentemente ocorrem limitações de produção pela escassez hídrica nessas áreas.

Os solos do semiárido são rasos e pouco profundos (Macedo et al., 2021), uma das principais limitações ao uso agrícola. O bioma predominante na região é a Caatinga, que compõe o sertão brasileiro (Suassuna, 2019). A área semiárida apresenta alta suscetibilidade à desertificação devido ao baixo índice hídrico e alto nível de insolação (Salvador e Lima, 2021).

O semiárido piauiense, têm o seu período de estiagem entre dezembro e abril, com a pluviometria anual variando entre 350 mm a 750 mm (Viva o semiárido, 2022), a região é caracterizada condições climáticas áridas e com períodos de secas recorrentes, essas características impactam as atividades de agrícolas e na disponibilidade de água.

Segundo Silva (2021) Tradicionalmente a economia piauiense dependia fortemente do setor primário, no entanto a partir da década de 70 ocorreu uma modernização da agricultura estadual. Essa mudança acelerou a expansão da fronteira agrícola no estado, ocorrendo a intensificação do uso de terra (Silva, 2021) devido a este avanço essas áreas estão sujeitas as devastação e degradação ambiental (Souza et al., 2019). Essa expansão desordenada, tem gerado preocupações sobre a sustentabilidade a longo prazo, evidenciando a necessidade de intervenções que equilibrem a produção agrícola com a conservação dos recursos naturais e a proteção dos ecossistemas locais.

Nesse contexto, as agroflorestas surgem como uma alternativa sustentável, baseando-se em princípios ecológicos para integrar sistemas de produção. Ao consorciar diferentes espécies vegetais, as agroflorestas promovem a conservação do solo, da água e da biodiversidade (FAS, 2020). Esse sistema é especialmente eficaz no combate à degradação do solo em áreas semiáridas (Nenova e Behrend, 2016; Oresca, 2022), sendo que os Sistemas Agroflorestais (SAFs) podem ser compostos por árvores, culturas agrícolas e animais (Miccolis et al., 2016). A SOS Amazônia (2016) classifica os SAFs em quatro tipos: Silvipastoris, Agrosilvipastoris, Sistemas Agroflorestais Tradicionais e Quintais Agroflorestais.

O aumento da concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera é amplificado por fatores naturais e antrópicos, especialmente atividades agrícolas inadequadas (IPCC, 2014 apud Tavares, Arruda e Silva, 2019). As mudanças climáticas aceleram a desertificação, diminuindo os recursos naturais e intensificando a pobreza e o êxodo rural no semiárido (Gonçalves, Medeiros e Matias, 2016). No Piauí, grande parte das áreas é suscetível à desertificação (Piauí, 2023), tornando urgente a implementação de soluções para mitigar os impactos.

O sequestro de carbono é uma dessas soluções, com o solo desempenhando um papel crucial como reservatório de carbono (Broggio, 2018). As agroflorestas, ao acumular biomassa sobre o solo, potencializam a estocagem de carbono e contribuem para a manutenção do ciclo hidrológico (Goulart, 2019). Em alguns

casos, agroflorestas estabelecidas no bioma da Caatinga acumulam mais de 150 toneladas de biomassa por hectare (Gonçalves, Medeiros e Matias, 2016).

Coelho (2017) ao pesquisar uma agrofloresta localizada em São Gonçalo Gurguéia, Piauí, ela concluiu que o manejo agroflorestal atua como fator de conservação e preservação dos solos e da fauna edáfica piauiense. Além disso, a cobertura vegetal mais densa e a maior quantidade de matéria orgânica nessas áreas contribuíram para a redução da erosão e a melhoria da estrutura do solo.

Outro benefício dos SAFs é a eficiência no uso da água. Por meio de um manejo adequado, esses sistemas promovem a distribuição e o compartilhamento de recursos hídricos e nutrientes (Bayala e Pietro, 2019). Agroflorestas demonstram maior retenção de umidade no solo em comparação com sistemas de monocultivo, com superioridade de 30% (Morais, 2022). O entendimento dos processos de evapotranspiração e balanço hídrico do solo é essencial para otimizar o manejo agroflorestal em regiões semiáridas (Wang et al., 2021), com agroflorestas proporcionando um microclima mais estável e úmido (Perez-Marin e Menezes, 2008).

Morais (2022) demonstrou em sua pesquisa a eficiência da retenção e o aumento do teor de umidade do solo nas agroflorestas em comparação com sistemas de monocultivo e na área de vegetação nativa, tendo uma superioridade de 30% em comparação com as outras áreas.

O Brasil apresenta instrumentos legais para o manejo e implantação de agroflorestas em seu território (Goulart, 2019), a maioria da base jurídica que se trata dos SAFs e suas certificações e encontram nas leis e decretos que tratam sobre a agricultura familiar e interesse social.

A Política Florestal do estado do Piauí, instituída pela Lei 5.178/2000, em seu Art. 3º preconiza os seus objetivos, entre eles o fomento ao manejo agroflorestal em seu território. Destacando assim o papel do estado e o incentivo do mesmo na agricultura de base sustentável (Piauí, 2000).

Os sistemas agroflorestais tem uma contribuição significativa na produção de diversos serviços ecossistêmicos (SEs), tais como os serviços de provisão: alimento, combustível e matéria prima; serviços culturais: estética da paisagem, uso recreativo e religioso; e serviços de regulação e suporte: conservação da biodiversidade, sequestro de carbono, produção de biomassa, ciclagem de nutrientes e melhoria da qualidade do ar e água (Nair, 1993; MEA, 2005; Schwab et al., 2015; Goulart, 2020).

É importante ressaltar que devido a natureza dos SAFs a produção de SEs é contínua neste sistemas assemelhando-se a ambientes naturais (Silva, 2023), diferentemente dos sistemas agrícolas tradicionais, que muitas vezes dependem de insumos externos e apresentam sazonalidade na produção, os SAFs oferecem uma produção mais estável e diversificada de SEs ao longo do ano.

Assim os SAFs surgem como um sistema de produção promissor para o manejo sustentável do seminários piauiense, o potencial de adaptação das agroflorestas à seca e o seu potencial de estocagem de carbono demonstra seu potencial para mitigar os efeitos da desertificação e das mudanças climáticas.

3. Contribuição Científica

A pesquisa tem potencial em preencher uma lacuna na literatura científica, observando a escassez de trabalhos na região. Os dados podem contribuir no avanço da produção sustentável e no planejamento espacial do semiárido estadual, destacando a eficiência na estocagem de carbono, pontuando áreas com os maiores

potências de sequestro. Por fim, os resultados podem demonstrar eficiência dos SAFs no combate à desertificação, adaptabilidade à seca e na regulação do microclima.

4. Metodologia

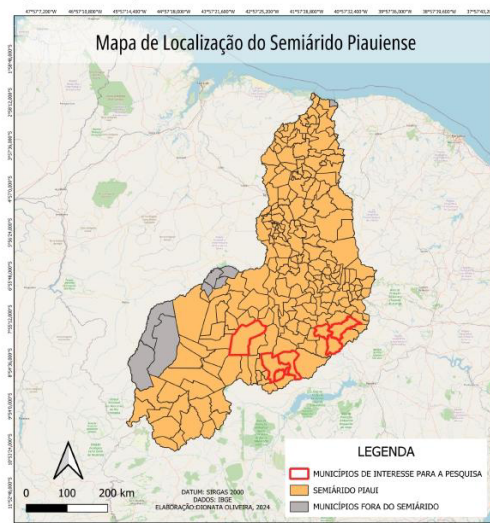
4.1 Delimitação e caracterização da área de estudo

O Semiárido apresenta diferentes paisagens, com diversas variações de relevos, vegetação e formações geológicas, estas variações resultam em diversos tipos de solo, no entanto a maioria deles apresentam limitações agrícolas com baixo potencial produtivo (Oliveira, 2022).

O semiárido piauiense, têm o seu período de estiagem entre dezembro e abril, com a pluviometria anual variando entre 350 mm a 750 mm (Viva o semiárido, 2022), a região é caracterizada condições climáticas áridas e com períodos de secas recorrentes, essas características impactam as atividades de agrícolas e na disponibilidade de água.

O semiárido piauiense (Figura 1), caracteriza-se como a região mais ricas em recursos hídricos subterrâneos em comparação com o semiárido nordestino e com o estados do polígono das secas (Lei 63.778/68; Lei 1.348/51) (Araújo; Souza; Silva, 2020). Também é importante destacar que a Bacia Hidrográfica do Parnaíba, possui o maior potencial hídrico da região nordeste (Ana, 2015; Araújo; Souza; Silva, 2020).

Figura 01: Mapa de Localização do Semiárido Piauiense



Fonte: IBGE, 2022; Autor, 2024.

O Decreto estadual nº 22.306/2023 declarou situação de emergência provocada pela estiagem em 86 municípios do Piauí, indicando o mal planejamento

e mau uso dos recursos hídricos no estado, reforçando a ideia de que no semiárido não falta água, mas sim um sistema eficiente de planejamento e uso da água.

4.2 Métodos e técnicas

Para o desenvolvimento desta pesquisa serão estudadas agroflorestas por meio de uma pesquisa exploratória investigativa, na qual primeiramente será realizado um levantamento de sistemas agroflorestais localizado na região semiárida do estado do Piauí, com amostragem de 10 agroflorestas, considerando os municípios de São Raimundo Nonato, São Lourenço, Coronel José Dias, Canto do Buriti, Paulistana, São Francisco de Assis e Queimada Nova (Figura 1), seleção está a partir dos diferentes comportamentos edáficos desses municípios.

A análise busca avaliar as agroflorestas usando o princípio da sazonalidade, assim as visitas *in loco* ocorrerão em dois períodos: Período seco (PS) e chuvoso (PC), nas vistas serão coletadas as amostras de biomassa, análises de solos em diferentes profundidades (0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm) e serão coletados dados de evapotranspiração do solo por meio de lisímetros.

As amostras de solos simples serão retiradas com pá e acondicionadas em sacos plásticos e identificadas conforme área e período. Na análise as amostras serão destorroadas, secadas e passadas em peneiras de 2 mm para análise química do solo. O pH será determinado em água (1:2,5) por potenciometria. A acidez trocável (Al+3) será extraída com KCl 1 mol L⁻¹ e quantificada por titulometria com NaOH 0,025 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997). O fósforo e o potássio serão extraídos com Mehlich I e medidos por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente. Cálcio e magnésio serão determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O nitrogênio total será avaliado por digestão sulfúrica e destilação Kjeldhal (Bremner *et al.*, 1982). O carbono orgânico total será quantificado por oxidação via úmida, utilizando dicromato de potássio em meio ácido e fonte externa de calor (Yeomans & Bremner, 1988).

Para a coleta da biomassa será utilizado um quadrante de 1 metro por 1 metro, disposto em três pontos divergentes sistemas agroflorestais. A coleta será realizada manualmente, recolhendo toda a serapilheira presente dentro do quadrante, que será acondicionada em sacos devidamente identificados, especificando o período de coleta (PS e PC), área e ponto. Na análise as amostras serão pesadas utilizando uma balança. Após a pesagem, a serapilheira será disposta no chão e separada em folhas, galhos e material não identificado e pesadas novamente.

Na evapotranspiração utilizaremos lisímetros de pesagem, que serão cuidadosamente instalados no solo. Eles serão enterrados de modo que suas bordas superiores fiquem niveladas com a superfície, garantindo que o solo dentro do lisímetro permaneça o mais próximo possível do ambiente natural ao redor. O solo será recomposto e compactado, respeitando a mesma estratificação do solo externo para assegurar que as condições dentro do lisímetro reflitam fielmente as condições reais.

As amostras e dados coletados permitirão realizar análises de caracterização da qualidade do solo, pela fertilidade e principalmente pela quantificação de estoques de carbono, determinação da produção de serrapilheira, avaliação da fertilidade química, parâmetros físicos de densidade e umidade e estimativa da evapotranspiração.

Também será realizada uma análise da dinâmica atmosférica e uma análise climática, essa análise será dividida em quatro passos: Levantamento de estações meteorológicas, coleta de dados, análise estatística e síntese correlação dos dados.

Será feito um levantamento da quantidade e localização de pontos de coletas meteorológicos como postos pluviométricos e estações meteorológicas, após esse levantamento serão coletados e/ou solicitados os dados aos órgãos e instituições detentora dos dados, como SEMARH-PI, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, INMET, Universidade Federal do Piauí, Instituto Federal do Piauí, Universidade Estadual do Piauí entre outras instituições. A coleta de dados (variáveis climáticas) pode ocorrer de acesso direto como sites e bancos de dados públicos da instituição, como podem ocorrer através de solicitação por meio de ofícios. Os resultados das análises dos pontos de coleta serão combinados para criar um modelo de tipologia climática para o semiárido levando em consideração tanto os dados quantitativos quanto a dinâmica atmosférica.

Além disso, os dados meteorológicos serão comparados e discutidos em comparação com a escala local, para entender o comportamento e a influência das agroflorestas no microclima semiárido, levando em consideração principalmente os dados de precipitação, evapotranspiração e umidade geral.

Depois da coleta de todos os dados, eles serão rodados em um software estatístico, o mesmo não foi definido, ele só será selecionado quando observamos que tipos de dados teremos e depois de analisarmos os mesmo. Serão feitas várias técnicas estatísticas para calcular médias, desvios padrão, tendências, regressões lineares e correlações.

5. Resultados esperados

O desenvolvimento deste projeto tem como principal objetivo a produção de novos conhecimentos sobre o manejo agroflorestal no semiárido piauiense, explorando sua eficácia como instrumento de mitigação climática por meio da descarbonização da atmosfera e pela maior retenção de água no ambiente.

Assim, o estudo buscará comprovar a eficiência dos sistemas agroflorestais como uma solução viável para a convivência com a seca, característica marcante do semiárido. Esses sistemas, que combinam espécies vegetais arbóreas e agrícolas, têm o potencial de criar microclimas favoráveis, melhorar a fertilidade do solo e reduzir a erosão, fatores essenciais para a adaptação das práticas agrícolas às condições de seca prolongada.

A Dissertação de Mestrado será o produto final, já como subproduto será produzido um caderno técnico em forma de manual, de acesso livre, focado na caracterização, classificação e manejo de agroflorestas no semiárido piauiense. Este manual técnico será uma ferramenta prática e acessível para agricultores, técnicos, e demais interessados, fornecendo orientações detalhadas sobre a implementação e gestão de sistemas agroflorestais adaptados às condições climáticas da região.

Assim, a dissertação e o manual técnico juntos visam não apenas aprofundar a compreensão sobre as agroflorestas como uma estratégia de combate às mudanças climáticas, mas também fornecer soluções práticas e aplicáveis que possam ser adotadas em larga escala, beneficiando tanto o meio ambiente e principalmente comunidades locais.

6. Cronograma de atividades

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	SEMESTRES			
	1º	2º	3º	4º
Revisão bibliográfica	X	X	X	
Disciplinas obrigatórias e optativas	X	X	X	
Elaboração de instrumentos de pesquisa de campo e ou laboratório	X	X		
Realização da pesquisa no campo e ou no laboratório		X	X	
Organização e tratamento dos dados		X	X	
Análise e interpretação dos dados		X	X	
Redação dos resultados e conclusão		X	X	X
Exame de qualificação			X	
Produção de artigos científicos e ou subprodutos derivados da pesquisa	X	X	X	X
Redação final			X	X
Defesa da pesquisa				X

Referências

ARAÚJO, Marcos Vinícius Machado de; DA SILVA, Adonys Roney Muniz; DA SILVA SOUZA, Antônio Felipe. A crise hídrica no Vale do São Francisco: uma perspectiva de desenvolvimento socioambiental. **Revista Monografias Ambientais**, p. e5-e5, 2020.

BAYALA, Jules; PRIETO, I. Water acquisition, sharing and redistribution by roots: applications to agroforestry systems. **Plant and Soil**, v. 453, p. 17-28, 2020.

Bremner, J. M.; Mulvaney, C. S. Nitrogen total. In: Page, A. L.; Miller, R. H.; Keeney, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. v.2, p.595-624. Agronomy monograph, 9

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2011. Resolução, n. 429, de 28 de Fevereiro de 2011. **Dispõe sobre a metodologia de recuperação das Áreas de Preservação Permanente-APPs**. Publicada no DOU, n. 43.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 21p.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA SUSTENTÁVEL – FAS. Práticas agroecológicas: guia de saberes e práticas sustentáveis para comunidades ribeirinhas da Amazônia: volume 3 – sistemas agroflorestais. Manaus: FAS, 2020. 43 p. ISBN 978-65-89242-13-0.

FELICIANO, Diana *et al.* Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.L.], v. 254, p. 117-129, fev. 2018.

FERNANDES, Shaline Séfara Lopes *et al.* Serviços ambientais culturais e de suporte: percepção por agricultores familiares em sistemas agroflorestais do Brasil e Costa Rica. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 12, 15 dez. 2020. Research, Society and Development.

GONÇALVES, André Luiz Rodrigues; MEDEIROS, Carlos Magno de; MATIAS, Rivaneide Lígia Almeida. **Sistemas agroflorestais no Semiárido brasileiro: estratégias para o combate à desertificação e enfrentamento às mudanças climáticas**. Recife: Centro Sabiá; Caatinga, 2016. 136 p., il. Tradução: Jorge Verdi (espanhol), Sávio Bezerra (inglês). ISBN 978-85-92913-00-7.

GOUIART, A. G. **Modelo de sistema agroflorestal como alternativa de uso do solo em áreas em processo de arenização em São Francisco de Assis - RS**. 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

IWATA, Bruna de Freitas et al. Manejo de resíduos em argissolo sob agrofloresta no semiárido cearense. [S.L.], v. 6, n. 4, p. 20702-20716, 2020. **Brazilian Journal of Development**. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n4-300>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/9098/7730>. Acesso em: 22 abr. 2024.

MACEDO, Rodrigo Santana et al. Processos pedogenéticos e susceptibilidade dos solos à degradação no semiárido brasileiro. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 81, p. 176-195, 2021.

MORAIS, Adão Barros de. **Cronossequência em sistema agroflorestal: impacto nos teores de carbono, água e nutrientes do solo**. 2022. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

OLIVEIRA, Lua Naama Custódio de. **Quantificação da produção de biomassa e da cobertura do solo em sistemas agroflorestais no município de Trairi - CE**. 2022. 47 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

ORESCA, Denizard. **Efeitos das mudanças no uso da terra na respiração do solo e das raízes na região semiárida de Pernambuco**. 2022. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2022.

PEREIRA, Marcílio Felix. **Agrobiodiversidade, produção de serrapilheira e cobertura de solo em sistemas agroflorestais de região semiárida**. 2021. 41 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

PEREZ-MARIN, A. M.; MENEZES, R. S. C.. Ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *Gliricidia sepium*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2573-2579, nov. 2008.

PIAUÍ. Decreto nº 22.306, de 8 de agosto de 2023. **Declara situação de emergência provocada pelo desastre natural classificado e codificado como "Estiagem" (COBRADE 1.4.1.1.0), nos municípios que especifica**. Teresina: Diário Oficial do Estado do Piauí, 2023.

PIAUÍ. Lei nº 8095, de 13 de julho de 2023. **Institui a Política Estadual de Combate à Desertificação e para fins de Recuperação de Áreas Degradadas no estado do Piauí**. Teresina, PI.

PIAUÍ. Lei nº 5.178, de 27 de dezembro de 2000. **Dispõe sobre a política florestal do Estado do Piauí e dá outras providências**.

PIAUÍ. **Relatório de Conclusão – Projeto Viva o Semiárido (PVSA)**. Teresina: Governo do Estado do Piauí, 2022. 125 p.

SALVADOR, Maria do Socorro Silva; DE LIMA, Valéria Raquel Porto. ANÁLISE DO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO DA VEGETAÇÃO EM UMA ÁREA DO BIOMA CAATINGA. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 15, n. 2, p. 248-264, 2021.

SILVA, Antonio Joaquim da. OS DESAFIOS DA AGRICULTURA FAMILIAR DO CERRADO PIAUIENSE. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, Teresina, v. 2, n. 2, p. 1-20, 28 ago. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpi.br/index.php/acipi/article/view/913>. Acesso em: 30 ago. 2024.

SILVA, F. D. O. **Avaliação da produção de serviços ambientais dos sistemas agroflorestais (SAFs) do município de Teresina - Piauí**. 2023. 130 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, Teresina, 2023.

SILVA, A. F. da; *et al.* **Agricultura agroflorestal e criação animal no semiárido**: Centro de desenvolvimento Agroecológico Sabiá. Recife: Centro Sabiá, 2010. 54 p.

SOS AMAZÔNIA. Sistemas agroflorestais. Rio Branco: SOS Amazônia, 2016. 44 p., il.

SUASSUNA, João. **Semiárido: proposta de convivência com a seca**. Observa Fundaj. Fundação Joaquim Nabuco.

WANG, Zikui et al. Modeling the coupling processes of evapotranspiration and soil water balance in agroforestry systems. **Agricultural Water Management**, v. 250, p. 106839, 2021.

Yeomans, J. C.; Bremner, J. M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil**. Communications in Soil Science Plant Analysis, v.19, p.1467-1476, 1988.

ANEXO 02 - Agricultura de baixo de carbono no Piauí: Uma análise da Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária (lei 7.480/2021)

XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024



AGRICULTURA DE BAIXO CARBONO NO PIAUÍ: UMA ANÁLISE DA POLÍTICA ESTADUAL DE COMPRAS GOVERNAMENTAIS DA AGRICULTURA FAMILIAR E ECONOMIA SOLIDÁRIA (LEI 7.480/2021)

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.XI-018>

Francisco Dionata de Oliveira Silva (*), Naide de Lucas da Silva Neta, João Antonio Rodrigues Paz, Krishna Shiva Oliveira Sousa, Bruna de Freitas Iwata

* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, dionatatacc@gmail.com

RESUMO

A pesquisa intitulada "Agricultura de baixo de carbono no Piauí: uma análise da Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária (lei 7.480/2021)" tem como foco avaliar a implementação e os impactos dessa política na promoção da agricultura familiar sustentável e na redução das emissões de carbono no estado do Piauí. A introdução contextualiza os efeitos das ações humanas sobre o meio ambiente, destacando a importância das políticas públicas no direcionamento dessas ações. O objetivo principal do estudo é analisar a contribuição da Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária (PECAE) para a promoção de uma agricultura de baixo carbono. A metodologia baseou-se na análise ex ante, conforme o guia de avaliação de políticas públicas da Casa Civil e do IPEA, aplicando duas etapas principais: diagnóstico do problema e caracterização da política. A coleta de dados foi realizada através de fontes oficiais, como o Diário Oficial do Estado do Piauí e sites governamentais. Os resultados indicam que a PECAE visa mitigar os impactos da agricultura convencional, promovendo práticas mais sustentáveis, especialmente no âmbito da agricultura familiar, que representa 80,3% dos estabelecimentos agropecuários no Piauí. A política se destaca por ações de incentivo à produção sustentável e à comercialização de produtos agropecuários de baixo carbono, com o governo estadual atuando como principal agente regulador e comprador.

PALAVRAS-CHAVE: Políticas públicas ambientais, Emissões, Economia de baixo carbono.

INTRODUÇÃO

É indiscutível afirmar que todas as ações humanas têm impacto, onde eles podem ser de baixo e alto impacto. As ações do homem sobre os ecossistemas e meios naturais tem acarretado uma série de problemas, quando levado em consideração essas ações no meio agrícola pode destacar diversos problemas ambientais em volta dessa atividade como o detrimento das florestas e mata ciliar, que prejudica diretamente o papel de regulação das concentrações CO₂ na atmosfera terrestre (Gomes e Cardoso, 2021).

Para Torrens (2013) às políticas públicas (PPs) são princípios que dá o direcionamento das ações do Poder Público, elas são diretrizes, regras e procedimentos que determina a relação de ações entre o estado, sociedade e atores sociais, além disso as PP determinam as aplicações de recursos públicos financiando programas, financiamentos e leis.

As políticas públicas ambientais devem ir além da gestão de recursos para proteção do ambiente natural, neste modo é necessário que as normativas ambientais também sirvam para orientar e trazer soluções para conflitos sociais que envolvam questões ambientais (Branco e Alcântara, 2011).

O Brasil está buscando se alinhar aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), proposto pela Organização das Nações Unidas (ONU). Desde de 2019 após as 15^o Conferências das Partes, o Brasil instituiu algumas políticas para a redução da emissão dos gases do efeito estufa como a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) (Telles *et al.*, 2021).

O estado do Piauí também implementou algumas políticas ambientais, que buscam expandir a agricultura familiar de base sustentável, Silva (2023) em seu trabalho fez um levantamento da implementação dessas PPs no estado e ele observou que no período temporal de 2008 a 2023 ocorreram a implementação de 19 PPs, observando um esforço do estado na busca de uma produção familiar mais sustentável.

A Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária no Estado do Piauí (PECAE) instituída pela lei nº 7.480/2021 e regulamentada pelo Decreto 22.307/2023, tem como finalidade garantir a venda de produtos agropecuários, extrativistas e resultantes da atividade pesqueira, in natura e beneficiados, produzidos por agricultores e agricultoras familiares, por povos indígenas e comunidades tradicionais como forma de assegurar o



XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024

desenvolvimento rural sustentável, a promoção da segurança e soberania alimentar e nutricional e o incremento à geração de trabalho e renda (Piauí, 2021)

Este trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação da Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária no Estado do Piauí, observando seu conteúdo e como a mesma impacta na agricultura de baixo carbono.

OBJETIVO

Analisar o impacto da PECAE na promoção da agricultura familiar sustentável e na redução das emissões de carbono no Piauí.

METODOLOGIA

Para se atingir o objetivo foi usado como base o guia “Avaliação de políticas públicas : guia prático de análise ex ante” (Casa Civil da Presidência da República - CCPR, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2018). A análise ex ante é uma ferramenta para a formulação e avaliação de políticas públicas. A metodologia está estruturada em 2 etapas principais:

Quadro 1. Etapas principais de análise para a Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária no Estado do Piauí. Fonte: Autores, 2024.

ETAPA	DESCRIÇÃO
1. Diagnóstico do Problema	Identificação e caracterização do problema: análise das causas, consequências e magnitude.
2. Caracterização da Política	Definição dos objetivos, ações, identificar os agentes públicos e privados envolvidos, definição de responsabilidades, público-alvo e resultados esperados.

A metodologia utilizada pela CCPR e pelo IPEA foi adequada, pelo fato da PECAE ser uma política relativamente nova e pela escassez de dados sobre a mesma. Além disso é importante destacar que a busca das informações e dados sobre a PECAE ocorreram no Diário Oficial do Estado do Piauí (DOE), nos sites do governo do estado Piauí e nos bancos de dados oficiais, as palavras chaves foram: Leinº 7.480/2021, Decreto 22.307/2023 e Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária no Estado do Piauí.

RESULTADOS

DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA

A PECAE tem como objetivo apoiar a agricultura familiar (AF) e incentivar a sustentabilidade no meio de produção, então pode afirmar que o problema que a política busca solucionar é relacionada sobre os impactos decorrentes da produção convencional no estado.

O estado do piauí conta com 245.601 estabelecimentos agropecuários, onde a agricultura familiar representa 80,3% destes estabelecimentos neste sentido tendo um total de 197.246 dessas unidades produtivas (IBGE, 2019).

Em questão de uso e ocupação de terra, a área total de uso é 10.009.857 hectares, sendo dividida em: agricultura familiar - 3.852.846 (38,5%) hectares e 6.157.011 (80,3%) não familiar, é importante destacar também que o pessoal que ocupa essas são divididos em 65,7% homens e 34,3% por mulheres (Morais; Sousa; Araújo, 2020).

Lima *et al.* (2011) destacam que a agricultura de corte e queima tem causado ocasionado a degradação do solo, a agricultura intensa ocasiona a degradação da caatinga não permitindo sua regeneração natural, situação preocupante já que este bioma está dentro da área geográfica piauiense.

Neste sentido observando os dados apresentados, destacando o potencial de degradação da agricultura de queima e alta intensidade, é importante se buscar sistemas de produção de base sustentável, conforme a PECAE incentiva.

CARACTERIZAÇÃO DA PECAE



Nos objetivos da política pode se destacar 3 objetivos que incluem a produção alimentar de base sustentável e de baixo carbono, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Objetivos da PECAE que incentivam a produção de baixo carbono. Fonte: Autores, 2024.

- I - incentivar e fortalecer a Agricultura Familiar, promovendo inclusão econômica e social, com fomento à produção sustentável, ao beneficiamento de alimentos e à geração de renda
- II - estimular a sustentabilidade da produção da agricultura familiar e da economia solidária, contribuindo para a prática de preços justos e adequados, ampliando o mercado de consumo dos seus produtos;
- IV - incentivar o consumo de alimentos saudáveis, sustentáveis e que valorizem a cultura alimentar local e regional;

A política estabelece uma série de ações (Quadro 3), a maioria se baseia na comercialização, que faz-se sentido com a proposta da política que busca fortalecer a agricultura de baixo carbono, por meio da compra. Destaca-se o papel do governo estadual que tem como a obrigatoriedade a aquisição destes produtos.

Quadro 3. Ações da PECAE que fortalecem a agricultura de base sustentável. Fonte: Autores, 2024.

AÇÃO	DESCRIÇÃO
Compras Governamentais	Realização de compras diretas de produtos agropecuários, extrativistas e pesqueiros.
Capacitação e Assistência Técnica	Programas de capacitação e assistência técnica para agricultores familiares.
Promoção de Feiras e Mercados Locais	Organização de feiras e mercados locais.
Criação de Redes de Comercialização	Desenvolvimento de redes de comercialização.

Conforme é apresentado na Figura 01, o agente central da PECAE é o Governo do estado do Piauí onde o mesmo é responsável pela regulamentação, institucionalização e execução da política, por meio da Secretaria Estadual de Agricultura Familiar (SAF) órgão encarregado de de coordenar e definir os processo de seleção e a Secretaria de Assistência Técnica e Defesa da Agropecuária (SADA) que fica encarregada da assistência técnica e extensão rural (ATER) além da fiscalização e controle sanitário e de qualidade dos produtos.

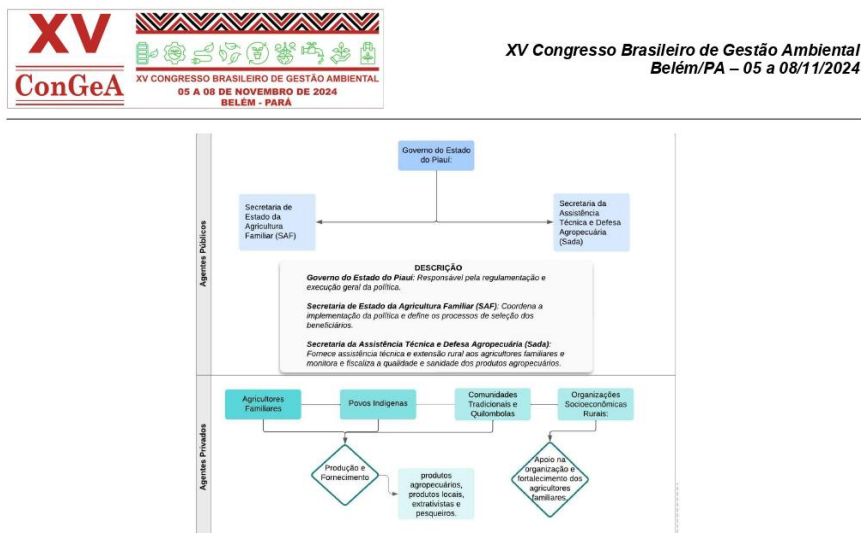


Figura 1: Agentes públicos e privados envolvidos.. Fonte: Autores, 2024..

Já os agentes privados se resumem na produção e fornecimento dos produtos agropecuários e da agricultura familiar, com exceção das organizações socioeconômicas rurais (OSR) que tem como responsabilidade servir de apoio às atividades da AF.

Sobre os grupos aptos a participarem da PECAE, os mesmo são apresentados no Art. 2º do Decreto 22.307/2023 conforme é apresentado no quadro 4.

Quadro 4. Grupos aptos a participarem do PECAE. Fonte: Autores, 2024.

I - os agricultores e agricultoras familiares e demais beneficiários e organizações que se enquadrem nas disposições da Lei Federal nº 11.326, de 24 de julho de 2006;

II - os povos indígenas e comunidades tradicionais;

III - os empreendimentos de Economia Solidária do Estado do Piauí, nos termos do art. 5º da Lei Estadual nº 6.057, de 17 de janeiro de 2011.

Os grupos foram bem selecionados e cumpre com o objetivo principal da política, é importante destacar que a política exige a apresentação de documentos e contém determinadas exigências, como a apresentação Declaração de Aptidão ao PRONAF (CAF) ou por outros documentos definidos pela Secretaria de Estado da Agricultura Familiar - SAF para agricultores familiares (Piauí, 2023).

Já dentre as organizações aptas a participarem da PECAE a mesma declara prioridade às constituídas predominantemente por mulheres, jovens, comunidades tradicionais, indígenas e quilombolas (Piauí, 2023) enfatizando o papel do estado e da política em fortalecer esses grupos.

No Art. 3º (Decreto 22.307/2023) é apresentado o Selo da Agricultura Familiar, ele é um selo criado pela SAF com o objetivo de facilitar a identificação dos beneficiários da PECAE, desta forma garantindo a rastreabilidade dos produtos e fortalecendo a cadeia produtiva da agricultura familiar. O selo, associado à Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária no Estado do Piauí (PECAE), visa valorizar a produção local, estimular a organização dos agricultores familiares e garantir o acesso dos consumidores a alimentos saudáveis e produzidos de forma sustentável.

CONCLUSÃO

A análise da Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária no Estado do Piauí (PECAE), instituída pela lei nº 7.480/2021 e regulamentada pelo Decreto 22.307/2023, revela um esforço do Piauí para promover uma agricultura sustentável e de baixo carbono.

Observa-se que a PECAE é uma política de estratégia com o objetivo de mitigar os impactos ambientais da agricultura convencional, suas ações se baseiam no incentivo das práticas agrícolas sustentáveis que contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

A continuidade e o aprimoramento desta política são essenciais para assegurar que os objetivos de desenvolvimento sustentável e a mitigação dos impactos ambientais da agricultura convencional, sejam alcançados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DE MORAES, Maria Dione Carvalho; DE SOUSA, Alyne Maria Barbosa; ARAÚJO, Clarissa Flávia Santos. Agricultura familiar no Piauí: uma leitura do Censo Agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, n. Suplemento Especial, p. 71-91, 2020.
2. GOMES, Lucas Carvalho; CARDOSO, Irene Maria. Papel da agricultura familiar no sequestro de carbono e na adaptação às mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, [S.L.], v. 73, n. 1, p. 40-43, jan. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602021000100008>.
3. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Avaliação de políticas públicas: guia prático de análise ex ante. 2018.
4. LIMA, S. S. DE . et al.. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p. 51–60, jan. 2011.
5. PIAUÍ. Lei nº 7.480, de 18 de janeiro de 2021. Institui a Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária no Estado do Piauí.
6. PIAUÍ. Decreto nº 22.307, de 08 de agosto de 2023. Regulamenta a Lei nº 7.480, de 18 de janeiro de 2021, que institui a Política Estadual de Compras Governamentais da Agricultura Familiar e Economia Solidária no Estado do Piauí.
7. SILVA, Francisco Dionata de Oliveira. **Avaliação da produção de serviços ambientais dos sistemas agroflorestais (SAFS) do município de Teresina - Piauí. 2023.** Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2023.
8. TELLES, T. S. et al. TD 2638 - **Desenvolvimento da Agricultura de Baixo Carbono no Brasil**. Texto para Discussão, p. 1–41, 31 mar. 2021.
9. TORRENS, A. C. **Poder Legislativo e políticas públicas: uma abordagem preliminar**.
10. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017: agricultura familiar – Piauí. 2019.

ANEXO 03 - Praças Públicas e a Gentrificação Silenciosa: Um Relato de Caso do Planejamento Urbano em Campo Maior, Piauí

XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024



PRAÇAS PÚBLICAS E A GENTRIFICAÇÃO SILENCIOSA: UM RELATO DE CASO DO PLANEJAMENTO URBANO EM CAMPO MAIOR, PIAUÍ

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.IV-012>

João Antonio Rodrigues Paz (*), Naide de Lucas da Silva Neta, Francisco Dionata de Oliveira Silva, Bruna de Freitas Iwata.

* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central.

* E-mail: rodrigues.paz18@gmail.com.

RESUMO

As praças urbanas desempenham um papel essencial na vida das cidades, oferecendo espaços para lazer, interação social e conexão com a natureza. Elas contribuem para a qualidade ambiental, ajudando a melhorar o clima, o ar e a água, além de desempenharem funções culturais e educativas. No entanto, a revitalização de praças pode gerar gentrificação, um processo que, ao atrair uma população de maior poder aquisitivo, aumenta o custo de vida e desloca moradores de baixa renda. O estudo foca nas praças da Liberdade e Rui Barbosa, em Campo Maior (PI), e examina os efeitos de suas revitalizações, como a revalorização econômica e a exclusão de parte da população. A Praça Rui Barbosa, após sua revitalização em 2021, recuperou parte de sua função social, mas se tornou menos acessível devido a restrições de uso e falta de infraestrutura inclusiva. A Praça da Liberdade, revitalizada em 2023, sofreu um processo semelhante, com preços mais altos e menos arborização, o que limitou seu uso pela população de menor renda, conclui também que a revitalização, embora melhore a estética e o uso das praças, pode excluir socialmente as comunidades mais vulneráveis, ao não considerar aspectos de acessibilidade, conforto e inclusão, reforçando a necessidade de um planejamento urbano mais inclusivo e equitativo.

PALAVRAS-CHAVE: Acessibilidade, Planejamento Urbano, Revitalização de Praças, Arborização

INTRODUÇÃO

As praças urbanas exercem um papel fundamental na dinâmica das cidades, funcionando como espaços públicos abertos voltados ao lazer e à interação social. Esses locais não apenas favorecem a integração e a sociabilidade, mas também são essenciais para o bem-estar ambiental e social dos cidadãos, oferecem uma variedade de opções de lazer, atuando como áreas de relaxamento e recreação, onde os frequentadores podem interagir com a natureza. A presença de vegetação, solos permeáveis e flora diversificada contribui para a melhoria do clima urbano e da qualidade do ar, da água e do solo. Esses aspectos ecológicos são cruciais para a promoção de um ambiente mais saudável e sustentável (Viero e Filho, 2009; Monteiro, 2020).

Ademais, as praças são representações significativas da identidade e da cultura urbana. Elas refletem a história local e funcionam como marco culturais, frequentemente servindo como locais para atividades comerciais, como feiras populares e artesanais. Essa dualidade ressalta a importância das praças não apenas como áreas de lazer, mas também como espaços educativos que promovem a interação social. Essas considerações demonstram que as praças são muito mais do que meros espaços de lazer; são ambientes multifuncionais que contribuem para a saúde psicológica dos indivíduos, promovendo relaxamento e bem-estar por meio do contato com elementos naturais. Assim, estabelecem-se como locais essenciais para a construção de uma sociedade mais coesa e saudável, onde convivência, cultura e ecologia se inter-relacionam, enriquecendo a experiência urbana (Monteiro, 2020; Viero e Filho, 2009).

O planejamento urbano busca, em tese, que esses espaços sejam acessíveis e beneficiem todas as camadas da população. Quando uma praça passa por um processo de revitalização, uma série de intervenções visam melhorar a infraestrutura e a estética do espaço, essas melhorias podem incluir a renovação de calçadas, a instalação de mobiliário urbano moderno, a criação de áreas de lazer e a introdução de jardins e áreas verdes. Praças revitalizadas frequentemente se tornam mais atrativas e funcionais, proporcionando ambientes mais agradáveis para a convivência social e atividades culturais. Essas intervenções podem também estimular a economia local, atraindo novos negócios, como cafés, restaurantes, quiosques e entre outros empreendimentos que se beneficiam do aumento do fluxo de pessoas, além de supervalorizar a área do entorno dessas praças. Embora esses projetos tenham a intenção de beneficiar a comunidade, quando mal planejados e pensados apenas para agradar uma parcela da população pode acarretar um processo conhecido como gentrificação.

A gentrificação é um fenômeno complexo e multifacetado que ocorre quando áreas urbanas, frequentemente degradadas ou subvalorizadas, passam por um processo de valorização econômica, cultural e social. Este processo geralmente



XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024

envolve a chegada de uma população com maior poder aquisitivo, resultando na elevação dos preços de imóveis e serviços, o que pode levar ao deslocamento de comunidades de menor renda, forçando-as a procurar moradia e opções de lazer em áreas mais distantes e menos desenvolvidas.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo relatar o processo de gentrificação ocorrido em decorrência da revitalização das praças da Liberdade e Rui Barbosa, localizadas no centro urbano do município de Campo Maior, Piauí.

OBJETIVOS

Relatar o impacto da revitalização das praças da Liberdade e Rui Barbosa no processo de gentrificação em Campo Maior, destacando as mudanças socioeconômicas associadas a essas intervenções urbanísticas.

METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida na área urbana do município de Campo Maior, localizado na região norte do estado do Piauí, conforme representado no mapa (Figura 1), a aproximadamente 84 km da capital, Teresina. O município destaca-se por suas extensas áreas alagáveis e pela vegetação predominante de cerrado e caatinga. Além disso, desempenha um papel significativo na história do Brasil, especialmente pela sua participação na Batalha do Jenipapo, um evento crucial na luta pela independência do país. Campo Maior também é reconhecido por suas expressões culturais, como a tradicional produção de carne de sol, que lhe conferiu o título de "Terra da Carne de Sol", e por eventos religiosos de grande relevância, como o Festejo de Santo Antônio, considerado o maior evento religioso do estado do Piauí.

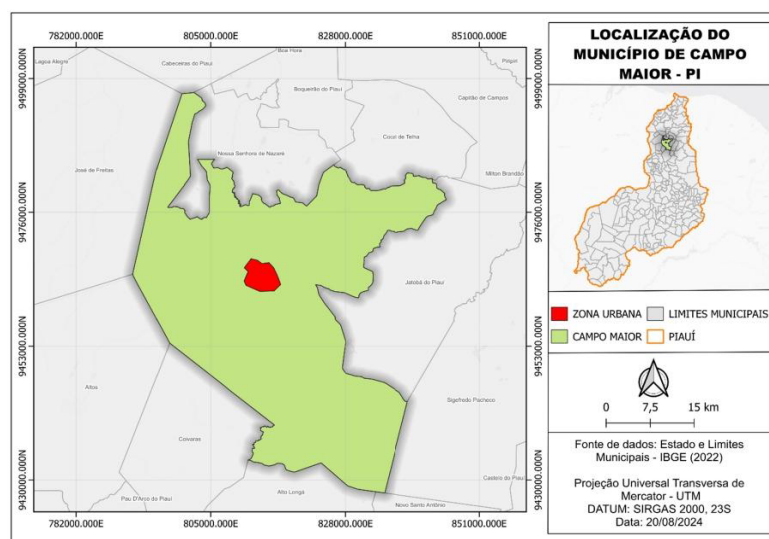


Figura 1: Mapa de Localização do Município de Campo Maior – PI. Fonte: Autores, 2024.

A cidade é marcada pela presença de praças que desempenhavam um papel central na vida cotidiana e na organização da comunidade. As praças em Campo Maior não eram meramente decorativas; elas tinham uma função social, política e religiosa fundamental. Eram concebidas como espaços centrais, e sua importância se deve a fatores como a organização social e política, a forte influência da Igreja, a segurança e visibilidade proporcionadas pela disposição do espaço, além de serem pontos de encontro econômico, onde aconteciam trocas comerciais e interações entre os moradores.

Para a realização do estudo foram escolhidas duas praças que sofreram mudanças significativas nos últimos anos no município, sendo elas a Praça da Liberdade e a Praça Rui Barbosa (Figura 2) (Tabela 1).



Figura 2: Mapa de Localização das Praças Rui Barbosa e Liberdade. Fonte: Autores, 2024.

	PRAÇA RUI BARBOSA Fundação: 05 de maio de 1933 por Francisco Alves Cavalcante. Localização: R. Quintino Bocaiuva - Centro, Campo Maior - PI, 64280-000
	PRAÇA DA LIBERDADE Fundação: Fundada em 1940, por Francisco Alves Cavalcante Localização: R. Cap Manoel Oliveira 831 - Centro, Campo Maior - PI, 64280-000

Tabela 1: Fundação e Endereço da Praça Rui Barbosa e Liberdade

Para o estudo foram empregadas as seguintes abordagens metodológicas:



*XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024*

- **Levantamento Bibliográfico:** Foram realizadas consultas a bases de dados acadêmicas e periódicos especializados, incluindo o Google Acadêmico e a plataforma da CAPES. Este levantamento visou a obtenção de informações teóricas e estudos prévios relacionados ao tema, porém percebeu-se nas buscas que havia uma certa escassez de material bibliográfico a certa da temática e sobre o município em si.
- **Pesquisa em Fontes de Notícias:** Foram acessados e analisados sites de notícias locais e regionais. Esta etapa teve como objetivo identificar reportagens e atualizações que pudessem oferecer um panorama sobre as alterações e eventos relevantes nas praças ao longo do tempo.
- **Levantamento de Dados in loco:** Nessa fase foram feitos levantamentos em campo, onde foi feita análise da estrutura das praças, seus usos, aspectos e registros fotográficos, para melhor caracterização do ambiente e entendimento da problemática.
- **Análise Documental:** Foi conduzida uma investigação de documentos históricos e registros oficiais disponíveis, porém depois de longas buscas sobre o paradeiro desses arquivos, foi constatado que a documentação que existia sobre as praças tinha sido totalmente perdida por ação do tempo e má armazenamento e manejo dos mesmos.

RESULTADOS

a) Praça Rui Barbosa

A Praça Rui Barbosa, inaugurada no início do século XX no município de Campo Maior, destaca-se como a primeira praça da cidade, originalmente concebida com um projeto arquitetônico que integrava coreto, bancos e jardins. Durante décadas, este espaço desempenhou um papel central como principal área de lazer para os moradores, sendo um dos primeiros locais da cidade a contar com iluminação pública. Localizada em meio a edificações emblemáticas do centro urbano, como a igreja matriz e a igreja de Santo Antônio, padroeiro da cidade, a praça era ponto de encontro e interação social, consolidando-se como referência na vida cotidiana dos habitantes.

Contudo, ao longo do tempo, a praça sofreu processos de degradação física e funcional, perdendo gradativamente sua função social original. De um espaço amplamente frequentado por jovens e famílias, passou a ser ocupada predominantemente por indivíduos envolvidos em atividades ilícitas, como assaltos, refletindo a deterioração urbana. Essa mudança no perfil de uso resultou na redução da relevância da praça como um ponto de adensamento e lazer no município, agravada pelo desenvolvimento de outras áreas impulsionadas pela economia da cera de carnaúba.

Em 2021, a Praça Rui Barbosa foi submetida a uma revitalização que incluiu uma nova estrutura arquitetônica, requalificação paisagística e modernização da iluminação (Figura 2). Essas intervenções resultaram no retorno parcial de jovens e famílias ao espaço, contribuindo para o restabelecimento de sua função social. No entanto, a revitalização também trouxe mudanças significativas, como o cercamento da praça e a imposição de horários restritos para acesso, o que limitou a utilização pública espontânea e promoveu a exclusão de grupos sociais. Adicionalmente, a ausência de elementos de acessibilidade, como rampas para cadeirantes e pisos táteis para deficientes visuais (Figuras 4 e 5), comprometeu a inclusão e transformou a dinâmica de uso do espaço, descaracterizando-o como um ambiente público de livre acesso e interação (Pereira, 2015; Pereira, 2020; Silva, 2021; CIDADE VERDE, 2023).



Figura 3: Praça Rui Barbosa ao longo de 5 anos



Figura 4: Problemas de acesso de PCD. Fonte: Autores, 2024.

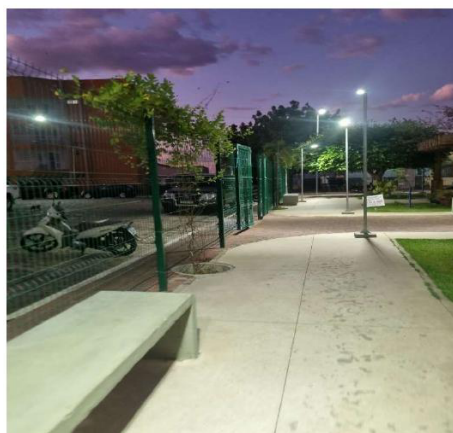


Figura 5: Falta de Piso Tátil na Praça. Fonte: Autores, 2024.

b) Praça da Liberdade

Na década de 1940, a cidade experimentava um significativo crescimento econômico impulsionado pelo comércio da cera de carnaúba, o que fomentou o desenvolvimento urbano e a construção de novas praças públicas. Entre essas, destaca-se a Praça da Liberdade, também conhecida como Praça Francisco Alves Cavalcante, Praça do Relógio ou Praça da Rodoviária. Originalmente, a praça possuía infraestrutura com arborização planejada, mobiliário urbano como bancos, iluminação pública, calçamento e um elemento arquitetônico distintivo: a torre do relógio. Este obelisco, equipado com quatro relógios funcionais, foi incorporado ao espaço urbano na década de 1970, conferindo-lhe um caráter emblemático.

Localizada em uma das principais avenidas da cidade, a Avenida Santo Antônio, e adjacente à rodoviária municipal, a praça desempenhou um papel central na dinâmica urbana. Contudo, ao longo do tempo, sofreu um processo de degradação. A falta de manutenção resultou na paralisação do relógio, destruição dos bancos, ausência de poda das árvores, deterioração do calçamento e abandono geral do espaço. Esse declínio reflete o impacto da expansão urbana desordenada e da diversificação das opções de lazer, que reduziram sua relevância como espaço público (Andrade, 2023).

O processo descrito evidencia uma dinâmica de gentrificação e exclusão social em espaços urbanos. Inicialmente, houve uma tentativa de revitalização da praça, em período incerto, com a implementação de trailers de comida e um bar. Esses estabelecimentos atraíram majoritariamente a população jovem e de baixa renda proveniente de áreas periféricas, devido aos preços acessíveis e à localização central da praça, que era de fácil acesso para todas as classes sociais. Contudo, a ausência de incentivos públicos e a falta de manutenção levaram à gradativa desativação dos trailers e à deterioração do espaço, resultando em menor frequência ao local.

Em 2023, uma reestruturação completa foi realizada (Figura 6), substituindo os antigos trailers por quiosques mais modernos e estruturados. Apesar da melhoria estética, os preços elevados passaram a excluir a população de baixa renda que anteriormente frequentava o espaço. Adicionalmente, os antigos comerciantes foram alijados do processo, em função de taxas de locação mais altas e de um sistema de seleção por sorteio que privilegiou empresários de maior porte do município, eliminando os microempreendedores locais.

Essa intervenção caracteriza um processo de gentrificação, evidenciado pela valorização imobiliária e estética da praça. Contudo, a reforma negligenciou aspectos fundamentais como acessibilidade, inclusão social e a função comunitária do espaço, comprometendo sua capacidade de promover interação social e equidade urbana. Assim, o local, antes democrático, tornou-se mais exclusivo, limitando o acesso aos grupos historicamente mais vulneráveis.



Figura 6: Praça da liberdade antes e depois da revitalização. Fonte: Google Imagens, 2015; Autores, 2024.

A revitalização da praça não contemplou de forma adequada a arborização, restringindo seu uso a determinados períodos do dia e acentuando processos de exclusão socioespacial (Figura 7). O mobiliário urbano, representado por bancos sem encosto, expostos à incidência solar direta por longas horas, reflete a ausência de critérios relacionados ao conforto térmico e à funcionalidade no planejamento do espaço público. A carência de cobertura vegetal significativa (Figura 8), sobretudo em uma região que apresenta elevadas temperaturas durante o dia, compromete a atratividade e a permanência da população no local.

O projeto de arborização é limitado, incluindo algumas palmeiras, plantas ornamentais de pequeno porte e espécies arbóreas de maior envergadura, como *Delonix regia* (Flamboiã), *Licania tomentosa* (Oiti) e alguns *Handroanthus* spp. (Ipês), remanescentes da vegetação original anterior à intervenção. A inexistência de condições ambientais adequadas para permanência prolongada em horários variados prejudica a vocação do espaço público como área de lazer, convivência e integração comunitária.



Figura 7: Banco sem encosto e sombra na praça da Liberdade. Fonte: Autores, 2024.



Figura 8: Falta de arborização da praça da Liberdade. Fonte: Autores, 2024.

Outro aspecto relevante identificado é a ausência de infraestrutura adequada para a inclusão de pessoas com deficiência (PCDs). A praça, assim como ocorre na Praça Rui Barbosa, carece de pisos táteis direcionais e de alerta ao longo de suas áreas de circulação, limitando significativamente a acessibilidade para indivíduos com deficiência visual. A presença de piso tátil é restrita a uma área específica, localizada nas proximidades de uma das rampas de acesso destinadas a cadeirantes e outras pessoas com mobilidade reduzida (Figura 9).

Adicionalmente, as rampas não dispõem de corrimãos ou barras de apoio, essenciais para garantir maior segurança e autonomia no deslocamento de PCDs, evidenciando falhas no atendimento às normas técnicas de acessibilidade, como as previstas na ABNT NBR 9050/2020.



Figura 9: Área de piso tátil da praça da Liberdade. Fonte: Autores, 2024.

O deslocamento da população para bairros periféricos, onde as praças apresentam estado de abandono, com problemas estruturais, insuficiência de infraestrutura e aumento da insegurança pública, evidencia a necessidade premente de ações

integradas de revitalização urbana e planejamento estratégico de espaços públicos. Essas intervenções são essenciais para assegurar o acesso inclusivo e equitativo ao lazer e à convivência comunitária.

Adicionalmente, a ausência de manutenção nas praças localizadas nesses bairros (Figura 10) compromete sua funcionalidade, caracterizando-se pela deterioração do mobiliário urbano, invasão por vegetação descontrolada, acúmulo de resíduos sólidos e inexistência de espaços adequados para interação social e lazer. Essa negligência agrava a exclusão socioespacial, uma vez que a população, deslocada para os bairros periféricos devido à falta de alternativas habitacionais acessíveis no centro, encontra-se privada de áreas públicas de qualidade tanto no entorno imediato quanto em outras regiões da cidade.



Figura 10: Praças abandonadas na cidade de Campo Maior. Fonte: Autores, 2024.

CONCLUSÃO

O processo de gentrificação pode gerar um ambiente social menos inclusivo para os residentes de longa data, resultante de transformações na dinâmica urbana, nas práticas culturais e na percepção de pertencimento. Com a gentrificação, o aumento nos custos de vida em áreas adjacentes às praças, como aluguel, alimentação e serviços, pode tornar insustentável a permanência de famílias de baixa renda, forçando sua deslocação para regiões periféricas.

Esta pesquisa tem como objetivo subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento urbano de forma inclusiva e sustentável, mitigando os impactos da exclusão social e econômica sobre as populações vulneráveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, R. **O Big Bang de Campo Maior: das origens à atualidade**. Portal De Olho, Campo Maior, 2023. Disponível em: <https://portaldeolho.com.br/campo-maior/o-big-ben-de-campo-maior-das-origens-a-atualidad/>
- BATALLER, Maria Alba Sargatal; BOTELHO, Maurilio Lima. **O estudo da gentrificação**. 2012. Disponível em: <http://www.revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/5/4>
- CIDADE VERDE. **Campo Maior: Praça Rui Barbosa ganha projeto de revitalização**. Cidade Verde, Campo Maior, 2023. Disponível em: <https://cidadeverde.com/campomaior/113880/campo-maior-praca-rui-barbosa-ganha-projeto-de-revitalizacao>
- ROJAS, M. A. V. **Revitalização da Avenida W3 sul, Brasília: Gentrificação na perspectiva de uma revitalização**. Dissertação, Programa de pós-graduação em geografia, UnB, Brasília, 2023. Disponível em: <http://www.rlbea.unb.br/jspui/handle/10482/49448>



*XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024*

5. PEREIRA, R. N. B. **Modernização urbana de Campo Maior - PI, no período áureo da cera de carnaúba.** Dissertação. PPGH, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/1956/RAIMUNDO%20NONATO%20BITENCOURT%20PEREIRA%20%20DISSERTA%C3%87%C3%83O%20PPGH%20CH%202015.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
6. PEREIRA, R. N. B. **O jornal A Luta e as representações acerca da modernização urbana e progresso de Campo Maior-PI** (1967-1979). 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/215260/001118695.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. SILVA, F. P. **Um Campo (Maior) de possibilidades: por outras narrativas no ensino de história local em Campo Maior-PI.** Dissertação. PROFHISTÓRIA, URCA, Ceará, 2021. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/705492/2/UM%20CAMPO%20%28MAIOR%29%20DE%20POSSIBILIDADES%3A%20POR%20OUTRAS%20NARRATIVAS%20NO%20ENSINO%20DE%20HISTOCC%81RIA%20LOCAL%20EM%20CAMPO%20MAIOR-PI.pdf>
8. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução no 357, 17 de março de 2005.** Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamentos de efluentes nos corpos receptores e dá outras providências.
9. Dias, I. C. A. **A influência das águas pluviais no sistema de esgotamento sanitário. V Exposição de experiências municipais em saneamento.** Assemae. Santo André, 2004. Disponível em http://www.semasa.sp.gov.br/Documentos/ASSEMAE/Trab_59.pdf. Acesso: 16 de dezembro de 2009.
10. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Habitação e meio ambiente: assentamentos urbanos precários.** Anais do Seminário de Avaliação de Projetos IPT. São Paulo: IPT, 2002.
11. Malheiros, R., Campos, A.C., Oliveira, D.G., Souza, H.A. **Utilização de resíduos orgânicos por meio da compostagem como metodologia de ensino de Gestão e Educação Ambiental. Anais V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.** Belo Horizonte: IBEAS, 2014. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/VII-028.pdf>. Acesso: 15 de abril de 2016.

ANEXO 04 - Conflito de Uso e Ocupação do Solo na Área de APP do Riacho Itararé (Mandacarú), Teresina Piauí

XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024



CONFLITOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA ÁREA DE APP DO RIACHO ITARARÉ (MANDACARU), TERESINA, PIAUÍ

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.VI-017>

Naide de Lucas da Silva Neta*, Francisco Dionata de Oliveira Silva, João Antonio Rodrigues Paz, Bruna de Freitas Iwata

* Instituto Federal do Piauí, naide.silva.neta@gmail.com

RESUMO

O Riacho Itararé, também conhecido como Mandacarú, que se localiza no município de Teresina, Piauí, enfrenta sérios problemas pela ocupação inadequada e descaracterização da sub-bacia em que se encontra acarretando inúmeros problemas como perda da infiltração da água no solo, assoreamento e inundações. O riacho, compreende toda a sub-bacia PD11, maior sub-bacia do município e hoje a sua app sofre com ocupações e intervenções que alteram o fluxo natural da água causando não só perda hídrica e comprometimento do ecossistema como também causa inundações em várias áreas da cidade. O trabalho buscou identificar as principais áreas de conflito com a app do riacho e das veredas de acordo com a nova delimitação de 50m proposta pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município. Observou-se que a APP foi invadida por diversas construções, além disso observou-se problemas como disposição irregular de resíduos sólidos e de efluentes não tratados causando poluição do solo e da água. Há a necessidade de reavaliar as leis que deveriam estar protegendo essas áreas para se ter uma proteção mais efetiva a fim de garantir a preservação assegurando um futuro sustentável para a sub-bacia.

PALAVRAS-CHAVE: Riacho Itararé, Impacto, Ocupação do solo, Preservação, Drenagem.

INTRODUÇÃO

As áreas de preservação permanente estão diretamente ligadas às funções ambientais por meio dos serviços ambientais (SA), exemplos desses SA são: conservação do solo, regularização de vazão, retenção de sedimentos, recarga do lençol freático entre outros. A lei 12651/2012 institui as APP's como áreas protegidas que podem ou não ser cobertas por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, além de contribuir com o fluxo gênico da fauna e flora, também tem como função a proteção do solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos pela ONU, são compostos por 17 objetivos que buscam a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos recursos naturais no mundo. Para garantir a conservação e a continuidade do meio ambiente é necessário dar destaque para a importância dos serviços ecossistêmicos para a conservação do solo, da água, da biodiversidade, clima, saúde e bem-estar da população. Áreas de Preservação Permanente (APPs) desempenham um papel crucial na provisão desses serviços, garantindo a proteção de recursos hídricos, a estabilidade do solo e a preservação da biodiversidade. A proteção dessas áreas é necessária para o cumprimento dos ODS, para a garantia do equilíbrio ecológico e para se atingir a qualidade ambiental (MARENZI E LONGARETE, 2018; MAFERREIRA, 2023).

A expansão urbana traz perigos para as áreas de APP devido às atividades antrópicas que impactam negativamente essas áreas frágeis de grande importância ecológica. No Riacho Itararé, localizado no município de Teresina, várias áreas que deveriam ser de APP estão sendo utilizadas invadidas por construções, causando alterações e perdas das suas áreas de drenagem, perda de biodiversidade, inundações e outros (SILVA E GOMES, 2021). É de grande necessidade uma maior proteção dessas áreas para a manutenção do equilíbrio ecológico e qualidade ambiental.

OBJETIVOS

Avaliar os conflitos de uso e ocupação do solo na área de preservação permanente (APP) do Riacho Itararé, em Teresina, Piauí.

METODOLOGIA

Área de trabalho

O trabalho foi realizado no município de Teresina, Piauí, que está localizado entre dois grandes rios, o Poti e o Parnaíba. Dentre as inúmeras sub-bacias que alimentam o Rio Poti a sub-bacia PD11 foi a escolhida para o estudo pois



XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024

possui hoje um dos últimos riachos à céu aberto do município e que se encontra ameaçado pela expansão urbana irregular na área.

O Riacho Itararé, também conhecido como Riacho Mandacaru, se encontra na sub-bacia PD11 (Poti Direita) que possui 8.976ha sendo a maior sub-bacia do Rio Poti (Figura 1). O corpo hídrico possui mais de 10 km de extensão, pegando uma grande porção da área rural e urbana do município e ao longo do seu percurso é possível observar várias áreas de veredas e nascentes (PESSOA, 2019). O trabalho se concentrou no curso principal do riacho dentro do perímetro urbano do município, onde foram observados os maiores problemas de invasão.

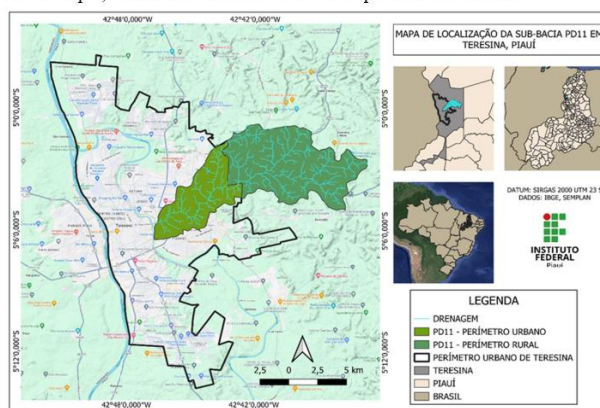


Figura 1 – Localização da Sub-bacia PD-11. Fonte: Autores, 2024

Segundo o Plano Diretor de Drenagem Urbana, a sub-bacia possui topografia suave e é naturalmente propensa a alagamentos e inundações e está situada na transição entre os biomas Caatinga e Cerrado apresentando principalmente vegetação característica de Mata de cocais. Embora categorizada como um corpo d'água efêmero pelo PDOT, estudos recentes indicam que o riacho se comporta como perene, e embora o fluxo em algumas regiões tenha diminuído devido a atividades antrópicas ainda é possível observar uma boa vazão durante todo o ano, sendo este o último riacho a céu aberto na área urbana (Figura 3). A região possui diversas áreas úmidas que caracterizam como áreas de veredas pela presença de solos hidromórficos (Figura 2) e vegetação típica, como o Buriti (*Mauritia flexuosa*) (Figura 4). O clima é do tipo Aw (Tropical com inverno seco), e a geologia é caracterizada pela Formação Pedra de Fogo, com relevo plano a ondulado e solos Latossolos e Argissolos (Lei nº12.651/2012; PDDUrb, 2012; MEDEIROS, CAVALCANTI E DUARTE, 2020; SILVA E GOMES, 2021; MARQUES E VALADARES, 2021).



Figura 2: Solo hidromórfico no riacho. Fonte: Autores, 2023



Figura 3 – Comparação do fluxo Hídrico do Riacho Itararé no período seco e chuvoso. Fonte: Autores 2023 e 2024.



Figura 4 – Mauritia flexuosa na APP do Riacho Itararé. Fonte: Autores, 2023



XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024

Levantamento de dados

Os dados foram levantados entre novembro de 2022 e agosto de 2023 por meio de visitas realizadas ao longo de todo o curso principal do riacho realizados pelo setor de monitoramento da SEMAM com a parceria de membros da Agenda 2030, Viver Mais Teresina, Coletivo Ambiental Itararé e alunos do Instituto Federal do Piauí. Durante o processo foram levantados dados de flora, hidroológico e levantamento da área por meio de Drones. Além disso foi realizado o levantamento bibliográfico sobre a área.

Utilizando o software QGIs e ortofotos geradas por drone, que permitiram imagens com riquezas de detalhes sobre o riacho, foi possível distinguir as principais áreas onde havia conflitos com a APP. Nessa etapa foi levado em consideração a nova APP de 30m para cada margem do riacho delimitado pelo estudo e APP de 50m para as áreas de veredas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conflitos Relacionados à Ocupação Inadequada e Descaracterização da Sub-bacia

O Riacho Itararé sofre com ocupações irregulares em diversos pontos, o que tem modificado significativamente sua drenagem e topografia. Dentre elas foram observadas principalmente áreas de aterro e drenagem do canal, contribuindo para a descaracterização da sub-bacia. Esses aterros e desvios feitos alteram a drenagem natural, reduzindo a capacidade de recarga hídrica essencial para o equilíbrio do ecossistema e abastecimento de água local. Além disso, essas modificações resultam em problemas de inundações, assoreamento do corpo hídrico, perda de vazão em alguns pontos, e perda de áreas de infiltração de água no solo. Tanto a APP do curso hídrico principal como a das áreas de veredas no Riacho Itararé sofrem com a invasão de casas, comércios, condomínios, indústrias e outras construções. Muitas dessas áreas, que deveriam estar protegidas, apresentam quadros de inundação e alagamentos durante o período de chuvas, exacerbados pela impermeabilização do solo.

O Plano Diretor de Ordenamento Territorial do município (PDOT) indica que o riacho é um corpo d'água efêmero e que por tanto deveria ter uma faixa de proteção de 15 metros para cada margem para o curso principal do riacho, porém o estudo realizado e que foi entregue ao Ministério Público em 2023, sugerem que essa faixa deveria ser de 30 metros para cada lado uma vez que na verdade o riacho se comporta como um corpo hídrico perene.

Outra questão se refere a áreas de servidão criadas por meio do decreto 18.059/2018 que “disciplina a largura da faixa de servidão a ser obedecida no fundo de vale da Sub-bacia PD11, e construção e operacionalização de sistemas de macrodrenagem para escoamento de águas pluviais”. Essas áreas que configuram um terreno mais baixo são áreas naturais de inundação e que retêm as águas nos períodos de chuva auxiliando que esta água não escorrapidamente pela bacia ajudando a impedir problemas como alagamentos e inundações, não contemplam todas as áreas que servem como ponto de armazenamento e recarga da bacia e que são essenciais para a perenidade dos cursos d'água. A sub-bacia apresentam inúmeras áreas de veredas que são importantes áreas úmida de exudação do lençol freático e que são muito vulneráveis à degradação. As APPs de áreas de veredas, identificadas durante o estudo, deveriam ter uma proteção de 50 metros, o que também não consta no PDOT. Problemas como assoreamento, contaminação da água e do solo, perda da vegetação causam perda dessas áreas de vereda e consequentemente temos a diminuição da recarga dos lenções freáticos. Mesmo às áreas que já constam no PDOT e no decreto que deveriam estar protegidas estão sofrendo com o avanço da urbanização.

No (Figura 5 e 6) mapa podemos ver em vermelho as áreas que estão em conflito ou são ameaças para a APP do riacho e das áreas de veredas dentro da zona urbana da cidade. Quase toda a APP do riacho se encontra ameaçada com construções irregulares que invadiram o espaço que deveria conter a mata ciliar. Durante o processo de construção de casas, estabelecimentos, condomínios, ruas e avenidas o riacho teve áreas soterradas causando estreitamento do canal, mudança no curso da água e descontinuidade do fluxo em alguns pontos. A perda de áreas verdes que deveriam ajudar a infiltrar a água no solo junto a impermeabilização do solo fez com que inúmeras áreas se tornassem grandes pontos de alagamentos e enchentes no período chuvoso todos os anos, algumas das áreas que mais alagam são Av. Camilo Filho na zona sudeste da cidade e na Av. Joaquim Nelson.

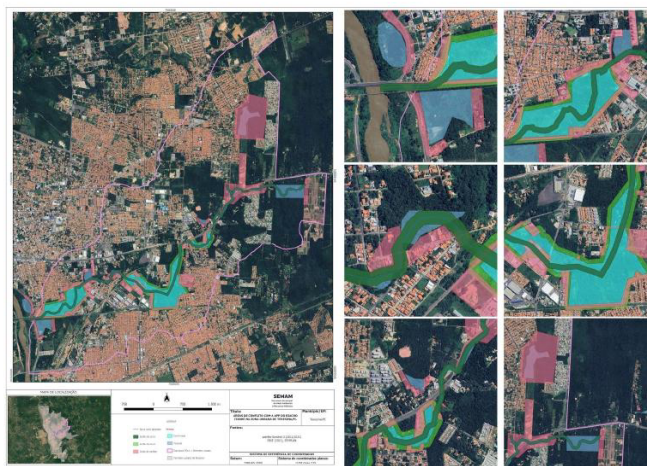


Figura 5 – Mapa de áreas de conflito com o curso principal do Riacho Itararé (Mandacaré). Fonte: SEMAM, 2023

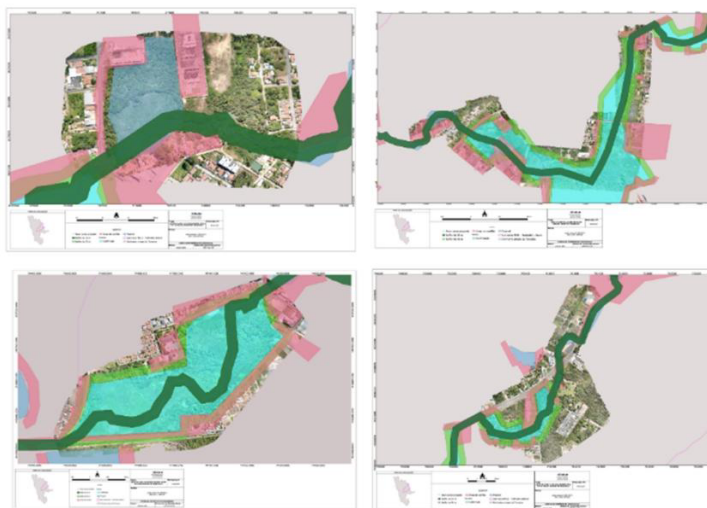


Figura 6 – Ortofotos mostrando detalhes das áreas de conflito. Fonte: SEMAM, 2023

Conflitos Relacionados à Poluição e Degradação Ambiental

Um dos grandes problemas que surgem com o processo de urbanização é a disposição incorreta de resíduos sólidos e que contaminam o solo, a água e o ar. As ocupações irregulares no Riacho Itararé, não só causam aterro e assoreamento das áreas de APP e do corpo hídrico do riacho, como também trazem os problemas de disposição irregular de resíduos sólidos.

Durante as visitas ao riacho foram observadas inúmeras áreas que sofrem com o descarte de resíduos, trazendo destaque para a situação encontrada em um ponto na Av. Noronha Almeida onde uma grande parte da APP se tornou



XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024

um lixão a céu aberto. Outros pontos mostraram resíduos de construção civil sendo utilizados principalmente para aterramento da margem do riacho (Figura 7).

Outra questão é o derramamento de efluentes não tratados que vão diretamente para o riacho. Foi possível observar inúmeras casas com canos voltados para a rua cujo caminho da água levava diretamente até o riacho (Figura 8).



Figura 7 – Lixão na app do Riacho Itararé. Fonte: Autores, 2023 e 2024



Figura 8 – Efluente sendo jogado na app do Riacho Itararé. Autores, 2024

Problemas Sociais e Econômicos Relacionados à Ocupação

A ocupação inadequada das APPs do Riacho Itararé não apenas compromete a integridade ecológica dessas zonas sensíveis, mas também agrava problemas sociais e econômicos na região. As comunidades mais vulneráveis, especialmente aquelas de baixa renda, são as mais afetadas pelos impactos negativos gerados na bacia, como alagamentos e inundações, que reduzem significativamente a qualidade de vida. Apesar da instituição de seis áreas de servidão para contenção das águas, os problemas com inundações persistem, resultando inclusive em fatalidades.

Por conta de características físicas naturais da bacia e a descaracterização dela aumentou os problemas de inundações em alguns trechos do riacho. Áreas onde antes possuía uma boa vazão foram estreitadas e impermeabilizadas enquanto áreas que anteriormente não inundavam passaram a receber uma grande vazão das águas que deveriam ter sido armazenadas ou infiltradas no decorrer da bacia. Essas inundações ocorrem em áreas mais baixas do terreno e que por sua vez possuem pessoas em maior vulnerabilidade socioeconômica.

Necessidade de Reavaliação das Leis de Proteção

Diante dos problemas mencionados, há uma enorme necessidade de reavaliar as leis de proteção das áreas de preservação permanente no Riacho Itararé. Como observado anteriormente o aparato legal que deveria proteger o riacho não é o mais adequado para a sua preservação uma vez que não leva em consideração as reais características da área.

A contenção do avanço urbano é crucial não apenas para restaurar o equilíbrio ambiental na região, mas também para prevenir tragédias decorrentes das alterações hidrológicas no riacho. Para isso o primeiro passo é reavaliar as leis de proteção para que estas estejam em conformidade com a real necessidade da área seguindo o que foi encontrado nos estudos feitos para a bacia.

CONCLUSÃO

A ocupação das áreas de preservação permanente (APP) do Riacho Itararé causa sérios impactos ambientais, como degradação do solo, assoreamento dos rios e perda de biodiversidade. A remoção da vegetação nativa e a impermeabilização do solo aumentam o risco de enchentes e alagamentos. Apesar das proteções legais estabelecidas pelo Código Florestal, a falta de fiscalização e a pressão imobiliária resultam na ocupação ilegal dessas áreas. Para garantir a preservação das APPs e um futuro sustentável para Teresina, são necessárias políticas públicas eficazes que levem em consideração as reais características físicas da bacia e a colaboração entre os setores público.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília.
- FERREIRA, A. S., COSTA, A. I. E., FILHO, F. C. Contribuições dos serviços ecossistêmicos para a qualidade de vida no contexto do desenvolvimento sustentável. Contribuições a las ciencias sociales, V.16, n.7. São José dos Pinhais, 2023.
- MARENZI, R. C., LONGARETE, C. As áreas protegidas no Brasil e os serviços ecossistêmicos ante as inundações: finalidade ou casualidade? *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, v. 27, n. 2, p. 313-322, 2018.
- MARQUES, R. G.G.; VALLADARES, G. S. **Qualidade dos solos urbanos em áreas verdes de Teresina (PI)**. Revista Equador, Vol. 10, nº1, Piauí, 2021.
- MEDEIROS, R. M.; CAVALCANTI, E. P.; DUARTE, J. F. M. **Classificação climática de Köppen para o estado do Piauí, Brasil**. Revista Equador, Vol. 9, nº3, Piauí, 2020.
- MUNICÍPIO DE TERESINA, Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina – 2010 Lei nº3.888, de 26 de setembro de 1983 (PIAUI, 1983) PESSOA, T. M. **Teresina, uma cidade entre rios: estudo da gestão das águas pluviais na zona sul**. Dissertação, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.



*XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024*

7. Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMAM) - Teresina, Coletivo Ambiental Itararé, Instituto Federal do Piauí (IFPI). **Avaliação do Riacho Itararé na Zona Urbana de Teresina: Relatório Preliminar**. 22 de agosto de 2023, Teresina, Piauí.
8. SILVA, F. C. P., GOMES, E. R. **USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SEUS REFLEXOS NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ EM TERESINA-PI**, Revista da academia de ciências do Piauí, Volume 2, Número 2, p. 281 – 300, 2021.

ANEXO 05 - Políticas Públicas no Desempenho da Proteção e nas Medidas Mitigadoras dos Impactos Ambientais nos Recursos Hídricos de Teresina, Piauí

XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024



POLÍTICAS PÚBLICAS NO DESEMPENHO DA PROTEÇÃO E NAS MEDIDAS MITIGADORAS DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NOS RECURSOS HÍDRICOS DE TERESINA, PIAUÍ

DOI: <http://dx.doi.org/10.5549/congea.15.24.IX-022>

Liana Cristine Sousa Chaves*, Ageu da Silva Monteiro Freire, Bruna de Freitas Iwata, Krishna Shiva Oliveira Sousa, Francisco Dionata de Oliveira Silva
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Teresina Central
E-mail: cristineliana581@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho consistiu em análises dos impactos ambientais gerados aos recursos hídricos, sendo eles, riachos interligando bairros, rios e córregos de áreas urbanas de Teresina, PI. O objetivo do estudo foram analisar e diagnosticar os impactos ambientais causados aos corpos hídricos e propor medidas mitigadoras para a redução de poluidores compostos nas áreas do município. A metodologia empregada por meio de análise em campo, adotando técnicas de observação e levantamento fotográfico nas seguintes áreas situadas. Os resultados consistiram em abordagens por meio das políticas públicas como forma de minimização dos impactos ambientais causados aos corpos hídricos. A conclusão do estudo aponta, que há uma série de medidas mitigadoras que compõe a recuperação de recursos hídricos, com isso é essencial a implementação de estudos e contribuições para recuperar as áreas afetadas.

PALAVRAS-CHAVE: Políticas Públicas, Saneamento Básico, Gerenciamento de Resíduos.

INTRODUÇÃO

A água é primordial para a existência de vida do Planeta Terra, é importante sua preservação, porém com o aumento populacional é perceptível a demanda alta de consumo para atender as necessidades. A maior concentração é nos mares e oceanos, como também uma pequena concentração de água doce em rios, lagos e lençóis freáticos que estão disponíveis para consumo humano, porém devido ao crescimento urbano traz consigo os impactos pelas atividades antrópicas (SANTOS et al., 2020).

A expansão das áreas urbanas e crescimento populacional causam mudanças provenientes de desmatamentos, alterações no relevo, impermeabilização do solo, aterramento de cursos d' água e lagoas, ocorre a excessiva retirada de águas superficiais e subterrâneas, entre outras intervenções que resultam na degradação dos recursos hídricos (MOTA; VASCONCELOS, 2020).

O presente trabalho consistiu em uma análise de algumas áreas de fontes hídricas que são utilizadas para consumo humano. Foi analisado os impactos ambientais gerados aos recursos hídricos, sendo eles, riachos interligando bairros, rios e córregos de áreas urbanas de Teresina, PI.

OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo analisar e diagnosticar os impactos ambientais causados aos corpos hídricos e propor medidas mitigadoras para a redução de poluidores compostos nas áreas do município de Teresina, PI.

METODOLOGIA

O trabalho foi realizado por meio de análise em campo, adotando técnicas de observação e levantamento fotográfico nas seguintes áreas situadas no município de Teresina, Piauí: Riacho da Floresta Fóssil conectado ao Rio Poti; Riacho Juriti; Riacho Vale do Gavião ligado a lagoa do Parque Zoobotânico; Riacho do Bairro Itararé; Lagoa do Condomínio Aldebaran Leste.

Este estudo consistiu na análise de algumas áreas de captação de água para consumo humano, foi possível observar os impactos ambientais gerados nos recursos hídricos, como riachos, rios e lagoas que banham os bairros da cidade, dentre as técnicas de observação, foi analisado a coloração da água, odor, o tipo de vegetação ao redor e a presença de resíduos tanto ao redor como dentro do local.

Além do diagnóstico e avaliação das áreas escolhidas, foram realizadas pesquisas documentais e bibliográficas, por meio de artigos científicos e teses para discutir acerca dos impactos ambientais e medidas mitigadoras.

RESULTADOS



*XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024*

Entre os locais analisados está a Floresta Fóssil, situada na Avenida Raul Lopes, bairro Noivos, possuindo um riacho que conecta ao Rio Poti (Figura 1). O Rio Poti possui valor histórico, cultural e econômico na cidade de Teresina, o rio liga as regiões Centro-Norte, Sul, Sudeste e Leste com a cidade e faz fronteira entre Piauí e Ceará onde ao invés se segue em direção ao Norte (BRANDÃO; PAULA, 2019).

A Floresta Fóssil de Teresina é um monumento natural do Rio Poti, composto de fósseis vegetais, sendo um parque arqueológico municipal criado em 1994 por meio do Decreto Municipal nº 2.704/94. Em 2018 foi instituído como Unidade de Conservação de Preservação Integral pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC.



Figura 1: Conexão do Riacho da Floresta Fóssil com o Rio Poti no município de Teresina, Piauí. Fonte: Autores, 2023.

Outro local visitado foi o Riacho Juriti, localizado na Avenida Presidente Kennedy, Bairro Satélite. Além das residências próximas, o riacho é utilizado como um recurso de pesca pela comunidade local, contribuindo significativamente para a geração de renda de alguns moradores na região (Figura 2-1), porém a atividade praticada pelos moradores é realizada sem equipamentos de proteção, como máscaras ou roupa de mergulho adequada, sendo assim tornando-se um risco à saúde devido a exposição da água em contato com a pele.

Também, foi analisada a Lagoa do Zoobotânico conectada ao Riacho do Gavião, situado no bairro Pedra Mole. Além das residências próximas, ambos os locais estão em áreas a céu aberto, proporcionando um ambiente natural e integrado à comunidade local (Figura 2-2). Devido à proximidade das residências e à integração com a comunidade, é necessário realizar um monitoramento ambiental para garantir a preservação desse ambiente natural e a qualidade da água.

Além disso, a conscientização da comunidade sobre a importância da preservação ambiental e o despejo inadequado de resíduos pode ser pontos relevantes a ser considerado, como também a falta de saneamento básico que deveria ser aplicado nesses pontos devido a grande quantidade de efluentes que circula pelo riacho e a lagoa.



Figura 2: Riacho Juriti (1); Conexão da Lagoa do Zoobotânico ao Riacho do Gavião (2) no Município de Teresina, Piauí. Fonte: Autores, 2023.

Outro corpo hídrico analisado está localizado no bairro Itararé, o riacho Itararé, possui percurso médio exposto a céu aberto com residências e um depósito de peças de automóveis ao lado. Vale pontuar a importância de avaliar o impacto das atividades humanas e do depósito próximo ao riacho, como também estudos sobre a contaminação da água e compreender os possíveis impactos que podem ocorrer nessa região.

O último ponto visitado trata-se da lagoa Aldebaran Leste próxima ao condomínio situado na Zona Leste da cidade, o local da Lagoa é uma propriedade privada sem conhecimento de seu uso. É necessário a verificação do uso e a

conservação da lagoa, pois sua localização é próxima ao condomínio e o desconhecimento sobre seu uso pode trazer impactos ambientais negativos significativos.

Todas as áreas são fontes de consumo de alguma atividade, porém a análise de todos os pontos, menos o local da Lagoa Aldebaran Leste que foi analisado, possui impacto referente ao lançamento de efluentes que vêm das residências, é notório a falta de saneamento básico e que alguns desses pontos são utilizados pela população das proximidades para alguma atividade, resultando um risco à saúde, proliferação de doenças e vetores, como também causa efeitos negativos ao meio ambiente.

Outro fator de risco durante a visita, foi a presença em grande parte dos pontos, menos no Rio Poti e na Lagoa do Aldebaran Leste, a semelhança na qualidade da água, que encontravam-se de cor esverdeada e não incolor, a presença de odor médio devido ao lançamento de efluentes sem tratamento, alguns dos pontos possuem matas ciliares, sendo mínima ou diversas.

As políticas responsáveis pelo meio ambiente, tanto no meio natural, como no meio construído, constitui as políticas públicas nacionais são: Política Nacional do Meio Ambiente lei N° 6.938/81, alterada pela 7.804/89; Política Nacional de Saúde N° 8080/90; Política Nacional dos Recursos Hídricos N° 9433/97, modificada pela 9984/00; Política Nacional de Educação Ambiental N° 9795/99 e a Política Nacional de Desenvolvimento Urbano N°10257/01, a menção também da Constituição Federal de 1988 (AUGUSTI, 2023).

É notório a importância das áreas de estudo, devido as atividades vinculadas como benefício para as comunidades, porém há uma negligência em relação a esses recursos. Segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n° 9433/97) tem por objetivo assegurar a disponibilidade de água, em padrões de qualidade, promovendo a utilização racional e integrada dos recursos hídricos. Estas ações requerem a utilização e aplicação de instrumentos no gerenciamento dos corpos hídricos, incluindo o direito de uso das águas.

Ainda sobre a legislação ambiental, O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio de Normas e Resoluções sobre corpos de águas n° 357 de 2005 e águas subterrâneas, n° 396 de 2008, o gerenciamento de resíduos em relação à preservação dos recursos naturais e do meio ambiente, destaca a importância do monitoramento dos órgãos ambientais estaduais e municipais, estabelecendo, critérios para o licenciamento ambiental dos sistemas de tratamento e destinação final de resíduos.

CONCLUSÃO

As áreas de estudos sofrem impactos ambientais negativos causados pela atividade antrópica, principalmente decorrentes da falta de saneamento básico, comprometendo a qualidade da água e a alguns desses locais prejudicam diretamente a saúde pública devido à exposição ou em questão de consumo por meio de alguma atividade presente no local.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Art. 2º, Inciso IV da Lei 9.433/1997) junto a Lei 11.445/2007 do Saneamento (Art. 3º, inciso I, alínea “d”), promovem uma ferramenta do serviço público de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Tendo como objetivo, o Art. 2º Política Nacional de Recursos Hídricos: IV – incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais; O Art. 3º Política de Saneamento Básico: I – saneamento básico: conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de: d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes.

A Política de Saneamento Básico Lei 11.445/2007 atualizada pela Lei 14.026/2020, busca inovar os serviços de drenagem urbana e manejo de águas pluviais aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, também inclui os serviços de saneamento, junto ao manejo de resíduos sólidos.

Devido ao avanço da política de saneamento embora imposta na teoria, na prática o município apresentou poucos avanços no saneamento básico, em relação à drenagem das águas pluviais urbanas o efeito é qualitativo, provocando uma concentração de poluição em pontos de lançamento afetando a qualidade dos rios urbanos, ressalta-se um conflito presente no manejo dessas águas por parte dos usuários, sendo assim uma necessidade de fiscalização dos serviços, já o lançamento de efluentes são pouco fiscalizados e seus parâmetros de lançamento são desconhecidos na maioria das vezes (ROSAS, 2023).

É necessário a implantação de avaliações, diagnóstico e o monitoramento ambiental para a recuperação das áreas afetadas. Outro método é por meio de processos estratégicos com a participação do poder público, entidades do meio ambiente e a participação da população.

Pode-se concluir que há uma série de medidas mitigadoras que compõe a recuperação de recursos hídricos, com isso é essencial a implementação de estudos e contribuições para recuperar as áreas afetadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AUGUSTI, Rodinei et al. **DESAFIOS E OPORTUNIDADES NA GESTÃO AMBIENTAL: O PAPEL DOS MUNICÍPIOS E PARCERIAS NA PRESERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**. CIÊNCIAS E



*XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024*

- TECNOLOGIA DAS ÁGUAS: INOVAÇÕES E AVANÇOS EM PESQUISA-VOLUME I, v. 1, n. 1, p. 113-133, 2023.
2. Brandão, F. W. M. Paula, J. E. A. **USO E OCUPAÇÃO DAS MARGENS DOS RIOS POTI E PARNAÍBA EM TERESINA**. IX Jornada Internacional de Política Públicas, 2019.
 3. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**.
 4. Lei Federal Nº 9.433/97. **Política Nacional de Recursos Hídricos**: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm
 5. Lei Federal Nº 14.026/2020. **Política de Saneamento Básico**: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2022/2020/Lei/L14026.htm
 6. MOTA, F. S. B.; VASCONCELOS, F. D. M. **Gestão ambiental, legislação e os recursos hídricos na cidade de Fortaleza (CE), Brasil**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, vol. 55, n. 3, p. 313-330, 2020.
 7. ROSAS, Estela Miridan. **Financiamento em infraestrutura de drenagem urbana: um estudo de caso do município de Teresina/PI. 2023**. 141 f., il. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) — Universidade de Brasília, Brasília, 2023.
 8. Santos, G.D., Mesquita, A.N.S., Jesus, J.F., Lima, C.E.S., Sena, A.G. (2020). **Análise dos impactos ambientais em ambientes hídricos: O caso do rio Sirinhaém na Zona da Mata pernambucana (Brasil)**. Meio Ambiente (Brasil), v.2, n.1, p.41-48.

ANEXO 06 - Fatores Naturais e Antrópicos que Contribuem para Enxurradas, Inundações e Alagamentos no Meio Urbano de Teresina, Piauí

XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024



Fatores Naturais e Antrópicos que Contribuem para Enxurradas, Inundações e Alagamentos no Meio Urbano de Teresina, Piauí

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.XI-019>

Krishna Shiva Oliveira Sousa (*), Liana Cristine Sousa Chaves, Francisco Dionata de Oliveira Silva, Leila Guimarães Gonçalves, Bruna de Freitas Iwata

* Instituto Federal do Piauí-IFPI, Campus Teresina Central, krishnaoliveira@gmail.com.

RESUMO

O estudo aborda os fatores naturais e antrópicos que contribuem para enxurradas, inundações e alagamentos na cidade de Teresina, Piauí. A cidade, caracterizada por um clima tropical e chuvas intensas de dezembro a março, enfrenta sérios problemas devido à combinação de fatores ambientais, como a topografia acidentada e a presença dos rios Parnaíba e Poti, e antrópicos, como a urbanização desordenada e a impermeabilização do solo.

As enxurradas em Teresina são causadas principalmente por tempestades intensas e condições de relevo íngreme, que favorecem o escoamento superficial rápido. Fatores antrópicos, como a expansão urbana sem planejamento e a falta de infraestrutura adequada de drenagem, agravam o problema.

As inundações resultam da proximidade com grandes rios e planícies de inundação, que, combinados com a urbanização desordenada e a remoção da vegetação, aumentam os riscos de transbordamentos. A expansão descontrolada de áreas urbanas e a ocupação inadequada das margens dos rios amplificam esses riscos.

Os alagamentos são provocados por chuvas torrenciais e pela saturação do solo. A falta de um sistema de drenagem eficiente e a ocupação de áreas sensíveis tornam a cidade mais vulnerável. O estudo conclui que políticas públicas mais eficazes, incluindo o zoneamento geoambiental e a conscientização da população, são essenciais para mitigar esses impactos.

PALAVRAS-CHAVE: Urbanização Desordenada; Impermeabilização do Solo e Eventos Hidrológicos.

INTRODUÇÃO

O desastre natural caracteriza-se por eventos provenientes da natureza em comparação aos desastres antrópicos, relacionados às atividades humanas, ou desastres mistos, que contribuem para o agravamento dos desastres naturais.

Ao longo da história global percebemos a ocorrência de enchentes e inundações, que são eventos naturais globais, no entanto os alagamentos vem sendo consequências de uma infraestrutura urbana inadequada e planejamento insuficiente, causando uma série de prejuízos em todas as esferas, atingindo diretamente e indiretamente a todos.

O município de Teresina é a capital do estado do Piauí, banhada pelos rios Parnaíba e Poti, o município é um importante centro administrativo e comercial, possui uma economia diversificada, infraestrutura básica em crescimento nos setores da educação, saúde e transporte, sendo referência em serviços hospitalares e de educação das universidades mais procurados por outros municípios, como também a grande presença de riqueza cultural.

Na cidade de Teresina o clima caracteriza-se como tropical, com temperaturas elevadas na maior parte do ano e chuvas intensas durante os meses de dezembro a março, o que provoca transtornos como enxurradas, enchentes, alagamentos e inundações. Por conseguinte, vem a necessidade de conhecer e prever as possíveis causas desses eventos climáticos em prol da segurança social, ambiental e econômica, em ênfase aos marginalizados que acabam sendo mais afetados por não terem condições de se proteger de eventos extremos.

OBJETIVO

O objetivo deste estudo é abordar as possíveis causas naturais e antrópicas das enxurradas, inundações e alagamentos e analisar seus efeitos e impactos no meio socioeconômico e ambiental em Teresina, Piauí.

METODOLOGIA

O presente estudo concentra-se nos fatores naturais e antrópicos de eventos hidrológicos. Para alcançar o objetivo proposto, foram realizadas pesquisas bibliográficas, visitas a plataformas especializadas e consultas a sites oficiais. Em específico, os trabalhos acadêmicos foram consultados pela plataforma digital do Google Acadêmicos, Ibeas e os sites oficiais por meio de portais do estado para a verificação de Legislação e o Plano Municipal. Onde posteriormente foram usados para a elaboração da relação de causas naturais e antrópicas de enxurradas, inundações e alagamentos em Teresina. Em contraponto, caracterizando as particularidades em relação à área urbana da capital do



XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024

Piauí e realizando um comparativo do ano de 2002 aos dias atuais em relação às inundações na capital em meio a expansão urbana.

RESULTADOS OBITIDOS

Há classificações que determinam as causas naturais e antrópicas. Segundo informações da Defesa Civil Nacional (2018), os desastres naturais estão estruturados nos grupos geológico, hidrológico, meteorológico, climatológico e biológico. Os desastres naturais hidrológicos são compostos pelos subgrupos: inundações, enxurradas e alagamentos.

Enxurradas

A partir da análise verificou-se que as causas naturais das enxurradas em Teresina, são frequentemente desencadeadas por tempestades intensas e precipitações repentinas, que se intensificam devido à topografia local, condições do solo e cobertura vegetal. Camaden (2016) afirma que as enxurradas surgem de tempestades intensas com precipitação repentina e duradoura, dependendo da intensidade da chuva, topografia, condições do solo e cobertura vegetal. O mesmo frisa que, terrenos íngremes favorecem o escoamento rápido e a formação de enxurradas quando o solo não pode dissipar a energia erosiva. Isso revela a propensão de enxurradas na área urbana de Teresina devido seu relevo acidentado de depressões característicos, como é pontuado por Lima & Augustin (2010), dos sertões semiáridos nordestinos com “formas de relevo desenvolvidas em rochas intensamente metamorfasadas por várias fases de tectonismo e rebaixadas por longos processos desnudacionais”.

O presente estudo revelou que uma das principais causas antrópicas das enxurradas é a urbanização desordenada e a impermeabilização do solo, fatores críticos que agravam as enxurradas em áreas urbanas e rurais de Teresina. Dessa maneira, somada à falta de planejamento e infraestrutura de drenagem, intensifica os impactos das chuvas no meio urbano, no qual pode sofrer sobrecarga de água das áreas rurais em constante modificação próximas à capital, principalmente pelo agronegócio. A Emater-MG (2023) ressalta que em áreas que possuem solos expostos e compactados, como os das estradas rurais, são mais afetados, e o desmatamento para agricultura também contribui para a severidade das enxurradas.

Inundações

Inundações são causadas por características ambientais como vegetação, clima e relevo. Em áreas litorâneas, o relevo plano e o nível do mar aumentam o risco de inundações, que também pode ser causado pelo transbordamento das planícies de inundação (Chaves; Andrade, 2017).

Foi verificado que a proximidade de Teresina com corpos hídricos facilita eventos de causas naturais. A capital está localizada próxima a grandes importantes rios, Rio Poti e Rio Parnaíba, no qual o último compõe uma importante Bacia Hidrográfica do Brasil. Juntos os dois rios formam uma grande planície de inundação onde a cidade está inserida.

Com o estudo foi possível verificar que a expansão urbana sem planejamento e a impermeabilização do solo pelas atividades antrópicas, gera o aumento do escoamento superficial e reduz a infiltração da água no meio urbano de Teresina. Vale pontuar que é agravada pela crescente construção em massa de condomínios na região, que gera mais supressão vegetal. A remoção de vegetação e alterações nos cursos dos rios intensificam o risco de inundações.

Um estudo realizado no Plano de Desenvolvimento Sustentável de Teresina, realizado em 2002, revelou que a ocupação desordenada do solo levou a cidade de Teresina a ter problemas com inundações. Afirmou que os terraços fluviais no rio Poti são mais amplos do que no rio Parnaíba. Dessa maneira, em resposta às inundações, certas partes da cidade evitavam ocupar esses terraços, optando por cultivar culturas intermitentes neles. Contudo, em áreas específicas, houve ocupação inadequada desses espaços, resultando em pontos frequentes de inundações (Teresina, 2002 apud Chaves e Andrade, 2017). Situação essa que permanece até os dias atuais com a expansão urbana sem planejamento de drenagem.

Além disso, o desmatamento, aterramento e poluição torna-se um risco em áreas fluviais e lacustres, devido às ocupações desenfreadas por novos espaços é suscetível a modificações nos ambientes naturais e dos cursos de água, cenário este que o Brasil enfrenta até os dias atuais em razão da urbanização (Santos; Caracristi, 2022).

Segundo o Levantamento de Gestão da Drenagem Urbana de Teresina (2023), na região do Nordeste no município de Teresina o cenário é de ocupação desenfreada em locais sensíveis, como também novos loteamentos sem considerar a topografia existente, a drenagem implantada arbitrariamente nas ruas sem considerar o relevo natural dos locais. Pelo Plano de Drenagem Urbana (PDDrU) de Teresina, devido ao crescimento desordenado e ao planejamento inadequado da drenagem urbana agravou os problemas de alagamentos, enchentes e inundações, também aos pontos de canais fechados e córregos escondidos. Por outro lado, esses impactos hídricos ocorrem em áreas específicas de Teresina, visto a questão de entupimento de bueiros e galerias e o descarte de resíduos inadequados. É notório no levantamento a ausência de investimentos, dependendo de financiamento externos, a falta de planejamento de ações necessárias e ausência de educação ambiental na conscientização da população.

Alagamentos

Os alagamentos naturais resultam de chuvas intensas, derretimento rápido de neve e gelo, e tempestades tropicais, que aumentam o volume de água e o nível do mar (Silva, 2018).

Alicerçado pela pesquisa, foi analisado que em Teresina os alagamentos naturais são frequentemente provocados pelas chuvas torrenciais, com altas taxas de precipitação em curtos períodos, especialmente na região onde o solo já está saturado. É uma causa comum no período chuvoso da região que, conforme dados do INMET (2024), já chegou a ter precipitação de 348,6 mm apenas no mês de março e o maior volume diário que foi registrado chegou a 62,4 mm de chuva.

Ademais, foi constatado que a falta de planejamento urbano e sistemas de drenagem inadequados têm intensificado os alagamentos em Teresina, assim gerando mais áreas impermeabilizadas e sem escoamento adequadamente direcionado da água. A impermeabilização do solo e a ocupação irregular do terreno aumentam a propensão a alagamentos, com a ausência de políticas urbanas eficazes exacerbando os danos (Silva, 2018).

Foi possível verificar que os processos geológicos e hidrológicos são uma parte natural da superfície terrestre em Teresina, no Brasil e no Mundo. No entanto, a ocupação urbana em áreas naturais vulneráveis, como planícies de inundação, amplifica os riscos de deslizamentos, inundações, enxurradas e alagamentos, apesar de serem processos naturais. A preparação adequada do sistema social para enfrentar esses eventos pode minimizar os impactos negativos em termos sociais, econômicos e ambientais.

Por outro lado, sistemas sociais com falhas estruturais podem ser sobrecarregados mesmo por eventos de baixa intensidade, resultando em consequências graves. Dessa maneira foi realizada por Saito et al (2019) uma análise das Regiões do Brasil expostas aos riscos geológicos e hidrológicos:

- Região Norte: 4%, totalizando 222.306 pessoas em 59.748 domicílios distribuídas em 37 municípios analisados.
- Região Nordeste: 15% da população dos municípios analisados, com um total de 2.726.747 pessoas.
- Região Sudeste: 3.647.990 pessoas vivendo em 16.024 áreas de risco mapeadas ao longo de 156 municípios críticos.
- Região Sul: 501.130 pessoas e 173.878 domicílios distribuídos em 6.789 áreas de risco mapeadas.

Dessa forma é essencial a participação da defesa civil, as prefeituras e outras instituições no atendimento de danos e acidentes ocasionados por fenômenos naturais. Um dos estudos eficientes para minimizar os impactos, trata-se do Zoneamento Geoambiental, este meio atende demandas através da cartografia, baseado nos estudos de drenagem, Geologia, clima, solo, relevo e entre outros.

CONCLUSÃO

Os desastres antrópicos relacionados ao crescimento urbano desordenado e à falta de infraestrutura adequada contribuem significativamente para os problemas hidrológicos em Teresina, especialmente em áreas onde famílias carentes se instalam sem acesso a saneamento básico. Esses fenômenos têm impactos materiais e ambientais graves.

Portanto, é crucial implementar estratégias eficazes para mitigar esses impactos, incluindo a participação ativa da Defesa Civil, prefeituras e outras instituições, além de investimentos em pesquisa, políticas públicas e planejamento habitacional sustentável. A adoção do Zoneamento Geoambiental pode ser uma ferramenta eficiente para atender essas demandas e minimizar os riscos associados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Dias, I. C. A. A influência das águas pluviais no sistema de esgotamento sanitário. V Exposição de experiências municipais em saneamento. Assemae. Santo André, 2004. Disponível em BRASIL. DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. Legislação Geral de Defesa Civil. Porto Alegre/RS: Coordenadoria Estadual de Defesa Civil, [s.d.]. Disponível em: <https://www.defesacivil.rs.gov.br/legislacao-geral-de-defesa-civil>. Acesso em 18 jul. 2018.
2. BRASIL. **Balanço: Teresina (PI) teve chuva e temperaturas acima da média em março/2024**. Instituto Nacional de Meteorologia-INMET. Brasília-DF, 2024. Acesso em 15 jul. 2024.
3. BRASIL. **Levantamento – Gestão da Drenagem Urbana de Teresina, 2023**. Tribunal de Contas do Estado do Piauí. Prefeitura Municipal de Teresina. Acesso em 15 jul. 2024.
4. CHAVES, S. V. V., ANDRADE, C. S. A incidência dos desastres naturais em Teresina, Piauí e o perfil da população vulnerável às inundações. Caderno de Geografia, 27(1), 159-188, 2017. Acesso em 04 ago. 2024.
5. CPRM. **Curso de Capacitação de Técnicos Municipais para Prevenção e Gerenciamento de Riscos de Desastres Naturais**. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, Vitória/ES, 2017. Acesso em 15 jul. 2024.



*XV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Belém/PA – 05 a 08/11/2024*

6. EMATER. **Emater-MG apresenta técnicas para reduzir impactos das enxurradas.** Agricultura, EMATER-MG. Minas Gerais, 2023. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/agricultura/noticias/emater-mg-apresenta-tecnicas-para-reduzir-impactos-das-enxurradas>. Acesso em 15 jul. 2024.
7. LIMA I.M.M.F; AUGUSTIN C.H.R.R. **O relevo do Espaço Piauiense: Aspectos de Sua Estruturação e Evolução.** VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Universidade de Brasília/UNB. Brasília-DF, 2010. Acesso em 15 jul. 2024.
8. Maria Sá dos Santos, C., & Caracristi, I. (2022). **Clima e Inundações na Cidade de Sobral (Ce).** Revista Territorium Terram, 5(7). Disponível em: http://www.seer.ufsj.edu.br/territorium_terram/article/view/5197. Acesso em 04 ago. 2024.
9. Saito, S. M., Dias, M. C. d. A., Alvalá, R. C. d. S., Stenner, C., Franco, C., Ribeiro, J. V. M., Souza, P. A. d., & Santana, R. A. S. d. M. **População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil.** Sociedade & Natureza, 31, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/SN-v31-2019-46320>. Acesso em 04 ago. 2024.
10. SILVA, M.R. **Natureza, Sociedade e Alagamentos no bairro de Nova Descoberta em Natal/RN.** IFRN, Natal-RN, 2018. Acesso em 04 ago. 2024.

ANEXO 07 - ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS GEOESPACIAIS PARA COMPREENSÃO DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA SERRA - PI

XVI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Recife/PE – 04 a 07/11/2025



ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS GEOESPACIAIS PARA COMPREENSÃO DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA SERRA - PI

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.IV-006>

Francisco Dionata de Oliveira Silva (*), Naide de Lucas da Silva Neta, Liana Cristine Sousa Chaves, Krishna Shiva Oliveira Sousa, Bruna de Freitas Iwata

* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, dionatatcc@gmail.com.

RESUMO

A suscetibilidade a deslizamentos representa um desafio ambiental em áreas com elevada fragilidade natural, sobretudo no semiárido piauiense. O município de São João da Serra apresenta declividades acentuadas, solos rasos e pressões antrópicas que favorecem a ocorrência desse fenômeno. O presente trabalho teve como objetivo analisar e mapear a suscetibilidade a deslizamentos por meio da integração de dados geoespaciais, utilizando uma abordagem multicritério. Foram reunidas informações de geologia, pedologia, relevo, uso do solo e precipitação, processadas em ambiente de geoprocessamento. A atribuição de pesos às variáveis permitiu a elaboração de um mapa temático classificado em cinco níveis de suscetibilidade. Os resultados indicaram que as áreas de maior risco se concentram ao sul, sudeste e centro-sul do município, associadas a relevo íngreme e solos de baixa coesão. Já as áreas do norte e noroeste apresentam baixa suscetibilidade devido ao relevo mais plano e às formações geológicas mais resistentes. A análise demonstrou que a declividade e a precipitação são fatores decisivos na instabilidade do terreno, atuando como condicionantes e gatilhos. Conclui-se que a integração de dados geoespaciais é uma ferramenta estratégica para subsidiar a gestão territorial, apoiar políticas públicas e orientar ações preventivas no enfrentamento de riscos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Geoprocessamento; Planejamento territorial; Risco ambiental.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de deslizamentos de terra constitui um dos principais problemas ambientais que afetam regiões com elevada fragilidade geomorfológica e pedológica. No contexto do semiárido piauiense, a combinação entre solos rasos, declividades acentuadas e chuvas concentradas em curtos períodos intensifica a suscetibilidade a esse tipo de processo natural (IBGE, 2019; Santos, 2024).

Em áreas semiáridas do Brasil, o risco de deslizamentos é frequentemente ligado episódios de chuva extrema que têm desencadeado movimentos de massa mesmo em regiões secas, quando a precipitação concentrada supera a capacidade de infiltração de solos rasos e pouco estruturados características comuns nessa área geográfica, expondo fragilidades locais associadas ao relevo e à litologia (Marengo et al., 2021).

Nesse cenário, o município de São João da Serra (SJS), PI apresenta uma diversidade geomorfológica, solos com variações de estabilidade e pressões antrópicas crescentes, fatores que tornam necessária a análise integrada da suscetibilidade a movimentos de massa (CPRM, 2004; CEPRO, 2011) para caracterizar e apresentar as regiões com a maior probabilidade de deslizamento em sua área geográfica.

Esse cenário evidencia a necessidade de estudos que identifiquem e classifiquem as áreas mais vulneráveis, a fim de subsidiar o planejamento territorial e a gestão preventiva de riscos ambientais, a compreensão dos fatores condicionantes, como geologia, pedologia, relevo, uso do solo e precipitação, amplia a capacidade de prever áreas suscetíveis e de orientar políticas públicas de mitigação (Cerri et al., 2020).

Dessa forma, este trabalho busca realizar uma análise integrada de dados geoespaciais voltada à compreensão da suscetibilidade a deslizamentos no município de SJS PI, utilizando como base informações geológicas, pedológicas, topográficas, de uso do solo e de precipitação. Ao reunir e cruzar essas variáveis, pretende-se oferecer subsídios técnicos e científicos que apoiem a gestão territorial e a prevenção de riscos ambientais em escala local e regional.

OBJETIVO DO TRABALHO

Realizar uma avaliação multicritério de dados geoespaciais para identificar, classificar e compreender os níveis de suscetibilidade a deslizamento no município de São João da Serra – PI.



*XVI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Recife/PE – 04 a 07/11/2025*

METODOLOGIA

O trabalho tem como área de estudo o município de São João da Serra/PI (5°30'33"S 41°52'54"W), localizado na macrorregião Meio-Norte, no Território de Desenvolvimento Carnaubais, dentro do Aglomerado 6. Tem como clima semiárido altamente úmido e seco por 6 meses (Cepro, 2011), e apresenta características ambientais e fisiográficas marcadas por condições semiáridas e paisagens típicas do sertão nordestino.

A área geográfica do município se localiza com o relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, com presença de chapadas baixas e altas, além de morros, serras e colinas que alcançam até 500 metros de altitude. Essa diversidade morfológica configura um território compartimentado, com encostas, vales e desníveis que contribuem significativamente para a dinâmica dos processos erosivos na região (CPRM, 2004).

A área de estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Parnaíba, apresentando formações que variam desde depósitos colúvio-eluviais, formados por areia, argila, cascalho e laterita, até unidades mais antigas como a Formação Sardinha (basalto), Formação Poti (arenito, folhelho, siltito), Formação Longá (folhelho, siltito, calcário) e Formação Cabeças (arenito, conglomerado, siltito). Essa composição geológica influencia diretamente a constituição dos solos, que se mostram predominantemente rasos, litólicos, álicos e distróficos, com textura média a arenosa e baixa fertilidade natural. Também são encontrados solos podzólicos vermelho-amarelos, de textura média a argilosa, além de areias quartzosas, estas últimas associadas a vegetação de caatinga hiperxerófila e cerrado subcaducifólio (CPRM, 2004). O relevo local é predominantemente plano a suavemente ondulado, com a presença de colinas, serras e morros com altitudes de até 500 metros.

Para a elaboração do mapa foi utilizada uma análise de multicritérios que combina vários critérios para realizar a análise de suscetibilidade ao deslizamento no município. Foi utilizado informações geográficas e georreferenciadas que foram manipuladas dentro de um SIG, o software QGIS.

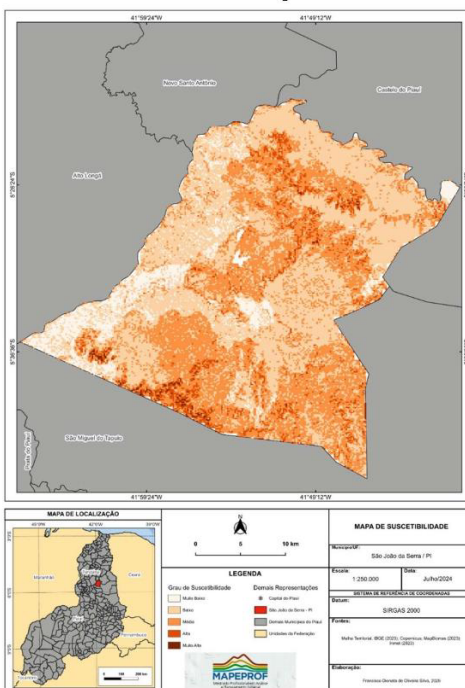
Os dados foram coletados em diferentes fontes, sendo elas o IBGE, onde foram coletados dados de geologia, geomorfologia e pedologia, o MAPBIOMAS, com a coleta de dados de uso e cobertura do solo, dados da ANA, onde através das estações meteorológicas foi possível obter dados de precipitação e dados do COPERNICUS, para a obtenção do relevo da área.

Após a obtenção das informações foi realizado o atributo dos pesos aos critérios através da tabela de atributos do software QGIS. Para a atribuição dos pesos foi utilizada a metodologia do IBGE (2019) que define graus de potencialidade ao deslizamento. Após a atribuição dos graus em todas as variáveis foi realizado o cálculo para a geração do mapa de suscetibilidade a deslizamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observe-se que no mapa a suscetibilidade a deslizamento foi classificada em: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alta e Muito Alta (Figura 1). A suscetibilidade apresentada é determinada com a combinação de diversos fatores ambientais, cada um com diferentes pesos na determinação da suscetibilidade.

Figura 1 – Mapa de suscetibilidade a deslizamentos do município de São João da Serra/PI. Fonte: Autores, 2025.



Com base no mapa de suscetibilidade, observa-se a seguinte distribuição espacial (Quadro 01):

Quadro 1. Distribuição espacial da suscetibilidade a deslizamento no município de São João da Serra/PI. Fonte: Autores, 2025.

Análise Espacial da Suscetibilidade	
Alta e Muito Alta Suscetibilidade:	Concentram-se ao sul, sudeste e centro-sul do município, áreas coincidentes com maior declividade e formações geológicas e pedológicas menos estáveis.
Média Suscetibilidade:	Aparece em porções intermediárias, com uso do solo potencialmente modificando a estabilidade.
Baixa e Muito Baixa Suscetibilidade:	Dominam o norte e noroeste, associados a relevo mais plano e formações geológicas mais resistentes.

As áreas com as maiores suscetibilidade a deslizamentos está localizada ao sul, sudeste e centro-sul do município área com as maiores declividades, algo semelhante a análise feita por Santos (2024) no município de Piracurica ao norte do Piauí, onde as áreas com as maiores suscetibilidades estão localizadas em áreas montanhosas e de alto relevo.

Já as com menores suscetibilidades estão na região norte e noroeste, associado a áreas mais planas e formações geológicas mais resistentes, situação comum já que a declividade do relevo é um dos principais elementos responsáveis



*XVI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Recife/PE – 04 a 07/11/2025*

pelos deslizamentos (IBGE, 2019; Santos, 2024), assim áreas com as menores declividades são menos suscetíveis a deslizamentos.

Correlação da suscetibilidade a deslizamentos com as variáveis ambientais (Quadro 2):

Quadro 2. Correlação da suscetibilidade a deslizamentos com as variáveis ambientais no município de São João da Serra/PI. Fonte: Autores, 2025.

Variável Ambiental	Correlação com a Suscetibilidade
Relevo	Áreas com relevo compartimentado (serras, morros e colinas) coincidem com zonas de alta e muito alta suscetibilidade. Encostas atuam como vetores críticos de instabilidade.
Geologia	Formações como arenito, folhelho e siltito (Form. Poti e Longá) são menos resistentes à erosão. Presença de solos rasos e arenosos reforça o risco.
Pedologia	Solos litólicos e distróficos têm baixa coesão, tornando-se suscetíveis à erosão e ao deslizamento, especialmente sob uso inadequado.
Declividade	Um dos fatores de maior peso no modelo. Influencia diretamente a espacialização da instabilidade.
Precipitação	A sazonalidade climática permite chuvas intensas em curto período, atuando como gatilho para deslizamentos.

As formações geológicas presentes no município apresentam maior vulnerabilidade à erosão e à instabilidade (CERRI et al., 2020), o que reforça a geologia como um fator determinante na suscetibilidade a deslizamentos na área geográfica de São João da Serra, Piauí já que a baixa coesão e alta fragilidade geológica é uma característica local.

Solos litólicos e distróficos possuem baixa coesão e baixa espessura, favorecendo a saturação e o movimento gravitacional (Santos, 2024), neste sentido os solos do município naturalmente têm uma maior suscetibilidade a deslizamento, já que os mesmos possuem uma menor estabilidade pedológica.

A precipitação funciona como um gatilho para deslizamento através do escoamento geofísico (Rodrigues, Martins e Oliveira, 2023), o alto volume de chuva em um curto período de tempo (Lima, 2020) tem impacto direto na fragilidade geológica e pedologia da área de estudo.

CONCLUSÕES

A análise multicritério aplicada aos dados geoespaciais do município de São João da Serra/PI, destacou que áreas de alta e muito alta suscetibilidade estão associadas a encostas íngremes, solos rasos e formações litológicas menos resistentes, principalmente ao sul e sudeste do município. Já as regiões de baixa suscetibilidade predominam no norte e noroeste, onde o relevo é mais plano e as formações geológicas apresentam maior estabilidade.

Os resultados enfatizam a importância da integração do planejamento territorial a análises ambientais na prevenção de desastres. Neste sentido este mapa pode ser instrumento estratégico para subsidiar ações de gestão ambiental municipal, elaboração de políticas públicas e tomada de decisão na área de uso e ocupação do solo, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e seguro do município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CERRI, R. I. et al. The assessment of soil chemical, physical, and structural properties as landslide predisposing factors in the Serra do Mar mountain range (Caraguatatuba, Brazil). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 79, p. 3307–3320, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01791-1>. Acesso em: 3 jul. 2025.
2. Fundação Centro Pesq Econômicas e Sociais do Piauí (CEPRO). DIAGNÓSTICO SOCIOECONÔMICO MUNICÍPIO SÃO JOÃO DA SERRA. Teresina: CEPRO, 2011. Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/201105/CEPRO03_caae855e43.pdf. Acesso em: 10 jul. 2025.
3. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil: primeira aproximação. IBGE, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101684>. Acesso em: 19 jul. 2025.

XVI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Recife/PE – 04 a 07/11/2025



4. LIMA, Milcíades Gadelha de (org.); MORAES, Adolfo Martins de; NUNES, Luís Alfredo Pinheiro Leal; ANDRADE JÚNIOR, Aderson Soares de. **Climas do Piauí: interações com o ambiente**. Teresina: Edufp, 2020. 144 p. ISBN 978-65-86171-80-8. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1125736/1/Capitulo-CLIMA-E-MEIO-AMBIENTE.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2025.
5. MARENGO, J. A.; CAMARINHA, P. I.; ALVES, L. M.; DINIZ, F.; BETTS, R. A. Extreme rainfall and hydro-geo-meteorological disaster risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C global warming scenarios: an analysis for Brazil. **Frontiers in Climate**, v. 3, art. 610433, 2021.
6. RODRIGUES, Bruno Oliveira; MARTINS, Pedro Magleau; OLIVEIRA, Marina Santos. Análises geomorfológica e hidrológica dos eventos intensos no litoral norte de São Paulo de fevereiro de 2023. In: **XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 2023. Anais. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH1217-2-0-20230730-193631.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2025.
7. SANTOS, Francilio de Amorim dos. Suscetibilidade a deslizamentos no município de Piracuruca, Norte do estado do Piauí. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 41, n. 1, p. 235–252, 2024. DOI: 10.51359/2238-6211.2024.261983. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/261983>. Acesso em: 3 jul. 2025.
8. **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM)**. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de São João da Serra. Organização do texto: Robério Bôto de Aguiar; José Roberto de Carvalho Gomes. Fortaleza: CPRM, 2004. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/16524/1/Rel_SaoJoadaSerra.pdf. Acesso em: 19 jul. 2025.

ANEXO 08 - Análise Espaço-Temporal da Expansão Agrícola em seu Uso e Ocupação do Solo da Mesorregião Sudoeste do Piauí

XVI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Recife/PE – 04 a 07/11/2025



ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA EXPANSÃO AGRÍCOLA EM SEU USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA MESORREGIÃO SUDOESTE DO PIAUÍ

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.XI-027>

Liana Cristine Sousa Chaves (*), Francisco Dionata de Oliveira Silva, Naide de Lucas da Silva Neta, Krishna Shiva de Oliveira

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Teresina Central, cristineliana581@gmail.com

RESUMO

O objetivo do estudo visa analisar a expansão agrícola em relação ao uso e cobertura do solo no Sudoeste do Piauí no intervalo de tempo dos anos 2000 à 2023, destacando os padrões de impacto devido ao seu crescimento. A metodologia compreende a sistemática conforme a metodologia do autor (SANTOS, 2015), consistiu na fase analítica onde envolve a revisão bibliográfica dos termos alusivos aos conceitos em artigos científicos, teses e dissertações. Para a análise também foi utilizado os dados do MAPBIOMAS para o uso e cobertura do solo nos anos 2000, 2010 e 2023. Os dados baixados da plataforma foram processados e analisados no software QGIS, onde também foi realizada a montagem do mapa. Os resultados ressaltam as evidências dos padrões de expansão associadas aos usos tecnológicos e suas implicações na aptidão agrícola, além do interesse econômico é essencial abordar os padrões aos impactos ambientais, como degradação do solo, perda de biodiversidade e alterações climáticas locais. Conclui-se que, com o presente estudo, espera-se fornecer conhecimentos técnicos do cenário atual, analisar as políticas públicas e planejamento de estratégias de manejo sustentável integrando a produtividade agrícola com a conservação dos recursos naturais.

PALAVRAS-CHAVE: Expansão, Solo, Impactos.

INTRODUÇÃO

O agronegócio é essencialmente fundamental para economia brasileira, principalmente para o vínculo empregatício e resultados positivos na balança comercial brasileira internacionalmente, destacando-se nas produções de soja, açúcar, cana, matérias prima de agrocombustíveis e entre outros (BANCO MUNDIAL, 2010). Contudo, o crescimento econômico e investimentos no setor provoca sua expansão, e com isso os impactos ambientais, principalmente quanto ao uso e consumo de recursos naturais, a aplicação de agrotóxicos e fertilizantes, emissão de gás metano, desmatamento e queimadas de vegetação nativa (ASSAD et al., 2012).

O solo é um recurso de suma importância para diversas atividades no setor econômico, porém é primordial o seu uso racional, considerando um planejamento e controle na sua produtividade de maneira que atenda às necessidades de gerações atuais e futuras (ALMEIDA, 2016). Também é importante destacar o solo como gerador de serviços ambientais como sumidouro de carbono atmosférico, refúgio e habitat a diversas espécies, ciclagem de nutrientes e da água e o seu valor cultural e estético (Hinata e Basso, 2022).

No cenário do Nordeste, grande parte da expansão agrícola na região do Matopiba ocorreu sobre vegetação nativa com cerca de 68% (0,78 milhão de hectares) entre os anos de 2000 e 2007, seguindo com cerca de 62% (1,3 milhão de hectares) entre 2007 e 2014, principalmente nos estados do Maranhão e no Piauí, onde apresentam áreas pertencentes sobre a atual fronteira agrícola no bioma (Gomes, 2019). O objetivo do estudo visa analisar a expansão agrícola em relação ao uso e cobertura do solo no Sudoeste do Piauí no intervalo de tempo dos anos 2000 à 2023, destacando os padrões de impacto devido ao seu crescimento.

METODOLOGIA

Nos procedimentos metodológicos foram adotados, pesquisas e levantamento de dados por meio de análise de conteúdo, identificando padrões de uso e cobertura do solo na área de estudo selecionada.

A sistemática compreende conforme a metodologia do autor (SANTOS, 2015), primeiramente consistiu na fase analítica onde envolve a revisão bibliográfica dos termos alusivos aos conceitos em artigos científicos, teses e dissertações; segundo a fase sintética, desenvolvida uma discussão sobre as definições apresentadas pelos autores sobre a associação e integração das informações obtidas; e concluindo, a fase integrativa que trata-se da obtenção de resultados referentes às abordagens adotadas, promovendo os resultados das informações teóricas com a realidade.

Para a análise também foi utilizado os dados do MAPBIOMAS para o uso e cobertura do solo nos anos 2000, 2010 e 2023. Os dados baixados da plataforma foram processados e analisados no software QGIS, onde também foi realizada a montagem do mapa.



XVI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Recife/PE – 04 a 07/11/2025

Caracterização da Área de Estudo

O presente foi realizado com dados do estado do Piauí, que possui uma população estimada de 3.375.646 habitantes, possuindo uma área territorial de 251.755,499 km² e densidade demográfica equivalente de 12,99hab/km² (IBGE, 2023). O estado está situado numa zona de transição entre Nordeste Semiárido e a Amazônica Úmida, na zona é encontrado os três principais biomas brasileiros, o Cerrado, a Caatinga e a Floresta Amazônica. A área delimitada é na região Sudoeste do Piauí, localizada no MATOPIBA, possui seis microrregiões: Alto Médio Gurguéia, Alto Paranaíba Piauiense, Bertolinia, Chapadas do Extremo Sul Piauiense, Floriano São Raimundo Nonato. Sua expansão e consolidação da modernização da agricultura implantada na década de 1970 e intensificada entre 1990 e do século XXI, situada na abrangência do Cerrado Piauiense, o clima predomina o subúmido, com estações de chuvas e secas bem definidas, os tipos de solos são profundos, ácidos, álicos e distróficos, pouca retenção das águas e a predominância de planaltos de topografia plana presente nos extensos chapadões, há existência das áreas de brejos, além das matas de galeria e matas ciliares (RUFO, 2015; ALMEIDA, 2016).

A Mesorregião do Sudoeste Piauiense há inúmeros pontos de intensos processos erosivos, entre eles há os processos de desertificação presentes no Núcleo de Desertificação de Gilbués, como também o Núcleo de Pesquisa de Recuperação de Áreas Degradadas (NUPERADE) da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí, a integração do Programa de Ação Estadual de Combate a Desertificação e Mitigação aos efeitos da seca, com o apoio do Governo Federal. Vale destacar a Unidade de Conservação de proteção integral, o Parque Nacional de Serra da Capivara, criado através do decreto 83.548 de 5 de junho de 1979, é administrado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO), o local está na lista do Patrimônio Mundial da UNESCO (RUFO, 2015; ALMEIDA, 2016).

RESULTADOS

A região sul do Piauí, que inclui parte da mesorregião em questão, tem apresentado uma significativa expansão da fronteira agrícola nas últimas décadas principalmente por conta do avanço do MATOPIBA nos últimos anos, especialmente com o avanço do cultivo de soja (Silva, 2021). Essa dinâmica tem sido facilitada por incentivos fiscais e pela mecanização do uso espacial do solo (Figura 1).

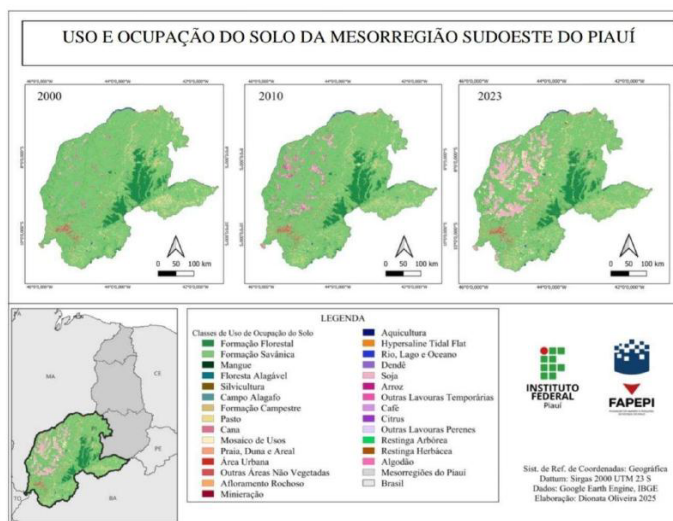


Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo. Fonte: Autores do Trabalho.

Segundo Santos et al. (2017), houve redução de aproximadamente 14,34 mm na precipitação média mensal, elevação da temperatura máxima em $\sim 0,91^{\circ}\text{C}$ e queda da umidade relativa em cerca de 7,43 % na região estudada, resultados diretamente correlacionáveis à conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas.

Outro problema relacionado a essa conversão é aumento da ocorrência de secas e estiagem, como em todo território do estado em 2025 (Piauí, 2025).



De acordo com os perfis pedogenéticos constituintes no Boletim Técnico (Nº 63) do Estudo Expedito de Solos no Estado do Piauí e as classes de aptidão agrícola da metodologia de Ramalho Filho e Beek (1995), uma parte da região possui baixo nível tecnológica, onde sua pastagem natural há uma grande limitação em seu cultivo intensivo nos solos sem tecnologias capazes de suprir seus limitantes. Outra aptidão em razão do nível tecnológico médio, envolve alguns investimentos reduzir as limitações na utilização das terras, com isso algumas regiões utilizam o cultivo de lavouras de forma regular e restrita. Por fim, o nível tecnológico alto que obtém para melhorias nas condições do solo, nas regiões são inaptas o uso agrícola, as áreas de preservação permanente, vale ressaltar que apenas algumas áreas possuem aptidões regulares e restritas para lavouras, para o solo a questões de fertilidade podem ser reduzidas com práticas de melhoramento (ALMEIDA, 2016).

Em áreas situadas no Cerrado Piauiense há uma susceptibilidade de degradação ambiental devido a exploração agrícola, com o interesse econômico acima da conservação dos ambientes compromete diretamente, a perda da camada de solo agrícola, a redução da população de diversas espécies da flora e fauna, o conforto climático e a população humana (CERQUEIRA; GOMES, 2023).

Vale ressaltar as evidências dos padrões de expansão associadas aos usos tecnológicos e suas implicações na aptidão agrícola, além do interesse econômico é essencial abordar os padrões aos impactos ambientais, como degradação do solo, perda de biodiversidade e alterações climáticas locais.

CONCLUSÕES

É notório que o cenário da expansão no território se intensifica cada vez mais, e com ele o distanciamento de práticas sustentáveis proveniente do uso e consumo de recursos naturais. Para a proteção desses ambientes, é primordial a inclusão do Código Florestal (Lei 12.651) e o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), para a conservação de vegetação nativa e os ecossistemas.

As consequências ambientais na região vão além do desmatamento: incluem alterações climáticas locais, erosão de serviços ecossistêmicos e perda de biodiversidade característica do Cerrado.

Com o presente estudo, espera-se fornecer conhecimentos técnicos do cenário atual, analisar as políticas públicas e planejamento de estratégias de manejo sustentável integrando a produtividade agrícola com a conservação dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, KARLA NAYARA SANTOS DE. **Aptidão Agrícola dos solos do estado do Piauí**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, 2015.
2. ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; PINTO, H. P. (2012). **Sustentabilidade no agronegócio brasileiro**. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável.
3. BANCO MUNDIAL. **Rising global interest in farmland: Can it yield sustainable and equitable benefits?** Washington D.C., 07 de setembro de 2010.
4. CERQUEIRA, Emília Barros; GOMES, Jaira Maria Alcobaça. EXPANSÃO AGROPECUÁRIA E DINÂMICAS DE USO E COBERTURA DO SOLO NO PIAUÍ. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 42, p. e69241, 2023. DOI: 10.12957/geouerj.2023.69241. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/69241>. Acesso em: 8 ago. 2025.
5. Gomes, C. S. IMPACTOS DA EXPANSÃO DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO NA CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS. (2019). *Cadernos Do Leste*, 19(19). <https://doi.org/10.29327/248949.19.19-4>.
6. HINATA, Sumirê da Silva; BASSO, Luis Alberto. Mapeamento do uso e cobertura do solo como subsídio à avaliação de serviços ecossistêmicos na sub-bacia hidrográfica do Arroio Passo Fundo, Guaíba-RS. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, Rio Claro, v. 20, n. 1, 2022.
7. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2022**. Teresina: IBGE, 2022. Acesso em: 08 out. 2024.
8. PIAUÍ. **Decreto nº 23.699, de 2 de abril de 2025**. Declara situação de emergência provocada pelo desastre natural classificado como "seca", nos municípios que especifica. Diário Oficial do Estado do Piauí, Teresina, 3 abr. 2025.
9. SANTOS, J. de O. Relações entre Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Social na susceptibilidade aos riscos, *Revista Mercator*, v. 14, n. 2, Fortaleza, 2015, p. 75-90.
10. RUFO, T. F. **A inserção dos Cerrados Piauienses na dinâmica da agricultura moderna no Brasil Central: Transformações na rede urbana do Sudoeste do Piauí**. Dissertação (Mestrado em Geografia). 2015. Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
11. SANTOS, Jessivan Costa dos; et al. Relação entre variáveis meteorológicas e o uso e ocupação do solo no sudoeste do Piauí, Brasil. *Nativa*, Sinop, v. 5, n. 6, p. 414–420, 2017.

ANEXO 09 - Índice de vegetação ndvi e savi: análise temporal da sub-bacia pd11 em Teresina, Piauí

XVI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Recife/PE – 04 a 07/11/2025



ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NDVI E SAVI: ANÁLISE TEMPORAL DA SUB-BACIA PD11 EM TERESINA, PIAUÍ

DOI: <http://dx.doi.org/10.5549/congea.16.25.V-015>

Naide de Lucas da Silva Neta (*), Francisco Dionata de Oliveira Silva, Bruna de Freitas Iwata
* Instituto Federal do Piauí, naide.silva.neta@gmail.com

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal da vegetação na sub-bacia PD11, em Teresina (PI), utilizando os índices NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo), no período entre 2014 e 2024. A região, inserida em área de transição entre Cerrado e Caatinga, apresenta forte pressão antrópica decorrente da expansão urbana, ocasionando perda de cobertura vegetal, assoreamento, inundações e redução da infiltração hídrica. Para a obtenção dos dados foram obtidas imagens do Landsat-8 disponibilizadas pelo Earth Explorer para os anos de 2014 e 2024. Utilizando as bandas do vermelho e infravermelho próximo foi possível, através do software QGIS 3.31.1 e da sua calculadora raster, gerar os índices NDVI e SAVI. Os valores obtidos, variando de -1 a 1, permitiram compreender a saúde da vegetação, e avanço urbano sobre a área da sub-bacia. A partir dos índices, foram elaborados mapas comparativos, possibilitando a análise temporal das alterações. Os resultados do NDVI evidenciaram significativa perda de cobertura vegetal, com valores próximos a 0,2 em áreas urbanizadas em 2024, refletindo fragmentação e degradação da vegetação. O SAVI, mais sensível a ambientes semiáridos e solos expostos, também revelou declínio da qualidade da vegetação, com valores máximos de 0,5 em 2014 e redução expressiva em 2024. Ambos os índices indicaram intensificação da fragmentação, avanço urbano sobre áreas naturais e substituição da vegetação nativa por usos antrópicos. Conclui-se que houve acentuada redução na qualidade e densidade da vegetação ao longo da década, comprometendo serviços ecossistêmicos locais. O estudo reforça a necessidade de medidas de gestão e recuperação ambiental, especialmente nas Áreas de Preservação Permanente (APPs), como forma de garantir a qualidade ambiental e mitigar impactos da urbanização desordenada.

PALAVRAS-CHAVE: Uso e cobertura da terra, Sensoriamento Remoto, Expansão urbana.

INTRODUÇÃO

A expansão urbana tem causado grandes alterações na cobertura da terra, modificando processos naturais e provocando desequilíbrios nos regimes hídricos, climáticos, além da perda de cobertura vegetal, de solo e de fauna. No que diz respeito à vegetação, sua perda pode interromper serviços ecossistêmicos essenciais para a manutenção da qualidade de vida nas cidades. É necessária uma gestão ambiental eficaz para garantir a qualidade ambiental urbana. Assim, a adoção de uma gestão focada em bacias e sub-bacias hidrográficas auxilia na melhora do planejamento ambiental (Oliveira e Aquino, 2020; Oliveira et al, 2024).

O monitoramento da cobertura vegetal por meio do sensoriamento remoto é essencial para avaliar o impacto da urbanização, atuando como uma ferramenta eficiente para a coleta e análise de dados da área. Os Índices de Vegetação (IVs), derivados de imagens de satélite, são amplamente utilizados para compreender a saúde e o vigor da vegetação e, a partir dos seus resultados, é possível propor e aplicar medidas corretivas. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) auxiliam na compreensão do vigor da vegetação e indicam mudanças ocorridas ao longo do tempo em determinadas áreas (Rodrigues et al, 2022; Silva et al, 2023), como aquelas decorrentes da mudança na ocupação do solo. A partir dos dados levantados sobre o estado da área, é possível propor um uso mais sustentável da terra (Oliveira e Aquino, 2020). A aplicação desses índices permite uma análise temporal da dinâmica da vegetação, revelando padrões de degradação ou recuperação ao longo do tempo.

A sub-bacia PD11, localizada no município de Teresina, Piauí, está inserida em um contexto de intensa pressão devido à expansão urbana. O crescimento urbano avança sobre as áreas naturais da cidade, modificando-as e potencializando problemas ambientais. Atualmente, a bacia sofre com a descaracterização de sua área, ocasionada pela ocupação irregular e desordenada do solo, o que gera problemas como inundações, assoreamento do corpo hídrico, perda de vazão em alguns pontos, redução de áreas de infiltração de água no solo e perda de biodiversidade (Silva Neta et al, 2024).

Identificar as mudanças na vegetação e na cobertura da terra fornece informações cruciais que auxiliam o poder público na tomada de decisões para a implementação de medidas eficazes de recuperação e conservação ambiental.



XVI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Recife/PE – 04 a 07/11/2025

OBJETIVO

Analisar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal na sub-bacia PD11, no município de Teresina, Piauí, utilizando os Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Ajustado ao Solo (SAVI), no período compreendido entre 2014 e 2024.

METODOLOGIA

Área de trabalho

O trabalho tem como área de estudo a sub-bacia PD11 que é a maior bacia do município de Teresina, no Piauí (Figura 1). Essa bacia está inserida em uma zona de transição entre cerrado e Caatinga, tem clima do tipo Aw- tropical de savana com chuvas de verão e apresenta temperaturas que vão de 22° até 40° e precipitação mais elevada nos meses de janeiro a abril e menores de agosto a dezembro. A bacia possui cerca de 9 ha de extensão e é alimentada pela margem direita do Rio Poti. A área, de relevo plano a levemente ondulado, é naturalmente propícia à inundação e várias áreas alagáveis são identificadas pela presença marcante de solo hidromórfico e do Buriti (*Mauritia flexuosa*) e quanto ao tipo de solo, há predominância do Latossolo Amarelo. O Riacho Itararé é o corpo hídrico principal da bacia (Lima, 2020; Oliveira, 2023; SEMAM, 2023).

A área sofre ainda com problemas de uso e cobertura da terra, onde as mudanças ocasionadas na APP do riacho principal e no canal, descaracterizando-o acabam trazendo problemas como a perda da qualidade ambiental, diminuição da infiltração da água no solo, inundações e outros (Silva e Gomes, 2021).

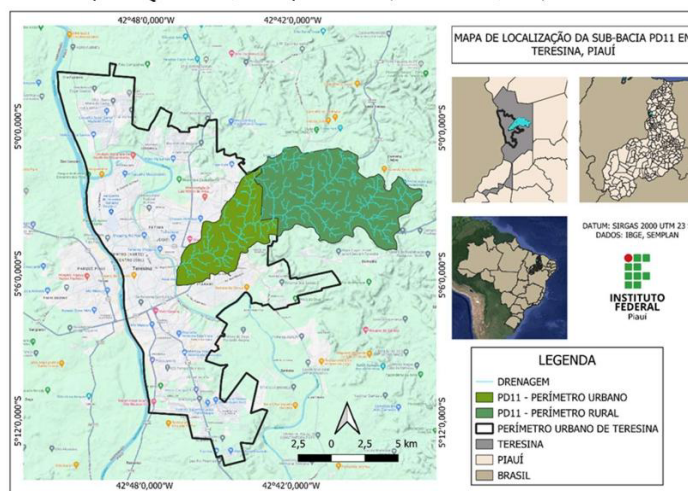


Figura 1: Localização da sub-bacia PD11 no município de Teresina, Piauí. Fonte: Silva Neta et al, 2024

Levantamento de dados

A pesquisa, de caráter descritivo, foi realizada a partir do levantamento de dados sobre a sub-bacia e dos dados levantados a partir da análise do Índice de Vegetação por NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e SAVI (Índice de Vegetação Ajustada ao Solo) usando um intervalo temporal de 10 anos, 2014 e 2024 para a realização da comparação com relação a qualidade da vegetação da área.

Os procedimentos para a obtenção do NDVI e SAVI foram realizados no software QGIS 3.31.1 com as imagens obtidas através do satélite Landsat-8 no site Earth Explore com dados de agosto de 2014 e outubro de 2024. O material em raster foi processado no QGIS através da calculadora raster após as bandas B4, referente ao Vermelho, e a B5, referente ao Infravermelho Próximo, serem reprojetadas para SIRGAS 2000 UTM 23 S. Na calculadora, foi utilizada o seguinte cálculo para gerar o NDVI e SAVI (Rouse et al, 1974; Huete, 1988; Braz et al, 2015):

- NDVI

$$(NIR - RED) \div (NIR + RED)$$

- SAVI

$$(1 + L) \times ((NIR - RED) \div (NIR + RED))$$

Onde L= 0,5 corresponde ao fator de ajuste do solo.

Após o cálculo foi gerado um novo raster com os índices e a partir deles foi realizado um mapa comparativo de NDVI e um de SAVI.

Para os dados temos valores que medem a qualidade da vegetação a partir da absorção da luz vermelha e reflexão do infravermelho próximo com valores que variam de -1 a 1 onde os valores mais próximos de 1 indicam uma vegetação mais saudável e valores mais baixos indicam diminuição ou ausência da vegetação.

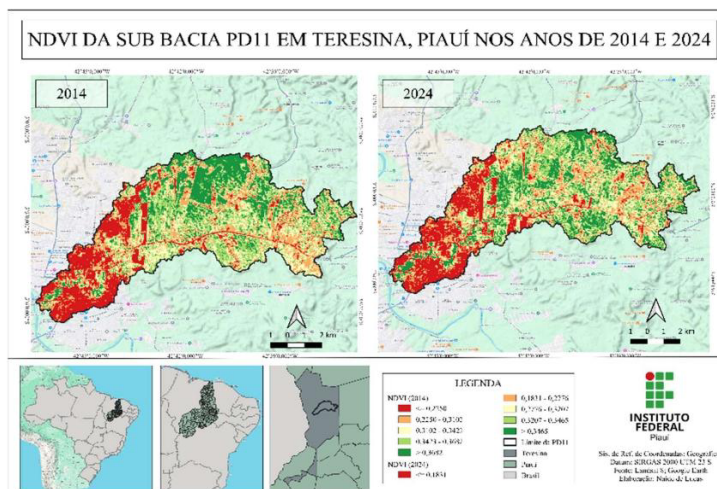
RESULTADOS E DISCUSSÃO

NDVI

A análise de NDVI (Figura 2) mostrou um declínio da saúde da vegetação que foi causada pelo avanço urbano, desmatamento e mudanças no uso do solo. No mapa vemos que há uma grande interferência do avanço urbano na qualidade da vegetação da bacia com diminuição da cobertura vegetal observado pelas áreas mais avermelhadas onde os valores chegam a 0,2 no ano de 2024. Embora em 2024 seja possível observar uma grande perda da vegetação, principalmente no perímetro urbano da bacia, o ano de 2014 já apresentava uma grande perda das áreas vegetadas. É possível ainda observar que algumas áreas se encontram com uma melhor qualidade em 2024, porém são ínfimas. Também é possível observar uma maior fragmentação da vegetação.

Podemos observar que dentro da área urbana as regiões melhor preservadas são as áreas de APP do riacho e algumas áreas de veredas que são alagadas em partes do ano. Há um grande avanço antrópico na porção rural da bacia que perdeu grandes áreas da vegetação nativa.

Essa perda da quantidade e qualidade da vegetação causa aumento da temperatura local, redução da infiltração da água no solo, degradação do solo, redução do sequestro de carbono da atmosfera, aumento de problemas de inundações e diminuição da biodiversidade.





XVI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Recife/PE – 04 a 07/11/2025

SAVI

Esse índice é utilizado principalmente para vegetações como caatinga e cerrado e regiões semiáridas devido seu maior ajuste de reflectância do solo, também mostrou mudanças significativas na vegetação. Em 2014 vemos altos níveis de qualidade de vegetação com valores de até 0,5 representados pela cor verde escuro. E assim como no dado de NDVI vemos a diminuição dessas áreas em 2024 (Figura 3).

Vemos aqui o aumento da perda da vegetação principalmente na zona urbana da bacia e área leste da bacia correspondente a área rural do município. Nessa análise também é possível ver uma vegetação fragmentada com perda da sua densidade e continuidade.

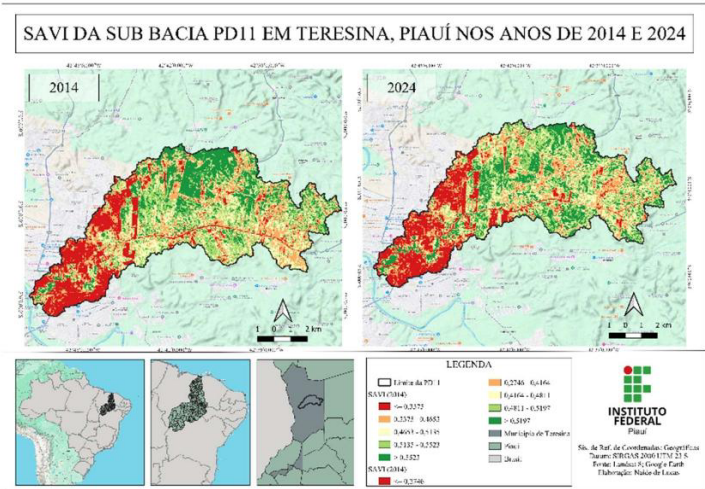


Figura 3: SAVI da sub-bacia PD11. Fonte: Autora (2025)

Na tabela 01 temos a Síntese: Entre 2014 e 2024 houve redução significativa da cobertura vegetal na sub-bacia PD11, evidenciada por valores mais baixos de NDVI e SAVI, aumento da fragmentação, avanço urbano sobre áreas naturais e perda de serviços ecossistêmicos.

Tabela 01 – Comparação dos resultados de NDVI e SAVI

COMPARATIVO DOS RESULTADOS				
Índice	Ano	Valores máximos observados	Valores mínimos observados	Principais observações
NDVI	2014	0,5 (áreas preservadas, APPs e veredas)	0,2 em áreas já urbanizadas	Vegetação relativamente preservada em parte da sub-bacia, mas já com sinais de fragmentação.
	2024	0,4 em áreas restritas de APPs	0,2 em grande parte da área urbanizada	Forte declínio da cobertura vegetal; fragmentação intensa; substituição da vegetação nativa por áreas urbanas e rurais antropizadas



SAVI	2014	0,5 (vegetação densa, cerrado/caatinga)	0,2 em solos expostos	Boa qualidade da vegetação, principalmente fora da zona urbana; menor influência da urbanização.
	2024	0,3 em pequenas manchas preservadas	<0,2 em áreas urbanizadas e rurais	Queda expressiva da qualidade da vegetação; maior exposição do solo; aumento da fragmentação.

Como mencionado no trabalho de Silva et al (2024) há muitos problemas de conflitos das áreas verdes da sub-bacia devido a crescente ocupação na área e essa expansão causada pelas construções, aliada à remoção da vegetação nativa e à impermeabilização do solo, tem causado sérios impactos ambientais como degradação do solo, assoreamento e perda de biodiversidade, contribuindo diretamente para o aumento do risco de enchentes e alagamentos na bacia.

CONCLUSÃO

As análises de NDVI e SAVI mostram uma grande tendência de perda da qualidade da vegetação ao longo da década que foi ocasionada principalmente pelo avanço urbano nessas áreas. Podemos ver não só a perda da qualidade e adensamento vegetal como aumento do solo sem cobertura vegetal observado em vermelho, que indicam os baixos valores de NDVI e SAVI.

A transformação do ambiente pelas diversas formas de uso e ocupação do solo pode comprometer os serviços ecossistêmicos na região e, consequentemente, comprometer a qualidade de vida na área. Diante disso, espera-se que este trabalho seja uma fonte de dados para a adoção de medidas de recuperação das áreas degradadas para a manutenção da qualidade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRAZ, A. M.; ÁGUAS, T. A.; GARCIA, P. H. M. Análise de índices de vegetação NDVI e SAVI e Índices de Área Foliar (IAF) para a comparação da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho, município de Selvíria – MS. Revista Percurso, v.7, n.2, Maringá, 2015. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Percurso/article/view/49650>. Acessado em: 15 de fev. 2025.

2. HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, v.25, p.295-309, 1988. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/003442578890106X>. Acessado em 15 de fev. 2025.

3. LIMA, I. M. M. F. Áreas verdes urbanas e os rios de Teresina, Piauí, Brasil. Revista da Academia de Ciências do Piauí. Ano 1, Nº 1, 2020. Acessado em: 12/08/2023. Disponível em: <https://periodicos.ufpi.br/index.php/acipi/article/download/705/672>. Acessado em: 14 de fev. 2025.

4. OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. ÍNDICE DA VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GURGUÊIA, PIAUÍ-BRASIL: ANÁLISE DO EFEITO DA EXPANSÃO AGRÍCOLA. Revista Georaguaia – ISSN: 2236-9716 – V.10 n.2, 2020. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/10839/7815>. Acessado em 15 de fev. 2025.

5. OLIVEIRA, A. B. Método baseado em Machine Learning e Deep Learning para a segmentação da matéria orgânica particulada em imagens de microtomografia de raios x de agregados de solo. Dissertação. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP), 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/f880e45e-2b98-4be7-84fc-b0786f7ddc59/content>. Acessado em 14 de fev. 2025.

6. OLIVEIRA, D. N. B. S.; LOPES, W. G. R.; OLIVEIRA, J. J. F.; MATOS, K. C. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na distribuição de espaços verdes em praças e parques: equidade na cobertura verde em Teresina. Revista PPC – Políticas Públicas e Cidades, Curitiba, v. 13, n. 2, p. 1-23, 2024. Disponível em: <https://journalppc.com/RPPC/article/view/814/447>. Acessado em: 15 de fev. 2025.



*XVI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
Recife/PE – 04 a 07/11/2025*

7. RODRIGUES, H. C. T.; SILVA, R. S.; CARNEIRO, F. S.; SOUZA, C. B. G.; OLIVEIRA, T. B.; AMARAL, A. P. M.; SANTOS, A. M. A.; PINHEIRO, K. A. O.; MAESTRI, M. P.. NDVI e SAVI como ferramentas de monitoramento das modificações no uso e ocupação do solo no sudoeste paraense. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 1, e47611122583, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/22583/22088>. Acessado em: 15 de fev. 2025.
8. ROUSE JR, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA. Goddard Space Flight Center 3D ERTS-1Symp. v. 1, p. 309-317, 1974.
9. SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE (SEMAM) - Teresina, Coletivo Ambiental Itararé, Instituto Federal do Piauí (IFPI). **Avaliação do Riacho Itararé na Zona Urbana de Teresina: Relatório Preliminar**. Teresina, 2023. Acessado em: 01 de jan. 2024.
10. SILVA, F. C. P., GOMES, E. R. Uso e ocupação do solo e seus reflexos no escoamento superficial na microbacia hidrográfica do Riacho Itararé em Teresina-PI. *Revista da Academia de Ciências do Piauí*, Volume 2, Número 2, p. 281 – 300, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpi.br/index.php/acipi/article/view/918>. Acessado em 14 de fev. 2025.
11. SILVA, R. S.; FIGUEIREDO, M. A.; MARTINS, J. V. A. Variações temporais na vegetação baseado na correlação de NDVI e de pluviometria em uma sub-bacia hidrográfica tropical em Minas Gerais. *Revista Territorium Terram*, São João del-Rei, v. 6, n. 8, 2023. Disponível em: https://seer.ufsj.edu.br/territorium_terraram/article/view/5252/3100. Acessado em: 15 de fev. 2025.
12. SILVA NETA, N. L.; SILVA, F. D. O.; PAZ, J. A. R.; IWATA, B. F. Conflitos de uso e ocupação do solo na área de APP do Riacho Itararé (Mandacaru), Teresina, Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 15. Belém, 2024. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2024/VI-017.pdf>. Acessado 14 de fev. 2025.

ANEXO 10 - ANÁLISE GEOESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS EM MUNICÍPIO DA CHAPADA DO ARARIPE, SEMIÁRIDO PIAUIENSE



VII Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido – SBRNS
 "Resiliência Climática no Semiárido: Conservação, Estratégias de Mitigação e Adaptação"
 21 a 23 de outubro de 2025
 Fortaleza - Ceará

ANÁLISE GEOESPACIAL DA SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS EM MUNICÍPIO DA CHAPADA DO ARARIPE, SEMIÁRIDO PIAUIENSE

Naide De Lucas Da Silva Neta¹, Francisco Dionata De Oliveira Silva¹, Samuel Cabral da Silva²,
 Francílio De Amorim dos Santos³, Reurysson Chagas de Sousa Morais³, Bruna De Freitas
 Iwata³

¹Mestrando(a) em Análise e Planejamento Espacial, Instituto Federal do Piauí, IFPI, naide.silva.neta@gmail.com, dionatatcc@gmail.com,

²Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Instituto Federal do Ceará, IFCE samuelcabral141@gmail.com

³Professor(a) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Piripiri, reurysson@ifpi.edu.br, profaiwata@gmail.com, francilio.amorim@ifpi.edu.br

RESUMO: Os deslizamentos, definidos como movimentos de rocha, solo e matéria orgânica, são desastres naturais que geram impactos socioeconômicos e ambientais. Até mesmo áreas protegidas estão suscetíveis a esses desastres. O presente trabalho busca elaborar um mapa de suscetibilidade a deslizamentos para uma área localizada no semiárido piauiense, no bioma Caatinga, de grande importância ambiental por estar inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) Chapada do Araripe. Para a produção do mapa, foi utilizada a análise multicritérios com o método de combinação linear ponderada. Foram analisados dados de geologia, geomorfologia, pedologia, declividade, uso e cobertura do solo e precipitação, obtidos de fontes como IBGE, MapBiomas e ANA. A suscetibilidade foi classificada em cinco categorias, de muito baixa a muito alta. Os resultados apontaram que a declividade e a geomorfologia foram os fatores de maior peso na modelagem, influenciando diretamente a movimentação do material. Identificar as áreas de suscetibilidade ao deslizamento é crucial para o planejamento da gestão territorial e para a logística de ações de conservação.

PALAVRAS-CHAVE: Análise multicritério; Gestão territorial; Semiárido.

GEOSPATIAL ANALYSIS OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY IN THE MUNICIPALITY OF CALDEIRÃO GRANDE DO PIAUÍ (PIAUÍ)

ABSTRACT: Landslides, defined as movements of rock, soil, and organic matter, are natural disasters that cause socioeconomic and environmental impacts. Even protected areas are susceptible to these disasters. This study aims to create a landslide susceptibility map for an area located in the Piauí semi-arid region, within the Caatinga biome. This area holds significant environmental importance as it is part of the Chapada do Araripe Environmental Protection Area (APA). The map was created using multicriteria analysis with the weighted linear combination method. Data on geology, geomorphology, pedology, slope, land use and land cover, and precipitation were analyzed. These were obtained from sources such as IBGE, MapBiomas, and ANA. Susceptibility was classified into five categories, ranging from very low to very high. The results indicated that slope and geomorphology were the most significant factors in the modeling, directly influencing the movement of material. Identifying landslide-susceptible areas is crucial for territorial management planning and for the logistics of conservation actions.

KEYWORDS: Multicriteria analysis; Territorial management; Semi-arid region.



INTRODUÇÃO

Os deslizamentos são movimentos de rocha, solo e matéria orgânica em um plano inclinado para os terrenos mais baixos provocado principalmente por ação da gravidade. São tidos como desastres naturais que trazem impactos socioeconômicos e ambientais, principalmente quando ocorrem em espaços urbanos (IBGE, 2019). Faz-se essencial para a gestão territorial o conhecimento das suas causas, que podem estar ligadas à geologia, geomorfologia, tipo de solo, precipitação, uso e cobertura do solo e outros e a combinação desses fatores. No Brasil, os deslizamentos são algo de grande preocupação devido às características ambientais e a ocupação dessas áreas instáveis (Pinto, 2015; IBGE, 2019; Shano, 2020).

Em diversas regiões, as características naturais do terreno já indicam um risco de deslizamento. Quando a ocupação humana acontece de forma desordenada nessas áreas, esse perigo aumenta, podendo causar desastres com perdas de vidas, destruição de bens e danos ambientais e econômicos (Machado; Zacarias, 2016). Embora os deslizamentos sejam mais comuns em áreas de serra, como no Sudeste, com um clima mais úmido, eles também ocorrem em locais de clima semiárido. Ainda há poucos estudos sobre movimentação de terra em áreas de clima seco, pois a precipitação é tida como maior fator de risco para o deslizamento. Nesses casos, a movimentação da massa de terra está diretamente ligada à combinação da geomorfologia do terreno atrelada a precipitação (Araújo, 2021).

Ainda pouco explorado, os deslizamentos no semiárido apresentam um risco e é necessário um maior aprofundamento no tema. Com isso, o objetivo do trabalho é analisar a susceptibilidade e os principais fatores condicionantes ao deslizamento do município de Caldeirão Grande do Piauí, situado na Chapada do Araripe, semiárido piauiense.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é o município de Caldeirão Grande do Piauí, localizado no estado do Piauí, na microrregião Alto Médio Canindé, no extremo leste do Piauí, a 449 km da capital, Teresina. O município está inserido no semiárido brasileiro, no bioma Caatinga, e apresenta predominantemente uma fitofisionomia formada por uma Savana Estépica. O clima da região é típico do semiárido, sendo quente e seco e com baixa pluviosidade que pode variar de 300 mm a 700 mm por ano (Monteiro, 2023). A área foi escolhida pela sua grande importância ambiental uma vez que o município está inserido dentro da área da Unidade de Conservação Área de Proteção Ambiental Chapada do Araripe, em uma área que o Ministério do Meio



Ambiente (MMA) indica como área prioritária para ação de conservação e recuperação da Caatinga (Araújo; Aquino, 2022).

A análise de susceptibilidade foi realizada a partir de uma análise de multicritérios com o método de combinação linear ponderada. Nesse tipo de análise espacial há a identificação de fatores de risco ao deslizamento e cada um deles recebe um peso que reflete a importância do critério selecionado (IBGE, 2019; Santos, 2024).

Essa susceptibilidade é determinada a partir da combinação dos vários planos de informação referentes a fatores ambientais utilizados para a elaboração do mapa de susceptibilidade. Para a classificação, temos:

- **Muito baixa:** Indica áreas com uma probabilidade muito baixa de ocorrência de deslizamentos;
- **Baixa:** Representa áreas com probabilidade baixa de deslizamentos. Embora alguns fatores de risco possam estar presentes, a combinação deles não é forte o suficiente para resultar em alta propensão a movimentos de massa;
- **Média:** Sinaliza áreas com probabilidade média de deslizamentos. Aqui, os fatores de risco começam a ser mais significativos à ocorrência de deslizamentos;
- **Alta:** Corresponde a áreas com probabilidade alta de deslizamentos. Nestas zonas, os fatores de risco são expressivos e a combinação deles cria um ambiente onde movimentos de massa são esperados com maior frequência;
- **Muito alta:** Indica as áreas com probabilidade muito alta de ocorrência de deslizamentos. São as zonas mais críticas, onde a combinação de fatores geológicos, geomorfológicos, hidrológicos e de uso do solo favorece fortemente a instabilidade.

Para este estudo foram utilizados os dados de geologia, geomorfologia, pedologia, declividade, uso e cobertura e precipitação, obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Projeto MapBiomias, Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) e COPERNICUS da Agência Espacial Europeia (ESA). Para a atribuição da fragilidade para cada variável foram utilizados os pesos da metodologia de classificação proposta no documento “Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil: Suscetibilidade a Deslizamentos do Brasil: primeira aproximação” (IBGE, 2019).

O material foi processado no *software* QGIS, onde cada dado vetorial recebeu a atribuição dos pesos e depois transformados em dados matriciais e os dados matriciais passaram por uma reclassificação para a atribuição dos pesos. Ao final foi realizada uma soma algébrica na calculadora raster para a geração do mapa de susceptibilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município apresenta características como altitudes que variam de 300 m até 850m, onde é possível encontrar relevo plano, ondulado e formação de escarpa. Está inserido no terreno cristalino da Província da Borborema e pertencente à bacia sedimentar do Araripe. A cobertura sedimentar é formada por Depósitos Colúvio-Eluviais (areia, argila cascalho, laterita), Formação Exu (arenito, siltito), Formação Santana (Calcário, Folhelho, Siltito, arenito, Gipsita). Apresentam Latossolos vermelho-amarelo associados a solos Neossolos litólicos e Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (Araújo; Aquino, 2022; Monteiro, 2023).

Na Figura 1, se observa a distribuição espacial da susceptibilidade ao deslizamento do município de Caldeirão Grande do Piauí, com ocorrência de graus variados de susceptibilidade, refletindo a conformação do relevo local.

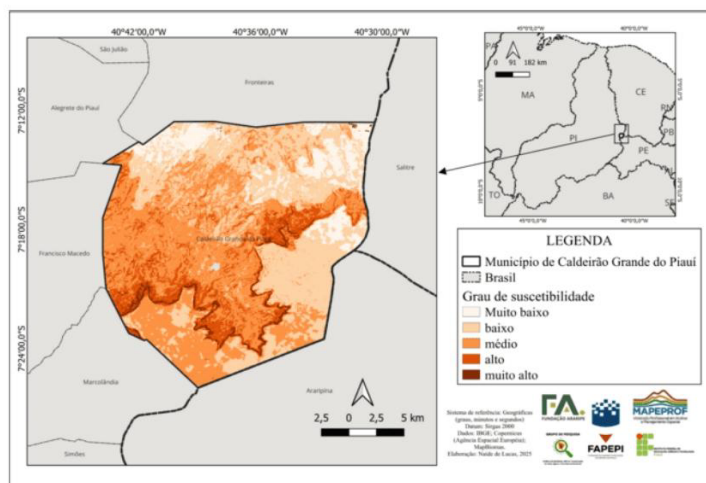


Figura 1 – Mapa de Suscetibilidade a deslizamento do município de Caldeirão Grande do Piauí

O maior grau de susceptibilidade do município está nas regiões sudeste e leste onde a combinações de variáveis mostram uma maior propensão aos movimentos de massa, como uma geomorfologia com relevo mais acentuado, marcado pela presença de escarpas e declividade acentuadas. Essas características constituem o principal fator indutor de massa a partir da ação da força da gravidade. Esse tipo de movimento é comum em áreas do semiárido onde há principalmente deslizamento por queda de blocos, que ocorrem em paredões e encostas (Araújo, 2021).

A precipitação é outro fator importante no que diz respeito à movimentação de massa. Observando o mapa da Figura 1, vemos que os maiores pesos com relação a essa variável se localizam na porção sudoeste do município. As chuvas vão atuar principalmente no desgaste e erosão do material, no aumento o peso e redução da coesão do solo (Molina et al., 2015)

Quanto à geologia, predominam sedimentos Colúvio-Eluviais, os quais apresentam um alto grau de suscetibilidade à erosão. No que se refere à pedologia, observa-se a presença de Neossolos Litólicos, que são rasos, de baixa consistência e que possuem um alto grau de suscetibilidade (IBGE, 2019).

O uso e cobertura do solo apresenta maior influência nas porções sudeste e leste do município, localizando-se nas áreas mais baixas ao redor das regiões de maior declividade. O desmatamento e ocupação de áreas de risco aumentam as chances de deslizamento devido principalmente a retirada da cobertura vegetal, que auxilia na contenção das encostas (Araújo, 2021).

Observa-se que a suscetibilidade a deslizamento no município tem como fatores decisivos principalmente a declividade acentuada e a geomorfologia da região, que acabam criando condições ideais para a movimentação e deslizamento do material. O entendimento da paisagem dessa região da Chapada do Araripe auxilia na compreensão da vulnerabilidade da área à desastres bem como ajuda na adoção de ações de gestão assertivas para a conservação da área levando em consideração essas áreas prioritárias.

CONCLUSÕES

Ao identificar as áreas de suscetibilidade a deslizamentos em Caldeirão Grande do Piauí, o estudo fornece um subsídio técnico fundamental para a gestão territorial do município. O mapa produzido permite identificar as áreas prioritárias que necessitam de ações de conservação e fiscalização mais rigorosas, orientando a escolha de locais de ocupação humana de forma mais segura e sustentável. Com a identificação das áreas de suscetibilidade é possível identificar as melhores alternativas para escolha de locais de ocupação e ações de conservação com base nas zonas de risco apresentadas.

Essas ações não apenas contribuem para a segurança da população local, mas também fortalecem as estratégias de conservação na importante APA Chapada do Araripe e no bioma da Caatinga.



AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí - FAPEPI pelo financiamento concedido através do Edital 003/2025 – Programa de Apoio à Pós-Graduação Stricto Sensu (PAPG) – Bolsas de Mestrado e Doutorado e a Fundação para o Desenvolvimento Sustentável do Araripe.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Raquel Cardoso. **Mapeamento e diagnóstico de suscetibilidade a movimentos de massa na região de Brejo do Cruz, Paraíba**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/384cbe07-bc42-4ac3-8d6b-1d5cbc6df48c/content>. Acesso em: 17 de ago. 2025.
- ARAÚJO, Glácia Lopes; Aquino, Claudia Maria Sabóia. Valores e potencialidades do geomorfossítio Ladeirados Pereiros, Caldeirão Grande do Piauí, Piauí, Brasil. **Ciência Geográfica** - Bauru - XXVI - Vol. XXVI, n. 1, 2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil**: primeira aproximação. IBGE, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101684>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- MACHADO, Roberto Rosa; ZACARIAS, Giovanni Matiuizi. Análise de risco de deslizamento. **Revista Ordem Pública e Defesa Social**, v.9, n.1, 2016. Disponível em: Acesso: 17 de ago. 2025.
- MOLINA, Ellen A. N.; CARDOSO, Andréa O.; NOGUEIRA, Fernando R. Relação. Precipitação-Deslizamento no município de São Bernardo do Campo-SP. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37 Ed. Especial SIC, p. 46–54, 2015. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467547641009.pdf>. Acesso em: 19 de ago. 2025.
- MONTEIRO, Hallysson Ferreira Dias. **Novos usos do território no semiárido Piauiense: Desenvolvimento econômico ou incremento da geração de energia eólica no município de Caldeirão Grande do Piauí**. Dissertação, Universidade Federal do Piauí, (PPGGEO/UFPD), Teresina, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufpi.br:8080/bitstream/handle/123456789/3185/Dissrta%20Hallysson.pdf?sequence=1>. Acesso em: 09 de ago. 2025.
- PINTO, Roberto Carlos; CANEPARO, Sony Cortese; PASSOS, Everton. **Avaliação Multicritério integrada aos Sistemas de Informações Geográficas para geração de cenário de suscetibilidade a deslizamentos rápidos em vertentes**. Imprensa da Universidade de Coimbra, 2015. Disponível em: <https://ap1.sib.uc.pt/handle/10316.2/37057>. Acesso em: 11 ago. 2025.
- SANTOS, Francilio de Amorim dos. Suscetibilidade a deslizamentos no município de Piracuruca, Norte do estado do Piauí. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 41, n. 1, p. 235–252, 2024. DOI: 10.51359/2238-6211.2024.261983. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/261983>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- SHANO, Leulalem; RAGHUVANSHI, Tarun Kumar; METEN, Matebie. Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques – a review. **Geoenvironmental Disasters**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 18, 2020. Disponível em: <https://geoenvironmental-disasters.springeropen.com/articles/10.1186/s40677-020-00152-0>. Acesso em: 11 ago. 2025.

ANEXO 11 - Conservação do solo e mitigação climática em agroflorestas: estoques de carbono e fertilidade no ecótono semiárido de Teresina, Piauí

Conservação do solo e mitigação climática em agroflorestas: estoques de carbono e fertilidade no ecótono semiárido de Teresina, Piauí

Francisco Dionata de Oliveira Silva¹, Naide de Lucas da Silva Neta¹, Bruna De Freitas Iwata²

INTRODUÇÃO

A degradação ambiental semiárida decorrente de sistemas extrativistas de corte e queima aceleram a perda da qualidade edáfica e ecossistêmica. Esses meios de produção têm alterado consideravelmente os ecossistemas, resultando em compactação do solo, solos expostos e erodidos, contaminação dos corpos hídricos e perda da biodiversidade (Iwata, 2015; Oresca, 2022), evidenciando, graves problemas que compõem o atual quadro de emergência climática.

Diante desse cenário, tem-se buscado por alternativas do uso da terra que permitam a produção alimentícia e que não inviabilizam a qualidade ambiental e a produção de serviços ecossistêmicos, tais como o manejo agroflorestal. Neste sentido, os sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de produção em que plantas lenhosas são manejadas em combinação com plantas herbáceas, frutíferas, arbustos, culturas agrícolas e forrageiras na mesma unidade de manejo (Iwata, 2015; Pereira, 2021).

Oresca (2022) destaca que as agroflorestas tem sido tratada como uma técnica de produção conservacionista com a capacidade em mitigar a degradação do solo através da alata retenção de carbono garantindo resiliência a eventos de seco, assim como Fernandes *et al.* (2020) afirmam que entre os diversos serviços de regulação de um SAF o que mais destaca é a regulação climatológica advinda da estocagem de carbono no solo. A fixação de carbono no solo e na biomassa desempenham um papel crucial no enfrentamento e no avanço das mudanças climáticas, conforme destacado por Iwata *et al* (2020). Assim, os SAFs têm sido reconhecidos como sistemas relevantes para mitigação das mudanças climáticas devido à capacidade de sequestro e armazenamento de carbono além de garantir a resiliência a sazonalidade climática semiárida.

¹ Mestrando(a) em Análise e Planejamento Espacial, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, IFPI, dionatatcc@gmail.com, naide.silva.neta@gmail.com

² Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, profaiwata@gmail.com

As agroflorestas seguem os conceitos e princípios ecológicos no desenvolvimento de sistemas de produção integrados com o consórcio de diversas espécies vegetais, acelerando através do manejo o processo de sucessão natural, ela conserva o solo, a água e a biodiversidade de forma sustentável (Iwata, 2015). Este consórcio de espécies contribui para que o sistema agroflorestal seja um dos métodos mais efetivos no combate à degradação do solo em ambientes semiáridos (Oresca, 2022).

Além disso, o semiárido brasileiro apresenta elevado risco de degradação devido às suas condições naturais e ao uso intensivo do solo pela agricultura e pecuária (Pereira, 2021), grande parte da população dessa região depende diretamente dessas atividades para sua subsistência, é importante destacar que o Piauí tem áreas agrícolas mais ocupadas pela agricultura não familiar (IBGE, 2017), cenário que reflete o avanço do MATOPIBA no estado e que pode intensificar processos de desertificação, enfatizando a necessidade de aplicação de uma agricultura de base sustentável. Mesmo sendo o semiárido mais chuvoso do mundo, suas chuvas são concentradas em poucos meses e mais de 90% dessa água não é aproveitada devido ao alto índice de evaporação, evapotranspiração e ao escoamento superficial do solo (Baptista e Campos, 2013) destacando a necessidade de sistemas que diminuam a sua evapotranspiração natural, promovendo maior eficiência no uso da água e dos nutrientes em função da cobertura vegetal permanente e da ciclagem de matéria orgânica.

Em Teresina-PI, as altas temperaturas e a intensa evapotranspiração agravam esse cenário, sobretudo no período conhecido como B.R.O. Bró (setembro a dezembro), marcado pela escassez de chuvas e maior suscetibilidade à degradação ambiental. Assim esse capítulo analisa os estoques de carbono do solo e os atributos de qualidade ambiental de três SAFs em Teresina, com base em indicadores físicos e químicos, avaliando seu potencial na conservação do solo e na mitigação climática e destacando esses sistemas como estratégia de manejo para aumentar a resiliência dos ecossistemas e reduzir os efeitos das mudanças climáticas na capital piauiense.

MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo tem como área de estudo o município de Teresina/PI, localizado na macrorregião Meio-Norte, no território de desenvolvimento Entre-Rios, dentro do Aglomerado 7, tendo como clima tropical megatérmico, apresentando o mês mais frio com mais de 18°C e o

mais seco com menos de 60mm (Bastos; Andrade Júnior, 2005; Oliveira, 2024) e apresenta características ambientais e fisiográficas marcadas por condições ecotonais de cerrado-caatinga.

Quadro 01 - Histórico de uso das agroflorestas selecionadas.

SAF ATF (5°02'02.6"S; 42°40'25.8"W): Implantada em 2022. A área possuía cobertura florestal e nunca recebeu aplicação de insumos químicos. O manejo atual é baseado em podas. 14 espécies são manejadas, com 3 nativas.
SAF IG (5°13'36.5"S; 42°44'55.7"W): Implantada em 2021. O local já funcionou como depósito de lixo e também foi utilizado para cultivo agrícola tradicional. É o único sistema que utiliza esterco como insumo no manejo. O manejo atual inclui podas de 26 espécies manejadas, sendo 8 nativas.
SAF MP (5°01'05.6"S; 42°40'51.9"W): Implantada em 2022. A área era anteriormente coberta por floresta. O manejo atual é realizado por podas. 34 espécies são manejadas, 10 são nativas.

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

Foram selecionadas três agroflorestas situadas na zona rural da área de estudo, em áreas de ecótonos Cerrado/Caatinga: SAF Agro Trapos & Fiapos (SAF ATF), o SAF IG implantado na Penitenciária Regional Irmão Guido e o SAF Morro do Preá (SAF MP). Esses sistemas apresentam diferentes características e estão distribuídos em distintas regiões do município de Teresina, conforme apresentado na Figura 01 e no Quadro 01.

Figura 01 - Mapa de localização dos Sistemas Agroflorestais estudados.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2025.

Cada SAF contém três pontos distintos de coleta distribuídos aleatoriamente na área, com as amostras sendo coletadas nas profundidades de 0–10 cm e 10–20 cm, nos períodos seco (PS) e chuvoso (PC). As análises laboratoriais foram realizadas individualmente para cada amostra, sendo posteriormente calculadas as médias por sistema.

As amostras de densidade foram coletadas com anéis volumétricos de 93,03 cm³, sendo calculada pela relação entre massa de solo seco e volume do anel, obtendo a média para cada sistema, utilizada nas discussões deste estudo. A serapilheira foi coletada utilizando um quadrante de 1 × 1 m, posicionado em três pontos distintos por SAF. Após a coleta, as amostras foram pesadas e, em seguida, calculadas as médias para cada sistema.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos, Água e Esgoto (SOLAE), no Campus Teresina Central, para análise de serapilheira e ao laboratório da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) para análises químicas do solo, as amostras foram destorroadas, secas e peneiradas (2 mm), para análises químicas: o pH em água (1:2,5) foi por potenciometria; a acidez trocável (Al³⁺) por extração com KCl 1 mol L⁻¹ e titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997); os teores de P e K pelo método Mehlich I, por colorimetria e fotometria de chama; e Ca e Mg por extração com KCl e leitura em espectrofotometria de absorção atômica. O N total foi obtido pelo método Kjeldahl (Bremner *et al.*, 1982) e o carbono orgânico total por oxidação úmida com dicromato (Yeomans; Bremner, 1988).

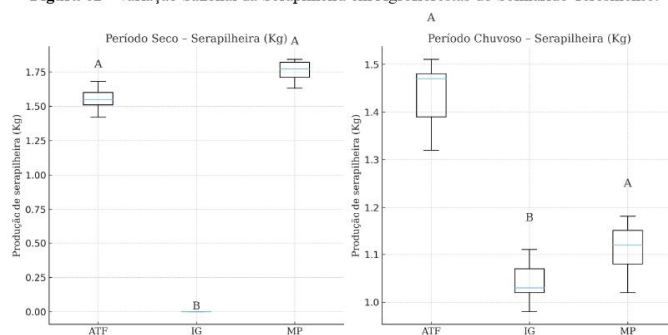
Os dados obtidos para cada variável foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software ASSISTAT versão 7.4 beta.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Houve diferença significativa entre as áreas quanto à produção de serapilheira no PS ($F = 152,7$; $p < 0,0001$). O teste de Tukey indicou dois grupos distintos: IG apresentou os menores valores ($p < 0,001$), enquanto ATF e MP não diferiram ($p > 0,05$).

No período chuvoso a ANOVA também revelou diferenças significativas entre as áreas ($F = 14,2$; $p = 0,0006$). O teste de Tukey separou IG em um grupo distinto (B), enquanto ATF e MP apresentaram valores semelhantes (grupo A).

Figura 02 - Variação Sazonal da Serapilheira em Agroflorestas do Semiárido Teresinense.



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

Os resultados indicam diferenças estruturais entre os sistemas, com maior eficiência do SAF MP na deposição de biomassa ao solo. Os SAFs ATF e MP superaram os valores registrados por Lima *et al.* (2021) em Cocal-PI com 7.658,1 kg/ha no período seco, alcançando 12.600 kg/ha e 17.500 kg/ha, respectivamente. Os resultados indicam que a intensificação da queda foliar no PS contribuiu com o aumento da deposição vegetal, uma das características da região (Pimentel *et al.*, 2021) atuou como mecanismo de maior produção de biomassa. Agroecossistemas com maior deposição de resíduos vegetais tendem a ter uma resiliência hídrica e com maior potencial mitigador climático (Oresca, 2022; Torres *et al.*, 2014).

A maior deposição de biomassa vegetal observada pode estar associada a resiliência ecológica marcada por variações climáticas características da região, favorecendo uma maior resiliência ecológica as condições semiáridas da região, já que a diversificação de espécies e as copas da vegetação protege o solo da radiação, aumentando a infiltração e reduzindo as perdas hídricas por evaporação (Iwata, 2015; Oresca, 2022). Esse aporte contínuo de biomassa vegetal, característico de sistemas biodiversos como os SAFs, garante a manutenção da umidade edáfica e a proteção contra processos erosivos pelas irregularidades pluviométricas (Lima *et al.*, 2021; Pereira, 2021).

A análise das bases trocáveis apresenta diferenças importantes entre os SAFs, destacando a influência da sazonalidade, que caracteriza o território teresinense no Potássio (K), verificou-se pouca variação entre o PS e o PC; Cálcio (Ca), os valores oscilaram de 0,65c a 1,33a no PC e de

0,65c a 0,89a no PS; Magnésio (Mg), observou-se que apenas o SAF IG alcançou valores superiores a 2 cmolc/kg no PC, enquanto o menor valor foi registrado no SAF MP, com 1,01d no PS (Tabela 01).

Tabela 01 - Resultados das análises de bases trocáveis: Ca, Mg e K dos SAFs ATF, MP e IG.

ÁREA	PROFUNDIDADE	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	SECO
		Ca (Cmolc/kg)		Mg (Cmolc/kg)		K (Cmolc/kg)	
SAF ATF	0.0-0.10cm	0,72bc	0,70bc	1,90b	1,52c	0,03a	0,02a
	0.10-0.20cm	0,65c	0,65c	1,56c	1,49cd	0,02a	0,02a
SAF MP	0.0-0.10cm	0,80b	0,68c	1,50c	1,22d	0,02a	0,02a
	0.10-0.20cm	0,78b	0,66c	1,21c	1,01d	0,02a	0,01a
SAF IG	0.0-0.10cm	1,30a	0,89a	2,20ab	1,98ab	0,03a	0,02a
	0.10-0.20cm	1,33a	0,74b	1,89b	1,55b	0,02a	0,02a

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

Os SAFs ATF e MP apresentaram teores mais baixos de Ca que o SAF IG o que pode ser atribuído ao aporte de esterco animal e ao manejo intensivo de podas. A presença do componente arbóreo garante uma maior deposição vegetal sendo a serrapilheira o principal meio de retorno de nutrientes aos agrossistemas (Ribeira, 2014; Lima *et al.*, 2021). Podendo atuar ainda como regulador térmico e hídrico, protegendo a superfície contra a radiação solar e reduzindo a perda de água, garantindo resiliência ecológica do agrossistema frente à sazonalidade característica da região (Andrade *et al.*, 2021; Lima *et al.*, 2021).

Os teores de K apresentaram baixa variação entre os períodos, demonstrando maior estabilidade desse nutriente às condições climáticas. Podendo ser atribuída a concentração de chuvas em poucos meses, limitando as perdas por lixiviação, permitindo a mineralização da biomassa depositada e ciclagem biogeoquímica (Iwata, 2015; Perez-Marin *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2019).

Em relação ao Mg, observou-se maior sensibilidade à sazonalidade, com destaque para o SAF IG, que apresentou os maiores teores no período chuvoso. Sendo atribuído à maior disponibilidade hídrica, que estimula a biomassa microbiana e intensifica a mineralização da matéria orgânica depositada (Ribeiro, 2014; Oresca, 2022).

Os padrões estatísticos observados destacam a dinâmica ambiental dos sistemas analisados com diferentes manejos em regiões ecotonais Cerrado/Caatinga sob influência semiárida. A estabilidade dos nutrientes, mesmo com a forte sazonalidade geográfica do ambiente, mostra a capacidade das agroflorestas em conservar a qualidade química do solo, favorecendo os ciclos de decomposição da matéria orgânica e dos estoques de carbono (Lima *et al.*, 2021). Esses fatores contribuem para maior resiliência climática dos sistemas em áreas ecotonais do Piauí reduzindo os efeitos da degradação ambiental além de fortalecer o potencial dos agroecossistemas como sistemas de produção com potencial de mitigação das mudanças climáticas e conservação em Teresina.

Conforme a Tabela 02, os valores de pH das agroflorestas ATF, IG e MP tem pouca variação entre 5,8 e 5,9, enquanto o alumínio apresentou teor único de 0,1a em todos os SAFs e o sódio variou de 0,02a a 0,03a. As médias de pH, Al e Na não diferiram estatisticamente, indicando níveis semelhantes de disponibilidade entre os SAFs estudados.

Tabela 02 - Resultado das análises laboratoriais: pH, AL e Na dos SAFs ATF, MP e IG, no período seco e chuvoso.

ÁREA	PROFUNDIDADE	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	SECO
		pH		Al ³⁺ (Cmolc/kg)		Na (Cmolc/kg)	
SAF ATF	0.0-0.10cm	5,9a	5,8a	0,1a	0,1a	0,03a	0,02a
	0.10-0.20cm	5,9a	5,8a	0,1a	0,1a	0,02a	0,02a
SAF MP	0.0-0.10cm	5,8a	5,9a	0,1a	0,1a	0,02a	0,02a
	0.10-0.20cm	5,9a	5,8a	0,1a	0,1a	0,02a	0,03a
SAF IG	0.0-0.10cm	5,8a	5,8a	0,1a	0,1a	0,03a	0,02a
	0.10-0.20cm	5,9a	5,8a	0,1a	0,1a	0,02a	0,02a

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

Os valores de pH nos agroecossistemas não apresentaram diferenças estatísticas entre períodos ou profundidades, indicando estabilidade química frente à sazonalidade semiárida. Costa et al. (2019) encontraram valores de pH próximos aos observados nos SAFs analisados, atribuindo esse comportamento à decomposição da matéria orgânica mantida pela cobertura vegetal. Situação semelhante foi observada nos sistemas analisados nos quais a serrapilheira atua como principal fonte de aporte orgânico.

A toxicidade por alumínio (Al) é uma das principais limitações em solos ácidos. Os teores de Al permaneceram constantes em 0,1a em todos os SAFs, períodos e profundidades, indicando baixa acidez ativa e ausência de risco de toxicidade. Já os teores de sódio (Na) variaram entre 0,02a e 0,03a, sem diferenças estatísticas, demonstrando ausência de risco de sodificação e favorecendo a manutenção da boa estrutura física do solo (Iwata, 2015).

Assim, os resultados indicam que o pH, Al e Na permanecem estáveis entre os períodos e profundidades, demonstrando a capacidade dos SAFs em manter condições químicas favoráveis mesmo com a sazonalidade climática (Iwata *et al.*, 2012 *apud* Pereira, 2021). Esses resultados reforçam o potencial dos SAFs como estratégia sustentável de conservação do solo, aumento da resiliência ecossistêmica e mitigação das mudanças climáticas em áreas ecotonais piauienses.

A Tabela 04 indica diferenças nos estoques de carbono e nitrogênio entre os SAFs, com o SAF IG apresentando os maiores teores de COT e N, enquanto o SAF ATF exibe os menores valores.

Tabela 04 - Resultados das análises laboratoriais: COT, P e N dos SAFs ATF, MP e IG.

ÁREA	PROFUNDIDADE	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO	SECO
		COT (mg/kg)		P (mg/kg)		N (mg/kg)	
SAF ATF	0.0-0.10cm	14,90c	16,33d	0,64d	0,68c	1,90d	4,51d
	0.10-0.20cm	14,00c	14,20d	0,59d	0,60c	1,90d	4,23d
SAF MP	0.0-0.10cm	27,12b	31,23b	1,93c	0,89b	4,9c	6,88c
	0.10-0.20cm	25,30b	28,78	1,90c	0,71bc	5,1c	6,01c
SAF IG	0.0-0.10cm	30,11ab	36,12ab	3,14ab	2,77a	10,4a	17,23ab
	0.10-0.20cm	25,23b	29,12bc	2,90b	2,56b	8,56b	11,22b

Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

O SAF IG apresentou os maiores teores de COT entre os sistemas analisados, enquanto o SAF ATF teve os menores valores. O manejo intensivo de podas com o uso do esterco pode ser associado a superioridade do nível de carbono orgânico total do SAF IG aos demais (Costa *et al.*, 2019; Iwata, 2015), já os teores reduzidos do SAF ATF estão associados à sua menor complexibilidade vegetal com seu baixo manejo de espécies nativas, limitando assim o aporte de serrapilheira e a incorporação orgânica ao solo (Lima *et al.*, 2021; Ribeiro, 2014; Pereira, 2021).

Os maiores teores de COT observados no SAF IG demonstram a influência do manejo agroflorestal na manutenção da matéria orgânica e na estabilidade química do solo. O maior acúmulo de carbono orgânico observado nos agrossistemas demonstra o seu potencial como sumidouros de carbono atmosférico (Costa *et al.*, 2019), contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo e para a mitigação climática. Em ambientes semiáridos, onde as elevadas temperaturas e a sazonalidade hídrica aceleram a decomposição da matéria orgânica (Oresca, 2022), o potencial dos SAFs em manter altos níveis de carbono representa um importante mecanismo de conservação ambiental e aumento da resiliência produtiva.

O SAF IG apresentou superioridade na disponibilização de nitrogênio total em relação às demais agroflorestas com teores de 2,56b e 3,14ab. A integração entre o manejo de podas sobre sucessão natural com uso de esterco garante a sustentabilidade e resiliência dos sistemas mesmo em áreas com teores de N limitados como regiões tropicais (Perez-Marin; Menezes, 2008; Ribeiro, 2014). Além disso, a maior deposição de resíduos orgânicos favorece a mineralização do nitrogênio e contribui diretamente para a manutenção da fertilidade do solo mesmo em condições de elevada sazonalidade climática (Iwata, 2015; Andrade *et al.*, 2021).

O SAF IG demonstrou superioridade nos teores de fósforo (P) (2,56 a 3,14 mg/kg), embora os valores sejam de classes de fertilidade baixa. Esse incremento em relação aos demais sistemas têm relação com o manejo com esterco bovino, acelerando a disponibilidade de nutrientes e o acúmulo de carbono orgânico (Costa *et al.*, 2019), favorecendo a ciclagem biogeoquímica, onde a decomposição da biomassa vegetal e a mineralização do esterco promovem a liberação gradual de P, essencial em sistemas no semiárido (Iwata, 2015; Oresca, 2022; Perez-Marin, 2008).

CONCLUSÕES

Os SAFs avaliados demonstraram elevada capacidade de conservação do solo e potencial para mitigação das mudanças climáticas em condições ecotonais do Piauí. A manutenção da cobertura vegetal e o aporte contínuo de serapilheira favoreceram a ciclagem de nutrientes, a incorporação de matéria orgânica e a estabilidade dos atributos químicos do solo, contribuindo para a resiliência dos agroecossistemas frente à sazonalidade climática característica da região.

Entre os sistemas estudados, o SAF IG apresentou os melhores indicadores de qualidade do solo. Esse desempenho está associado ao manejo com podas e uso de esterco, além da maior diversidade de espécies manejadas, incluindo espécies nativas. Em contrapartida, o SAF ATF apresentou os menores teores de carbono e nitrogênio, indicando que a menor complexidade vegetal e o reduzido número de espécies nativas podem limitar o aporte de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes no sistema.

Os resultados evidenciam que as agroflorestas atuam como importantes sumidouros de carbono e estratégias eficazes para a conservação do solo, melhoria da fertilidade e adaptação às condições climáticas piauienses. Dessa forma, os SAFs apresentam elevado potencial para promover a sustentabilidade produtiva e ambiental em áreas ecotonais de Cerrado e Caatinga, constituindo uma alternativa relevante para o planejamento territorial e para o enfrentamento das mudanças climáticas no Piauí.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí (FAPEPI) pelo financiamento concedido através do Edital 003/2024, Programa de Apoio à Pós-Graduação Stricto Sensu (PAPG) – Bolsas de Mestrado e Doutorado.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, N. Q.; CAMPOS, C. H. Caracterização do Semiárido brasileiro. In: CONTI, I. L.; SCHROEDER, E. O. (Orgs.). **Convivência com o semiárido brasileiro**: autonomia e protagonismo social. Brasília: Editora IABS, 2013. p.45-50. Disponível em: <https://bibliotecasemiarios.ufv.br/handle/123456789/376>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (ed.). **Methods of soil analysis**: chemical and microbiological properties. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. v. 2, p. 595–624. (Agronomy Monograph, 9). Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/907293170/1982-Methods-of-Soil-Analysis-Part-2-Chemical-and-Microbiological-Properties>. Acesso em: 17 set. 2025.
- COSTA, H. S. *et al.* Indicadores químicos de qualidade de solos em diferentes coberturas vegetais e sistemas de manejo. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, v. 13, supl., p. 42–48, jul. 2019.

Disponível em: <https://revistafitos.far.fiocruz.br/index.php/revista-fitos/article/view/759>. Acesso em: 10 dez. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 21 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1085209/1/ManualdeMetodosdeAnalisedeSolo2017.pdf>. Acesso em: 03 set. 2025.

FELICIANO, D. *et al.* Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions?. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 254, p. 117–129, fev. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880917305297>. Acesso em: 21 jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos – Piauí**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/pdf/pi.pdf. Acesso em: 05 ago. 2025.

IWATA, B. F. *et al.* Manejo de resíduos em argissolo sob agrofloresta no semiárido cearense. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 20702–20716, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/36504>. Acesso em: 07 jan. 2026.

LIMA, R. S. *et al.* Deposição de serrapilheira e variáveis qualitativas da produção de biomassa anual em sistemas de vegetação de caatinga e sistema agroflorestal no município de Cocal-PI. **Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability**, v. 3, n. 1, 2021. Disponível em: <https://www.journals.ufpe.br/index.php/BJAS/article/view/3944>. Acesso em: 15 out. 2025.

MACHADO, P. L. O. A. **Compactação de solo e crescimento de plantas: como identificar, evitar e remediar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. (Documentos, 56). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/338323/1/doc562003compactacaoosolo.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2026.

MARCHETTI, M. M.; BARP, E. A. Efeito rizosfera: a importância de bactérias fixadoras de nitrogênio para o solo/planta – revisão. **IGNIS**, p. 61–71, 2015. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/767>. Acesso em: 04 fev. 2026.

NUNES, S. S. S. *et al.* **Análise do índice de performance agroflorestal em SAFs da região de Carajás, Pará – 2022**. Belém, 2022. (Relatório Técnico n. 039/2022). Disponível em: <https://repositorio.itv.org/handle/123456789/553>. Acesso em: 11 mar. 2026.

OLIVEIRA, G. B. S. *et al.* Densidade do solo por pedotransferência em diferentes classes de solo de sistemas agroflorestais na Amazônia Sul Ocidental. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 15–23, 2022. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1151579/1/27421.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2026.

OLIVEIRA, Y. L. M. **Ilhas de calor urbanas na “cidade verde”**: mitigação de zonas de calor no residencial Parque Brasil, em Teresina-PI. 2023. 148 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2023. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/49735>. Acesso em: 19 ago. 2025.

ORESCA, D. **Efeitos das mudanças no uso da terra na respiração do solo e das raízes na região semiárida de Pernambuco**. 2022. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/45351>. Acesso em: 21 jul. 2025.

PEREIRA, M. F. **Agrobiodiversidade, produção de serrapilheira e cobertura de solo em sistemas agroflorestais de região semiárida**. 2021. 41 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/62010>. Acesso em: 08 jul. 2025.

PEREZ-MARIN, Aldrin Martin *et al.* Ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *Gliricidia sepium*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 32, n. 6, p. 2573-2579, dez. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/TCz3NqxCw56PGHqCSmP9Zjk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 nov. 2025.

PIMENTEL, C. R. *et al.* Produção, acúmulo e decomposição de serrapilheira em três sistemas agroflorestais no Oeste do Pará. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n. 1, p. 1291–1300, 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/10523>. Acesso em: 29 out. 2025.

RIBEIRO, Juliana Martins. **Atributos químicos e microbiológicos do solo em sistemas agroflorestais do Norte de Minas Gerais**. 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/0f108fcc-3968-4400-b81c-53a89e25e268/content>. Acesso em: 12 nov. 2025.

IWATA, B. F. **Adição de resíduos orgânicos em um Argissolo sob Sistema Agroflorestal no Semiárido cearense**. 2015. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: https://ppgsolos.ufc.br/wp-content/uploads/2021/05/tese.bruna_.pdf. Acesso em: 19 maio 2026.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467–1476, 1988. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/00103628809368027?needAccess=true>. Acesso em: 01 out. 2025.

ANEXO 12 - Carbono no solo e sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas



1

CARBONO NO SOLO E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Naide de Lucas da Silva Neta¹, Laudenides Pontes dos Santos², Francisco Dionata de Oliveira Silva³ Bruna de Freitas Iwata⁴

1. INTRODUÇÃO

O rápido crescimento populacional no mundo trouxe consigo um modelo econômico baseado em altos consumos de recursos que acarretou a diminuição da qualidade dos solos. O mal uso desse recurso, que antigamente era tido como inesgotável, trouxe inúmeros problemas como perda de produção pela redução da fertilidade do solo, perda da qualidade da água, que antes era filtrada pelo solo, perda de ecossistemas que dependem de processos relacionados ao solo como a ciclagem de nutrientes, perda de corpos d'água pelo assoreamento provocado pela erosão e aporte do solo, entre outros (Guerra; Jorge, 2014). Um dos problemas advindos da degradação do solo é o aumento significativo da quantidade de carbono liberado para a atmosfera e que antes ficava armazenado no solo, que hoje se sabe é um dos maiores sumidouros de carbono do planeta.

O solo desempenha inúmeras funções necessárias para o equilíbrio ambiental, um solo saudável significa um ambiente saudável. Muito além do que apenas ser o suporte para o crescimento de plantas o solo realiza funções ecossistêmicas como a ciclagem de nutrientes, regulação hídrica, equilíbrio climático e outros (Tabela 1).

A capacidade de sequestro e estocagem do carbono no solo é ultimamente uma questão de grande preocupação. Este processo consiste na remoção do dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e no seu armazenamento em reservatórios de longo prazo, com o objetivo principal de mitigar o aquecimento global e as mudanças climáticas (Yadav *et al*, 2026).

¹ Mestranda do Programa de Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal do Piauí. E-mail para correspondência: naide.silva.neta@gmail.com. ORCID: 0000-0002-3017-0428

² Docente do Programa de Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal do Piauí. E-mail: laudenides.pontes@ifpi.edu.br. ORCID: 0000-0003-4998-7419

³ Mestrando do Programa de Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal do Piauí. E-mail para correspondência: dionatatcc@gmail.com. ORCID: 000-002-6491-0463

⁴ Docente do Programa de Mestrado Profissional em Análise e Planejamento Espacial do Instituto Federal do Piauí. E-mail: lwata@ifpi.edu.br. ORCID: 0000-0002-6465-9731

O carbono, como um dos compostos que atuam no efeito estufa, está no centro das discussões globais sobre o clima. Embora o efeito estufa seja um fenômeno natural e essencial para a manutenção da vida na Terra, o aumento desenfreado das emissões desses gases na atmosfera agrava essa dinâmica, desencadeando o aquecimento global e as mudanças climáticas antrópicas. Diante desse cenário, a conservação e o manejo adequado do solo ganham destaque, uma vez que o sistema edáfico atua como um dos principais reservatórios terrestres de carbono. Assim, torna-se fundamental compreender a dinâmica desse elemento no solo, identificando os mecanismos que determinam a sua perda ou a sua retenção no ecossistema.

Tabela 1 – Funções ecossistêmicas do solo

SERVIÇO ECOSSISTÊMICO	DESCRIÇÃO
Sequestro de carbono	Captura do dióxido de carbono (CO ₂) da atmosfera e sua fixação de forma estável no solo.
Purificação da água e degradação de contaminantes	Atua como um filtro natural que retém e degrada poluentes, permitindo que a água chegue limpa aos lençóis freáticos.
Regulação do clima	Regulação das emissões e fluxos de Gases de Efeito Estufa e a radiação solar.
Ciclagem de nutrientes	Absorção e decomposição de matéria orgânica pelas raízes e a presença de macro e micronutrientes essenciais no solo.
Habitat para os organismos	Habitat para a biodiversidade edáfica.
Regulação de enchentes	Capacidade de infiltração e armazenamento de água pelo solo, mitigando o escoamento superficial que causa cheias urbanas ou rurais.
Fonte de recursos genéticos e farmacêuticos	Potencial biotecnológico do solo para o desenvolvimento de produtos.
Base da infraestrutura humana	Solo como suporte físico estável para construções civis, pontes, rodovias e o desenvolvimento urbano.

Fornecimento de materiais de construção	Solo como provedor direto de matérias-primas minerais e agregados, como areia, argila, cascalho e rochas para a construção.
Herança cultural	Solo como um arquivo histórico e arqueológico, preservando vestígios de civilizações passadas, fósseis, estruturas antigas e artefatos.
Produção de alimentos, fibras e combustíveis	Atividades agrícolas e pecuárias superficiais dependentes da fertilidade da terra, como pastagens, plantios e silvicultura.

Fonte: Adaptado de FAO, 2015

Com base na importância do tema, o presente artigo de revisão bibliográfica tem como objetivo trazer uma revisão sobre armazenamento e perda de carbono no solo bem como seu papel para a mitigação das mudanças climáticas. O trabalho, de caráter qualitativo, foi construído a partir de publicações científicas que abordam o tema. Os trabalhos foram retirados de bases como SciELO, Google Acadêmico, Portal de Periódicos CAPES e Web of Science. Na procura do material foram utilizados termos-chave como “sequestro de carbono”, “estocagem de carbono”, “carbono no solo”, “mudanças climáticas”, “efeito estufa”, “manejo do solo”, “degradação do solo”.

2. CONCEITOS E PROCESSO DE FORMAÇÃO DO SOLO

Solo é um elemento natural dinâmico formado por partes sólidas, líquidas e gasosas e por materiais minerais e orgânicos. É a base para a vida na Terra e desempenha diversos e importantes papéis nos processos ecológicos no planeta.

O solo tem sido um alicerce que acompanha a humanidade desde os seus primórdios, seja como base para o crescimento de plantas, como local para construção das nossas primeiras moradas ou como um elemento cultural e espiritual, onde várias culturas trazem o solo como elemento de criação. Mas apesar de sua grande importância o solo só passou a ser estudado de fato a partir do século XIX e dentre as dificuldades de se estudar sobre o tema está o fato de que o solo era estudado dentro das ciências clássicas, como complemento, não em uma ciência específica (Pérez *et al*, 2016; Espindola, 2018).

Em 1883 Dokouchaiev, tido como pai da ciência dos solos, apresentou o solo como sendo um corpo dinâmico e naturalmente organizado e que era importante o seu estudo. O seu trabalho trouxe importantes colocações sobre a origem e formação do solo através do intemperismo provocado pela interação de fatores bióticos e abióticos do meio. No Brasil o precursor do estudo dos solos foi o Instituto Agronômico de Campinas (Pérez *et al*, 2016; Barreto *et al*, 2016).

O conceito de solo irá depender do seu observador e até hoje não há um consenso sobre a sua definição. O termo solo se origina do latim, *solum*, que significa suporte, superfície, base (Jorge, 2021; Devichio, 2024). Entre os vários conceitos de solo pode ser destacado os seguintes (Reichert, 2009):

- I. *Solo como meio de desenvolvimento de plantas*: O solo é apenas o local de desenvolvimento das plantas, de onde elas tiram os elementos para o seu crescimento.
- II. *Solo como regolito*: Tido como a camada superficial da crosta terrestre composta por fragmentos de vários materiais.
- III. *Solo como corpo natural organizado*: Neste conceito o solo é um elemento resultante de processos biológicos, físicos e químicos e da interação entre litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera.
- IV. *Solo como sistema aberto*: O solo é visto como um sistema complexo e dinâmico que interage com o meio.

A formação do solo é dada por um processo lento e gradual, denominado pedogênese, e que envolve o processo de intemperismo (alterações físicas/químicas) das rochas que podem ser químicos, físicos e biológicos. O solo ainda depende da interação de fatores como clima, relevo e material de origem (Lima; Lima; Melo, 2007; Rodrigues, 2018; Jorge, 2021).

No processo de formação do solo a rocha matriz passa por um processo de decomposição pelo intemperismo que fragmentam esses grandes pedaços de rochas em pedaços cada vez menores, até tamanhos em que seus minerais sejam solubilizados. Esse processo de fragmentação forma os horizontes do solo, que constitui camadas com características distintas que formam o perfil de solo (Jorge, 2021). Para os horizontes encontrados no solo temos as seguintes características principais:

- *Horizonte O*: Camada mais superficial e em contato com a atmosfera que se apresenta rica em matéria orgânica. Por ser uma camada que normalmente



está coberta protege o solo da erosão;

- *Horizonte A*: Camada abaixo do horizonte O e que possui intensa atividade biológica e é rico em matéria orgânica e minerais. É nessa área que há maior desenvolvimento das raízes e de onde elas retiram os nutrientes.
- *Horizonte B*: Área abaixo do horizonte A e que acumula material lixiviado das camadas superiores. Plantas de raízes mais profundas também utilizam essa camada como fonte de nutrientes.
- *Horizonte C*: O horizonte que apresenta contato com a rocha matriz e que está em processo de decomposição inicial, ou seja, é uma área de transição entre o solo e a rocha matriz.
- *Rocha Mãe/matriz*: Rocha que dá origem ao solo.

O solo possui inúmeras funções no meio ambiente sendo elas o suporte para o crescimento das plantas, purificação e conservação da água no ecossistema, ciclagem de nutrientes, habitat de vários organismos, regulação climática, sequestro e estocagem de carbono, por tanto a conservação do solo é necessária para a manutenção da biodiversidade, produção de alimento, qualidade da água e combate às mudanças climáticas.

3. CARBONO NO SOLO: ORIGEM E FUNÇÃO NA MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

a. Movimentação do carbono

A movimentação do carbono entre a atmosfera, seres vivos e o solo ocorre em duas etapas, a de fixação e a de regeneração. Na etapa de fixação o carbono atmosférico é capturado pelos organismos fotossintetizantes, que utilizam o CO₂ para a produção de compostos orgânicos, como o amido, celulose, ligninas, proteínas e ácidos nucleicos. Com a morte desses organismos ou perda de partes dele, como folhas e galhos, esses compostos orgânicos são incorporados no solo. Esses compostos então são utilizados por organismos heterotróficos para seus processos metabólicos. Durante a respiração desses organismos ocorre a quebra dos compostos orgânicos e liberam o CO₂ de volta para atmosfera. Formando um ciclo (EMBRAPA, 2009).

Apesar de parte do carbono ser liberado de volta para atmosfera pela respiração dos organismos uma grande parcela permanece incorporada ao solo, formando o Carbono Orgânico do solo (COS), que é essencial para a saúde do solo, influenciando



não só na sua estrutura mas também na retenção de água e nutrientes.

b. Mecanismos de incorporação e perda do carbono no solo

O carbono pode ser encontrado no solo de diferentes formas, com profundidades e tempos de permanência distintos, sendo elas as formas inorgânicas, com a presença do carbonato (encontrado em minerais como o carbonato de cálcio), bicarbonato (forma solúvel do carbono inorgânico) e o dióxido de carbono (presente no ar entre os poros do solo), e na forma orgânica, presente com ácidos graxos (gorduras e óleos), polissacarídeos (celulose amido) aminoácidos (bases para as proteínas) e outros.

O Carbono orgânico no solo (COS) possui base biológica, originando-se de resíduos vegetais, animais e da atividade microbiana, e concentra-se majoritariamente nas camadas superficiais (0–30 cm), no primeiro metro de profundidade. Em contrapartida, o Carbono inorgânico (CIS) tem natureza mineral, sendo composto por carbonatos e bicarbonatos (como o CaCO_3) que se acumulam principalmente em camadas subsuperficiais mais profundas, com grande relevância em regiões áridas e semiáridas. Enquanto o COS apresenta uma ciclagem rápida e alta vulnerabilidade ao manejo, o CIS atua como um reservatório de longo prazo com dinâmica de estabilização, tornando a compreensão de ambas as frações indispensável para mensurar o real potencial de mitigação das mudanças climáticas (Batool *et al.*, 2024; Yadav *et al.*, 2026).

Quanto a sua incorporação no solo o mesmo pode ocorrer de três formas (Oliveira; Reatos; Roig, 2015):

- I. *Humificação*: processo de transformação bioquímica dos resíduos vegetais e animais em substâncias húmicas (fração macromolecular altamente estável da MOS). Nesse mecanismo, a atividade microbiana altera a estrutura original dos compostos orgânicos frescos e sintetiza novas moléculas complexas que resistem à degradação rápida, resultando na formação e estabilização do Carbono Orgânico do Solo (COS) na forma de húmus.
- II. *Agregação*: Onde há um arranjo das partículas do solo que se agregam por floculação ou cimentação. Nesse processo as partículas do solo se juntam para formar estruturas maiores, os agregados e o carbono orgânico, já disponível no meio, funciona como um cimento entre as partículas, o que acaba fazendo com que o carbono tenha uma lenta decomposição, contribuindo para o acúmulo



deste no solo.

- III. **Sedimentação:** Onde há o depósito e acúmulo de sedimentos que podem ser da mesma área ou de outras. Os sedimentos, que podem ser transportados pela água ou pelo vento, podem arrastar matéria orgânica de um local para outro, contribuindo para o aumento da sua concentração em no novo local.

Para que o solo esteja saudável e possa desempenhar sua função é necessário que haja a conservação de sua natureza físico-química e biológica que pode ser alcançada a partir da conservação do material vegetal na sua superfície. O carbono orgânico no solo (COS) está diretamente relacionado à fertilidade, produção, proteção do meio, conservação dos ecossistemas. Esse incremento de matéria orgânica junto a uma baixa movimentação do solo garantem o aumento do estoque de carbono o que acaba contribuído para a formação de agregados do solo, aumento da biodiversidade, aumento da CTC, na quantidade de nutrientes disponíveis, no pH e na capacidade de retenção de umidade, (Lourenço, 2017; Costa *et al*, 2021).

O carbono no solo pode ser perdido por diferentes mecanismos e tem a sua liberação acelerada principalmente pelo seu manejo inadequado. Os principais processos de perda são: Erosão, onde há remoção das partículas do solo e consequentemente da matéria orgânica pela ação da água ou do vento das camadas superficiais do solo; A decomposição, onde há perda do carbono orgânico uma vez que os microrganismos utilizam a MO como fonte de obtenção de carbono que depois é perdido durante a respiração e consequente liberação do CO₂; Combustão (queimadas), onde há a queima da MO nas primeiras camadas do solo e há a liberação do CO₂, além de destruir a biota da área; Lixiviação, onde há a movimentação do carbono para as camadas mais profundas do solo pela ação da água, levando o material para os aquíferos mais profundos ou outros corpos d'água; Diminuição da camada superficial do solo, que pode ocorrer de forma mecânica através do uso e manejo intensivo e não sustentável do solo (EMBRAPA, 2004; Machado, 2005).

c. Sequestro de carbono pelo solo e a mitigação dos efeitos climáticos

Uma das principais funções do solo é o sequestro de carbono, um dos principais responsáveis pelo efeito estufa no planeta e consequentemente das mudanças climáticas.



Segundo relatório de 2022 do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) que reuniu 278 cientistas de 65 países estimou cenários para a próxima década com relação ao aumento da temperatura global. Esse aumento está ligado ao aumento dos gases do efeito estufa e podem trazer problemas de cunho econômico, social e natural como perda da biodiversidade, escassez hídrica, inundações, aumento de incêndios. Já o relatório de 2023 mostra que o aquecimento é inequívoco e que o principal causador são as mudanças climáticas.

Cada hectare de terra consegue absorver de 150 a 200 toneladas de carbono e as principais causas de perda desse CO₂ no solo são a lixiviação, erosão e respiração dos microrganismos presentes no solo. O CO₂ que é perdido pela erosão do solo para a atmosfera contribui para o superaquecimento do planeta. O preparo do solo para os diversos usos envolvendo desmatamento, queima e o revolvimento podem lançar até 81,3g CO₂ m⁻² em algumas horas. É preciso combater essas práticas que desgastam o solo para prevenir então o lançamento do CO₂ na atmosfera (Machado, 2005; Lourenço, 2017).

A conservação do carbono no solo, que está ligado ao aumento da matéria orgânica, é essencial para a mitigação das mudanças climáticas, uma vez que o sequestro de carbono auxilia na diminuição dos gases do efeito estufa na atmosfera, melhora da qualidade do solo, aumentando a capacidade de retenção de água e nutrientes e consequentemente aumentando a fertilidade do solo, preservação dos recursos hídricos, que são de extrema importância principalmente em áreas de clima seco, proteção da biodiversidade, garantido a sobrevivência de animais e plantas, principalmente os que são endêmicos e é essencial para a garantia de melhora na qualidade de vida das pessoas que moram na região (Machado, 2005; ONU, 2018; Alves; Pelloso; Amaral, 2024).

Em seu trabalho, intitulado “Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global”, Machado (2005) mostra que o solo é um grande sumidouro de carbono e podem reduzir os efeitos desse gás de efeito estufa quando o solo é bem manejado, porém atividades antrópicas negativas no solo acabou por liberar grandes toneladas do gás na atmosfera, principalmente por conta dos desmatamentos para a posterior ocupação da área por agricultura ou pasto. No trabalho também é observado que as taxas de adição do carbono no solo dependem ainda do tipo de vegetação, clima, relevo da área e até da taxa de decomposição dos elementos orgânicos. Portanto, para que o solo continue retendo carbono, é necessário que haja uma boa cobertura

vegetal sobre ele e que não sofra processos de revolvimento. A perda do carbono do solo traz inúmeros malefícios ao ambiente.

Abreu et al (2024) mostra que os diferentes usos e ocupação do solo, que alteram as características do solo, podem ocasionar no aumento da emissão de CO₂ na atmosfera. O artigo traz principalmente os problemas ocasionados pela conversão dos solos em áreas de pastagens e que além da liberação do CO₂ pela desagregação do solo pode haver aumento da liberação de N₂O. Vemos ainda a importância de entender a dinâmica desses gases e trazer formas de manejo mais eficiente para as atividades antrópicas.

O trabalho "Estoque de carbono nos ecossistemas" de Corrêa (2025) estabelece o papel fundamental do solo como um dos mais cruciais reservatórios e sumidouros de carbono no sistema terrestre, sendo vital para a mitigação das mudanças climáticas globais. A obra enfatiza que o manejo e a saúde do solo são determinantes para o balanço dos Gases de Efeito Estufa (GEE), alertando que a degradação de ecossistemas converte este vasto reservatório em uma fonte de energia atmosférica.

O trabalho de Fogaça (2021), intitulado "Relação do estoque de carbono do solo com a cobertura do solo", reforça a grande capacidade do solo em atuar como um vasto reservatório, principalmente por meio do processo de sequestro de carbono orgânico do solo. O estudo destaca que o monitoramento e a quantificação desses estoques são essenciais para a conservação e o manejo sustentável.

A quantificação de carbono é uma boa forma de monitorar a qualidade da área, se está saudável ou não, é através dessa quantificação em diferentes níveis de degradação do solo que podem ser desenvolvidas estratégias mais assertivas para a recuperação de áreas degradadas.

O potencial das práticas de manejo do solo na retenção de carbono e mitigação climática tem sido amplamente respaldado por estudos de síntese global. Bossio *et al.* (2020) demonstraram que o manejo sustentável do solo pode mitigar até 5,5 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente por ano globalmente, sendo que o aumento do carbono orgânico do solo (COS) responde por quase 40% desse potencial técnico total. Paustian *et al.* (2016) aponta que a transição global para sistemas de manejo conservacionista tem o potencial de sequestrar C nos solos agrícolas, destacando-se como uma das estratégias de remoção de GEE de menor custo e maior viabilidade imediata.



O potencial das práticas de manejo do solo na retenção de carbono e na mitigação climática tem sido amplamente respaldado por estudos de síntese global. De acordo com Lal (2018), a transição para sistemas de manejo conservacionistas e de agricultura regenerativa possui o potencial de reverter o histórico de degradação da terra, transformando os solos agrícolas de fontes de emissão em sumidouros ecológicos efetivos. O autor destaca que esse manejo adequado é capaz de gerar um balanço positivo de carbono ao fazer com que o aporte de biomassa supere as perdas por erosão e mineralização, estimando um potencial técnico global de sequestro de carbono orgânico do solo (COS) da ordem de 1,45 a 3,44 Pg C por ano.

Sabendo da importância do carbono no solo é preciso que seja incorporado formas de melhorar o armazenamento deste no solo. É necessário o aumento da matéria orgânica e diminuição da perda do solo, por tanto, podem ser adotadas práticas mais sustentáveis como a rotação de culturas, plantio direto, criação de agroflorestas (EMBRAPA, 2009). Além disso, é preciso a redução das queimadas, recuperação das áreas degradadas e conservação das florestas nativas.

4. CONCLUSÃO

A revisão mostrou o solo como componente importante para a dinâmica do carbono no planeta, sendo um importante reservatório. Vemos também que as condições para a retenção de carbono no solo estão ligadas a sua presença de matéria orgânica, estabilidade do solo e principalmente das condições de manejo, sendo a degradação do solo um das maiores causas da liberação do carbono na atmosfera.

Práticas de manejo sustentável que visem não revolvimento do solo, incremento de cobertura vegetal e matéria orgânica, conservação da biodiversidade e da retenção líquida no solo, favorecem o sequestro de carbono, em contrapartida atividades como o desmatamento, uso intensivo do solo, queimadas e outros trazem uma maior emissão do carbono que estava preso no solo.

É imprescindível a adoção de práticas sustentáveis para reduzir a emissão de CO₂ e consequentemente reduzir o efeito estufa e as implicações destas nas mudanças climáticas.



REFERÊNCIAS

- ABREU, N. L.; RIBEIRO, E. S. C.; SOUSA, C. E. S.; MORAES, L. M.; OLIVEIRA, J. V. C.; FARIA, L. A.; RUGGIERI, A. C.; CARDOSO, A. S.; FATURI, C.; RÉGO, A. C.; SILVA, T. C., Land use change and greenhouse gas emissions: na explanation about the mais emission drivers. **Animal Science**. v.25. 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/cab/a/NDzFnKKntQLXqGd3hF6mTnj/?lang=en>. Acesso em: 12 dez. 2024
- ALVES, J. R.; PELLOSO, M. F.; AMARAL, H. F. Dinâmica do carbono no solo em sistemas agrícolas. *In: Agricultura em Bases Agroecológica e Conservacionista*. Editora Atena, v.2, 2024. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/download-post/87246>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- BATOOL, Maria; CIHACEK, Larry J.; ALGHAMDI, Rashad S. Soil Inorganic Carbon Formation and the Sequestration of Secondary Carbonates in Global Carbon Pools: A Review. **Soil Systems**, v. 8, n. 1, p. 15, 2024.
- BARRETO, N. P.; FERRAZ, L. R. S.; CAMPOS, A. C.; ARAÚJO, A. S.; COSTA, P. S. Importância da ciência do solo: histórico, conceito e definições. CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 1., Paraíba, **Anais [...]**, 2016. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/23892>. Acesso em: 11 dez. 2024.
- BOSSIO, D. A.; COOK-PATTON, S. C.; ELLIS, P. W.; FARGIONE, J.; GADDE, J.; HAMBURG, S. P.; SANDERMAN, J.; SMITH, P.; WOOD, S. A.; VON UNGER, M.; EMERITUS, R.; GRISCOM, B. W. The role of soil carbon in natural climate solutions. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 5, p. 391-398, 2020. Disponível em: <https://usnature4climate.org/wp-content/uploads/2021/07/Bossio-et-al-Nat-Sustain-2020.pdf>.
- CORRÊA, I. C. S. **Estoque de carbono nos ecossistemas**. CECO/DPGEO/IGEO/UFRGS, Porto Alegre, 2025. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/295049>. Acesso em: 12 out. 2025
- COSTA, T. G. A.; IWATA, B. F.; SOUZA, W. S.; ROCHA, I. L.; SILVA, A. C. R.; MAIA, E. P. V.; FERREIRA, P. F. A.; NASCIMENTO, C. A. J.; ALVES, A. S. Influence of management on maintenance and dynamics of carbon in the soil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**. v.12, n.1, 2021. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2021.001.0002/2439>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- DEVICHIO, F. F. S. **Apostila de solos**. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, São Paulo, 2024. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8126888/mod_resource/content/2/Apostila%20de%20Solos%202024.pdf. Acesso em: 12 nov. 2024.
- LAL, Rattan. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting Soil Organic Carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology**, v. 24, 2018.



Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/322562367_Digging_Deep_A_Holistic_Perspective_of_Factors_Affecting_Soil_Organic_Carbon_Sequestration_in_Agroecosystems. Acesso em: 11 mai. 2016.

LEITE, Luiz Fernando Carvalho. **Matéria orgânica do solo**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/68879/1/Doc97.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2025.

LEITE, Luiz Fernando Carvalho. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Documento 269, 2009.. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/664366/1/doc264.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2025.

ESPINDOLA, C. R. Histórico das pesquisas sobre solos até meados do século XX, com ênfase no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v.39, n. 2, 2018. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/rig/article/view/593/575>. Acesso em: 11 dez. 2024.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Soils deliver ecosystem services that enable life on Earth**: infographics. Rome: FAO, 2015. 1 p. (Brochure). Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/55449719-1b98-4e59-8165-ae555206f86a>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Funções do solo**. Suíça: Federal Department of Economic Affairs, Education and Research, 2015. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/eaecf793-d0cb-4ac4-a4fc-b98dbe0065f0/content>. Acesso em: 12 out. 2025.

FOGAÇA, G. B. **Relação do estoque de carbono do solo com a cobertura do solo**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, UFSC. Santa Catarina, 2021. Vídeo PIBIC 2020/2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/226715>. Acesso em: 12 out. 2025.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. **Degradação dos solos no Brasil**. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/solos/livros/DEGRADACAO%20DOS%20SOLOS%20NO%20BRASIL.pdf>. Acesso em: 12 dez. de 2024

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva:



IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 11 dez. 2024.

JORGE, M. C. O. Solos: conhecendo sua história. **Oficina de textos**. São Paulo. 2021. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/documentos/Cartilha_Solos_final_16670734260958_3251.pdf. Acesso em: 11 dez. 2024.

LIMA, V. C., LIMA, M. R., MELO, V. F. **O solo no meio ambiente**: Abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: http://www.gestaoescolar.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/solo_escola/solo_meio_ambiente.pdf.

LOURENÇO, Valéria Ramos. **Predição digital do carbono orgânico do solo no bioma Caatinga auxiliado por sensoriamento remoto**. 2017. 61f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/31131>. Acesso em: 07 out. 2024.

MACHADO, P. L. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Quím. Nova**, v. 28, n2, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/CB6Dn3MwxgLYNcdmwjYmvZF/>. Acesso em: 12 dez. 2024.

OLIVEIRA, E. S.; REATOS A.; ROIG, H. L. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de ciência e tecnologia**, v. 32, n.1/2, Brasília, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1036784/1/Estoquesdecarbonodossolo.pdf>. Acesso em: 07 out. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Mapa de agência da ONU mostra quantidade de reservas de carbono nos solos do mundo**. 2018. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/78831-mapa-de-ag%C3%A2ncia-da-onu-mostra-quantidade-de-reservas-de-carbono-nos-solos-do-mundo#:~:text=Aumentar%20a%20quantidade%20de%20carbono,em%20mudan%C3%A7a%22%2C%20disse%20Semedo>. Acesso em: 11 dez. 2024.

PAUSTIAN, Keith *et al.* Climate-smart soils. **Nature**, v. 532, n. 7597, p. 49-57, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/300372553_Climate-smart_soils. Acesso em: 11 dez. 2024.

PÉREZ, D. V.; BREFIN, M. L. M.; POLIDORO, J. C. Solo, da origem da vida ao alicerce das civilizações: uso, manejo e gestão. **Pesc. Agropec. Bras.** v.51, n.9, Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/ccj4byz7WScxx6PgQDXVVzJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 11 dez. 2024.

REICHERT, J. M. **Solos florestais**. Apostila. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009. Disponível em:



https://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Disciplinas/SolosFlorestais/Apostila_Teorica%20SF.pdf. Acesso em: 11 dez. 2024.

RODRIGUES, R. A. S. **Ciência do solo: Morfologia e gênese**. Editora e Distribuidora Educacional S.A. Londrina, 2018. Disponível em: https://cm-kl-content.s3.amazonaws.com/201802/INTERATIVAS_2_0/CIENCIA_DO_SOLO_MORFOLOGIA_E_GENESE/U1/LIVRO_UNICO.pdf. Acesso em: 11 dez. 2024.

YADAV, K.K., AHMAD, B., SINGH, S., KUMAR, A., KUMAR, V., SINGH, S.N., CHATURVEDI, A., CHATURVEDI, S.K., MISHRA, T.S., BENTHAM, J.R., BHUYAN, S., & KUMAR, R. Sequestro de carbono no solo como estratégia de mitigação das mudanças climáticas: uma revisão. **Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences**, v. 14, n. 2, p. 408-425, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.22194/JGIAS/26.1877>. Acesso em: 10 mar. 2026.

ANEXO 13 - Estrutura temática e geográfica da pesquisa agroflorestal no Brasil: uma análise bibliométrica

Estrutura temática e geográfica da pesquisa agroflorestal no Brasil: uma análise bibliométrica

Resumo

Os sistemas agroflorestais (SAFs) constituem formas integradas de uso e manejo da terra que associam componentes arbóreos, agrícolas e/ou forrageiros, apresentando potencial para conciliar produção, conservação ambiental e provisão de serviços ecossistêmicos. Diante da expansão e diversificação das pesquisas sobre essa temática, este estudo teve como objetivo analisar a estrutura temática, a distribuição geográfica e as tendências da produção científica sobre sistemas agroflorestais no Brasil, no período de 1986 a 2024, identificando áreas de concentração e aspectos ainda pouco representados na literatura. Para isso, foi realizada uma análise bibliométrica a partir de publicações indexadas na base The Lens, empregando-se a estratégia de busca "agroforestry AND Brazil" e o filtro de país/região correspondente ao Brasil. O levantamento resultou em 1.224 trabalhos acadêmicos, cujos metadados foram exportados e submetidos a tratamento e análise. A construção e visualização dos mapas bibliométricos foi realizada no software VOSviewer, versão 1.6.20, utilizando o método *Visualization of Similarities* (VOS), enquanto o processamento dos dados e a elaboração dos gráficos foram conduzidos no ambiente R, com apoio dos pacotes dplyr, tidyverse e ggplot2. Foram analisadas as principais áreas de estudo, tipos de publicação, autores, periódicos, instituições e ocorrências de termos nos títulos e resumos. Os resultados evidenciaram crescimento da produção científica sobre agroflorestas no país, com maior concentração de publicações nos últimos vinte anos e incremento especialmente perceptível entre 2015 e 2020. Os artigos científicos constituíram o principal tipo documental identificado, embora também tenham sido registrados livros, capítulos de livros, preprints, revisões, editoriais, cartas e relatórios. Nos títulos, foram identificados sete *cluster* temáticos, enquanto a análise dos resumos revelou quatro agrupamentos principais. Entre os temas mais recorrentes destacaram-se uso da terra, produção, manejo e qualidade do solo, conservação ambiental, biodiversidade, alterações climáticas, fertilidade, carbono e recuperação de áreas degradadas. A recorrência de termos relacionados à matéria

orgânica, carbono orgânico total, nitrogênio, fertilidade e estoque reforçou a relevância do solo como componente central das investigações agroflorestais. As áreas de estudo mais frequentes foram Biologia, Agrofloresta, Ciência Ambiental e Geografia, demonstrando o caráter interdisciplinar do campo. A distribuição temática e espacial indicou maior presença de estudos associados à Amazônia, ao Cerrado, à Mata Atlântica e às regiões Sudeste e Sul, com destaque para pesquisas envolvendo café, eucalipto, seringueira, solos e sistemas produtivos integrados. Em contraste, a Caatinga apresentou menor representação entre os termos de maior ocorrência, sugerindo a necessidade de ampliar investigações voltadas às condições semiáridas e às restrições hídricas. Também foi observada menor presença de estudos relacionados aos impactos socioeconômicos dos SAFs, às tecnologias digitais e às técnicas de monitoramento. Conclui-se que a pesquisa agroflorestal brasileira constitui um campo científico em expansão, marcado por forte interdisciplinaridade e concentração em temas ambientais, ecológicos, produtivos e territoriais. Entretanto, permanecem desafios relacionados à ampliação dos estudos em biomas e regiões menos representados, ao aprofundamento das dimensões econômicas e sociais e à incorporação de tecnologias de monitoramento e gestão, aspectos importantes para fortalecer o conhecimento e a aplicação dos sistemas agroflorestais no território brasileiro.

Palavras-chaves: Bibliometria; Lens; Sistemas agroflorestais.

INTRODUÇÃO

Sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de uso e ocupação do solo nos quais plantas lenhosas são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbóreas, arbustivas, culturas agrícolas e/ou forrageiras, em uma mesma unidade de ocupação e manejo, na qual ocorrem interações entre os componentes (CONAMA, Res. 429, 2011).

O Brasil apresenta instrumentos legais para o manejo e a implantação de agroflorestas em seu território (Goulart, 2019). A maior parte da base jurídica relacionada aos SAFs e às suas certificações está associada a leis e decretos voltados

à agricultura familiar e ao interesse social, relacionando esses sistemas a modelos de produção alinhados às demandas sociais e aos princípios agroecológicos.

A pesquisa e o ensino relacionados à temática agroflorestal desenvolveram-se como campo científico na década de 1970, embora as técnicas e o manejo agroflorestal estejam associados aos conhecimentos e às práticas de muitos povos indígenas (Bolfé et al. apud Miranda e Rayol, 2023). O estudo dos SAFs é relevante devido ao seu potencial para contribuir com a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, por meio do sequestro de carbono, e para promover um uso mais justo e equilibrado da terra (Silva, 2013; Oliveira et al., 2021).

Diversas pesquisas, com diferentes abordagens metodológicas, têm sido desenvolvidas no Brasil e no mundo, tornando importante reconhecer suas principais vertentes e identificar as lacunas ainda existentes. A análise bibliométrica permite coletar, organizar e analisar informações sobre uma área específica, identificando tendências, lacunas, áreas de estudo e contribuições dentro de um campo científico (Secinaro et al., 2021; Valença, 2023).

A bibliometria é importante para compreender a natureza e a comunicação científica de determinado tema (Wolfram, 2021). Na pesquisa agroflorestal, essa abordagem possibilita analisar a organização e o desenvolvimento da produção científica em diferentes ambientes, condições climáticas e contextos sociais.

Assim, diante da necessidade de ampliar o conhecimento sobre o estado da arte da pesquisa agroflorestal no Brasil e compreender a organização dessa produção científica, este trabalho analisa a estrutura temática, a distribuição geográfica e as tendências da produção científica sobre sistemas agroflorestais no Brasil, no período de 1986 a 2024, identificando áreas de concentração e lacunas na literatura indexada na base The Lens.

2 METODOLOGIA

Este estudo utilizou a análise bibliométrica para mapear e avaliar a produção científica e acadêmica sobre sistemas agroflorestais no Brasil. Foram coletados dados de publicações científicas indexadas na base dados The Lens, utilizando as seguintes

palavras-chave: "agroforestry AND Brazil", utilizando um recorte temporal de 1986 a 2024.

A busca na base de dados expôs um total de 1.224 trabalhos acadêmicos, esses dados bibliográficos foram exportados em arquivo metadados e tratados com o apoio de software específico para a elaboração dos mapas bibliométricos. Ressalta-se que a única restrição utilizada na busca foi a restrição de País/Região no caso foi restringido ao Brasil. O software utilizado para a construção e visualização dos mapas bibliométricos (MB) foi o VOSviewer version 1.6.20, ele utiliza o método VOS (*Visualization of Similarities*) para definir os nós e ligações de sua rede (Araujo e Pimentel, 2024).

Na visualização dos MBs referente às ocorrências de termo dos títulos dos trabalhos, foi utilizado a ocorrência de 10 com o número de termos de 50, já no mapa referente aos resumos foi utilizado a ocorrência de 10 com o número de termos de 100. Na visualização dos mapas as ocorrências são representadas por nomes e por um círculo, o que define o tamanho do círculo é seu o impacto ou seja quanto maior for a sua ocorrência de impacto maior será o círculo. Já o agrupamento de similaridades é apresentado por cores e as linhas representam suas ligações, já a distância das ocorrências representam as conexões dos termos.

Para a confecção dos gráficos foi utilizado o software de código aberto R Core Team (2024), auxiliado com os pacotes dplyr (Wickham *et al.*, 2023) e tidyverse (Wickham *et al.*, 2019) para manipulação dos dados e o pacote ggplot2 (Wickham, 2016) para montagem visual dos gráficos.

A confecção foi feita usando dados brutos, tendo em vista que estes não exigiam análises estatísticas específicas, fazendo basicamente a contagem de ocorrências nas categorias que foram analisadas. Em alguns casos, foi necessário o desmembramento dos dados, principalmente para facilitar a visualização dos resultados. Nestes casos, usou-se os filtros disponíveis nos pacotes dplyr e tidyverse. Nos demais casos, os gráficos foram montados usando apenas o pacote ggplot2.

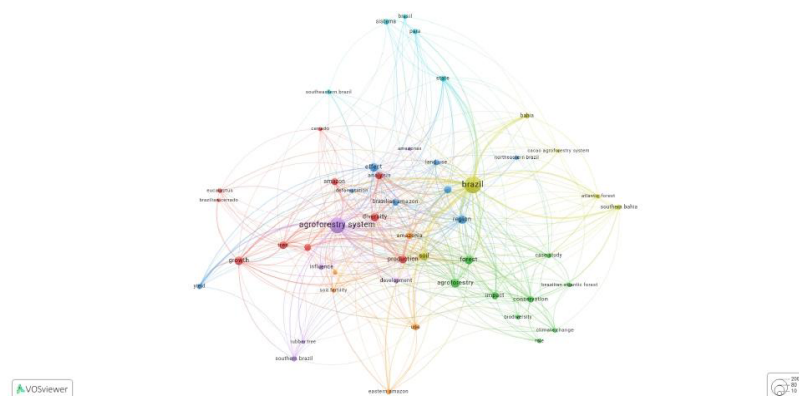
Para a análise optou-se utilizar como critérios: os dados das principais áreas de estudo, tipos de publicações, os principais autores, os principais periódicos, as

principais instituições e as ocorrências de termos nos resumos e nos títulos dos trabalhos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No mapa de ocorrência de termos nos títulos foram identificados sete clusters (Figura 1). Os clusters representam conjuntos de termos frequentemente relacionados na literatura, permitindo identificar as principais temáticas presentes na pesquisa agroflorestal brasileira (Moraes e Kafure, 2020).

Figura 01 - Mapa Bibliométrico de ocorrências de termos nos títulos dos trabalhos



Fonte: Elaboração própria com base em banco de dados da pesquisa.

Os termos “Brasil”, “produção”, “solo” e “uso da terra” indicam uma relação entre os SAFs, a produção e o manejo do território. No Brasil, existem cerca de 490.647 propriedades e 13,9 milhões de hectares ocupados por agroflorestas (IBGE, 2017; Martinelli, 2020), demonstrando a relevância desses sistemas no contexto nacional.

A presença dos termos “sistema agroflorestal”, “eucalipto”, “crescimento”, “Cerrado brasileiro” e “árvore” indica pesquisas relacionadas ao uso de espécies arbóreas e à produção em diferentes condições ambientais. O uso do eucalipto em SAFs pode estar relacionado ao seu valor comercial e à sua contribuição para a

proteção do solo, a fixação de carbono e a amenização das condições climáticas (IBÁ, 2017; Machado, 2022). No Cerrado, a expansão da fronteira agrícola tem aumentado a necessidade de sistemas de manejo mais sustentáveis e de alternativas para a recuperação de áreas degradadas (Ferreira e Lino, 2021; Dias, 2023).

Os termos “floresta”, “conservação”, “biodiversidade” e “alterações climáticas” demonstram a relação da pesquisa agroflorestal com questões ambientais. Os SAFs são estudados como sistemas que podem contribuir para a conservação, o armazenamento de carbono e a oferta de serviços ambientais, principalmente quando associados ao manejo de espécies nativas (Iwata et al., 2014 apud Silva, 2023; Silva, 2020).

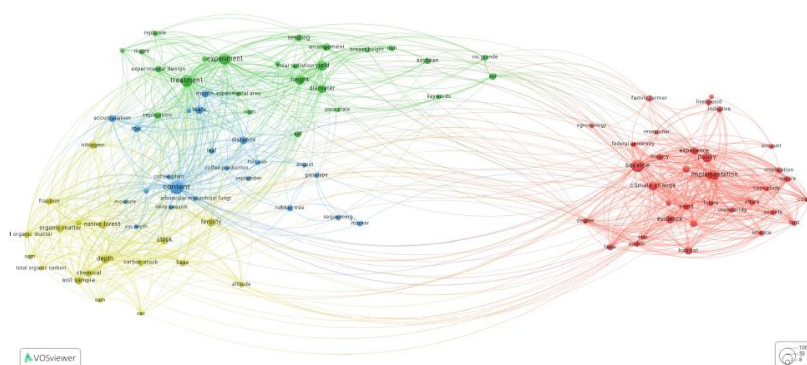
A presença dos termos “Pará”, “Amazônia”, “Amazônia Oriental”, “desmatamento”, “uso” e “fertilidade do solo” demonstra a relevância das pesquisas voltadas aos sistemas agroflorestais na região amazônica. Esses estudos estão relacionados ao uso da terra, à recuperação de áreas degradadas e ao manejo dos solos, considerando que os SAFs podem contribuir para a melhoria de suas propriedades físicas, químicas e biológicas (Wandelli e Cavalcante, 2013; Araújo et al., 2021; Lacerda et al., 2019).

Os termos relacionados ao Sudeste e ao Sul do Brasil indicam a presença de pesquisas voltadas a sistemas produtivos específicos. No Sudeste, a ocorrência de termos relacionados ao café demonstra a importância da cafeicultura no contexto agroflorestal. No Sul, a presença da seringueira indica estudos sobre a influência dessa espécie nas condições ambientais e nos atributos do solo em SAFs (Zaro et al., 2020; Rosisca et al., 2022).

Entre os termos relacionados aos biomas, destacam-se Cerrado, Amazônia e Mata Atlântica. A Caatinga não se apresentou entre os termos de maior ocorrência. Esse resultado não permite afirmar a ausência de pesquisas agroflorestais nesse bioma, pois a recuperação dos documentos depende da cobertura da base, da estratégia de busca e dos termos indexados. Entretanto, sua menor representação indica a necessidade de aprofundar os estudos sobre sistemas agroflorestais adaptados às condições semiáridas e às restrições hídricas (Silva et al., 2021; Bayla e Pietro, 2019).

No mapa de ocorrência de termos nos resumos foram identificados quatro clusters (Figura 2), que complementam as temáticas observadas nos títulos e apresentam aspectos mais específicos das pesquisas analisadas.

Figura 02: Mapa Bibliométrico de ocorrências de termos nos resumos dos trabalhos



az

Fonte: Elaboração própria com base em banco de dados da pesquisa.

Os termos “política”, “implementação”, “evidências” e “tendência” indicam uma temática relacionada às políticas públicas e à implementação dos SAFs. A falta de políticas mais específicas e de uma maior institucionalização do conceito de sistemas agroflorestais pode dificultar a ampliação desses sistemas em maior escala (Silva, 2023).

Os termos “tratamento”, “experimento”, “soja”, “milho”, “altura”, “radiação solar” e “rendimento” demonstram a presença de pesquisas experimentais voltadas à integração de culturas agrícolas nos SAFs. A ocorrência dos termos “Rio Grande” e “Sul” também indica a realização de estudos relacionados a essas culturas na região Sul. O milho pode apresentar importância nas fases iniciais de implantação dos SAFs devido à sua rápida colonização e à interação com as espécies lenhosas (Machado, 2022).

A presença dos termos “planta de café”, “produção de café”, “conteúdo”, “linha” e “acumulação” reforça a importância da cafeicultura na pesquisa agroflorestal. Estudos realizados no Norte do Paraná demonstram que a integração do café aos SAFs pode contribuir para a manutenção de condições térmicas mais estáveis e para a redução da evapotranspiração do solo (Morais et al., 2019).

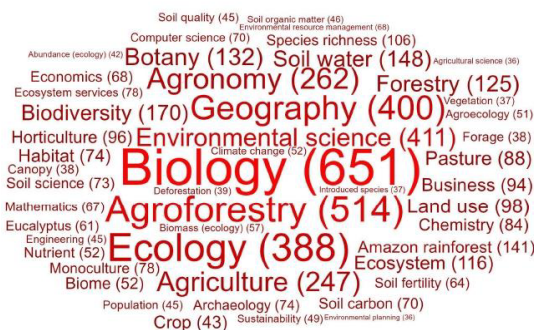
Os termos “matéria orgânica”, “floresta nativa”, “amostra de solo”, “carbono orgânico total”, “nitrogênio”, “fertilidade” e “estoque” indicam uma forte presença de pesquisas relacionadas à qualidade e aos atributos do solo. Esses estudos analisam a manutenção da qualidade do solo e as transformações físicas, químicas e ambientais promovidas pelos SAFs (Silva et al., 2022; Dias, 2023).

A menor ocorrência de termos relacionados aos aspectos socioeconômicos indica uma possível lacuna na pesquisa agroflorestal brasileira. Considerando o potencial de retorno econômico dos SAFs aos produtores, torna-se importante ampliar os estudos voltados à quantificação de seus benefícios econômicos e sociais (Moraes, Amâncio e Resende, 2011).

Também foi observada uma menor presença de termos relacionados às tecnologias digitais e às técnicas de monitoramento. O uso dessas ferramentas pode contribuir para o planejamento, o acompanhamento e a otimização dos sistemas agroflorestais, representando uma possibilidade de avanço para a pesquisa e o manejo desses sistemas no território brasileiro.

As quatro áreas de estudo mais recorrentes nos dados encontrados foram Biologia (651), Agrofloresta (514), Ciência Ambiental (411) e Geografia (400) (Figura 3). A recorrência dessas áreas evidencia o caráter interdisciplinar da pesquisa agroflorestal no Brasil, integrando conhecimentos relacionados aos aspectos ecológicos, ambientais, produtivos e territoriais dos sistemas agroflorestais.

Figura 03 - Nuvem de palavras com as principais áreas de estudo



Fonte: Elaboração própria com base em banco de dados da pesquisa.

A presença da Biologia e da Ciência Ambiental demonstra a importância das relações ecológicas e dos processos ambientais na pesquisa sobre SAFs. No contexto agroflorestal, os conhecimentos biológicos contribuem para a compreensão das interações entre os componentes dos sistemas, incluindo as relações entre plantas, insetos e outros organismos. Costa e Ferreira (2019), por exemplo, analisaram a percepção dos agricultores sobre os insetos presentes nos sistemas produtivos. Dessa forma, a Biologia contribui para a compreensão do funcionamento ecológico dos SAFs e para o desenvolvimento de estratégias de manejo e controle biológico.

A ocorrência da Geografia demonstra a importância da dimensão espacial e territorial na pesquisa agroflorestal. Santana (2021) destaca que a geografia tem uma importância no planejamento espacial de um SAF, destacando a relação homem e o espaço geográfico. Nesse sentido, os sistemas agroflorestais podem ser compreendidos como componentes da gestão territorial e ambiental, relacionando o planejamento do uso da terra ao manejo sustentável da produção (Gavazzi, 2012).

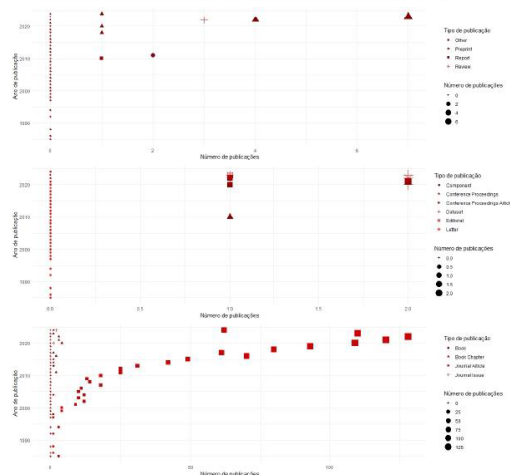
Além das áreas mais recorrentes, a presença de Agronomia (262), Água no Solo (173), Ciência do Solo (73), Carbono no Solo (70), Fertilidade do Solo (64), Matéria Orgânica do Solo (46) e Qualidade do Solo (45) demonstra a relevância dos estudos relacionados aos atributos e à qualidade do solo. A recorrência desses termos indica que o solo constitui um dos principais componentes investigados na pesquisa agroflorestal.

Estudos como os de Melo (2022) e Costa (2021) utilizaram análises físicas e químicas do solo para avaliar diferentes aspectos dos SAFs, incluindo a produção de serviços ambientais, a produção alimentar, a agricultura familiar, a recuperação de áreas degradadas e a fertilidade do solo. Dessa forma, a presença de diferentes áreas relacionadas ao solo demonstra que a pesquisa agroflorestal busca compreender como o manejo desses sistemas influencia as condições e os processos edáficos.

De modo geral, a distribuição das áreas de estudo demonstra que a pesquisa agroflorestal no Brasil não está concentrada em uma única área do conhecimento. A articulação entre Biologia, Ciência Ambiental, Geografia e Agronomia evidencia que os SAFs são estudados como sistemas complexos, envolvendo simultaneamente processos ecológicos, ambientais, produtivos e territoriais.

A maior parte dos trabalhos sobre agroflorestas no Brasil, está concentrada nos últimos 20 anos (Figura 05), indicando que houve um aumento significativo de volume de publicações após os anos 2000.

Figura 05: Gráfico de dispersão de distribuição das publicações ao longo do tempo



Fonte: Elaboração própria com base em banco de dados da pesquisa.

A Figura 5 apresenta a distribuição temporal das publicações sobre agroflorestas entre 1986 e 2024, considerando os diferentes tipos documentais identificados na base de dados. Os resultados foram divididos em três gráficos para facilitar a visualização da evolução das publicações ao longo do período analisado.

Os artigos publicados em periódicos especializados representam a maior parte da produção científica identificada. Nassi-Caló (2023) observou um crescimento das publicações em periódicos na comunidade científica de forma geral, com uma taxa anual de 5,6%. De forma semelhante, os dados desta pesquisa demonstram o aumento da produção científica sobre agroflorestas ao longo do período analisado, destacando a importância dos artigos como principal meio de divulgação do conhecimento científico sobre o tema.

Os demais tipos documentais apresentaram menor ocorrência quando comparados aos artigos científicos. Entre eles, os livros e capítulos de livros se destacaram, principalmente nos últimos dez anos. Também foram identificados preprints, revisões, editoriais, cartas e relatórios, porém em quantidades menos expressivas. A presença desses diferentes tipos documentais demonstra a diversidade dos meios utilizados para a divulgação da pesquisa agroflorestal, embora os artigos científicos permaneçam predominantes.

O período entre 2015 e 2020 apresentou aumento no número de publicações, indicando uma ampliação da produção científica sobre agroflorestas no Brasil. Esse crescimento pode estar relacionado ao aumento do interesse por sistemas produtivos sustentáveis e por pesquisas voltadas à agricultura familiar e às questões ambientais. Embora esse período também tenha sido marcado por políticas públicas relacionadas à agricultura familiar sustentável (Silva, 2023), os dados bibliométricos não permitem afirmar que essas políticas tenham sido responsáveis diretamente pelo aumento das publicações. Dessa forma, essa relação deve ser considerada como uma possibilidade que necessita de análises específicas.

5 CONCLUSÕES

A revisão bibliométrica revela que a pesquisa sobre sistemas agroflorestais vem ganhando relevância no âmbito nacional, refletida pelo crescimento do número de trabalhos ao longo do período analisado. Esse crescimento demonstra uma ampliação da produção científica sobre o tema, podendo estar relacionado ao aumento do interesse por sistemas sustentáveis de produção e pelas questões ambientais e climáticas. Entretanto, os dados analisados não permitem identificar diretamente os fatores responsáveis por esse aumento.

Os temas e as áreas de estudo abordados demonstram a complexidade e a diversidade das agroflorestas, destacando seu caráter interdisciplinar. A presença das áreas de Biologia, Agrofloresta, Ciência Ambiental, Geografia e Ciência do Solo demonstra que os SAFs são estudados a partir de diferentes aspectos ecológicos, ambientais, produtivos e territoriais. Entre os principais temas encontrados, destacam-se o uso da terra, a produção, o manejo e a qualidade do solo, a conservação ambiental e as alterações climáticas. Esses temas estão relacionados ao potencial dos SAFs para contribuir com a recuperação de áreas degradadas, o armazenamento de carbono, a conservação do solo e a oferta de serviços ecossistêmicos.

A produção científica sobre agroflorestas apresenta maior destaque em algumas regiões e biomas, principalmente na Amazônia, no Cerrado, na Mata Atlântica e nas regiões Sudeste e Sul. A menor representação da Caatinga demonstra a necessidade de ampliar as pesquisas sobre sistemas agroflorestais adaptados às condições semiáridas e às restrições hídricas. Nesse contexto, torna-se importante desenvolver estudos que considerem as diferentes condições climáticas, ambientais e edáficas presentes no território brasileiro, destacando a contribuição dos conhecimentos geográficos, biogeográficos e da geografia física para o planejamento e o desenvolvimento dos SAFs.

A predominância dos artigos científicos demonstra a importância dos periódicos como principal meio de divulgação da pesquisa agroflorestal. A menor ocorrência de trabalhos relacionados aos impactos socioeconômicos dos SAFs representa uma importante lacuna na pesquisa agroflorestal brasileira. A ampliação de estudos sobre os efeitos econômicos e sociais desses sistemas pode contribuir para compreender

seus impactos nas comunidades, na geração de renda e nas condições de produção dos agricultores. A falta de pesquisas nessa área limita a compreensão dos diferentes benefícios que os SAFs podem apresentar.

De modo geral, esta revisão bibliométrica da pesquisa agroflorestal brasileira demonstra a existência de um campo científico em crescimento, com importantes avanços relacionados à compreensão dos aspectos ambientais, ecológicos, produtivos e territoriais dos SAFs. Entretanto, para fortalecer o desenvolvimento e a aplicação desses sistemas, torna-se necessário ampliar as pesquisas em regiões e biomas menos representados, aprofundar os estudos socioeconômicos e incorporar tecnologias de monitoramento e gestão. Dessa forma, a continuidade e o fortalecimento das pesquisas nesse campo são importantes para ampliar o conhecimento sobre os SAFs e contribuir para o desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis e integrados.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Nayara Nazaré Arraes et al. Estoque de nutrientes e retenção hídrica da liteira em três ecossistemas florestais da Amazônia oriental brasileira. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.12083>.

ARAÚJO, Andressa Clara Barbosa de; PIMENTEL, Cristiane Agra. Estudo prospectivo sobre o uso da tecnologia e do lean thinking em saúde. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, Espírito Santo, Brazil, v. 10, n. 3, p. 81–92, 2024. DOI: 10.47456/bjpe.v10i3.44666. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/44666>. Acesso em: 12 ago. 2024.

BAYALA, Jules; PRIETO, I. Water acquisition, sharing and redistribution by roots: applications to agroforestry systems. **Plant and Soil**, v. 453, p. 17-28, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-019-04173-z>. Acesso em: 19 ago. 2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2011. Resolução, n. 429, de 28 de Fevereiro de 2011. Dispõe sobre a metodologia de recuperação das Áreas de Preservação Permanente-APPs. Publicada no DOU, n. 43. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0429-280211.PDF>. Acesso em: 22 abr. 2024.

COSTA, Luan Hamon. Evolução da fertilidade do solo sob uso agroflorestal e outros usos em assentamentos rurais da reforma agrária. 2021. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2021. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/7856>. Acesso em: 12 ago. 2024.

COSTA, Adriana Alves; FERREIRA, Josieli dos Santos Silva. Percepções de agricultores sobre a importância do manejo e controle das moscas-das-frutas na Comunidade de Ponta Grossa, Distrito de São Joaquim do Pacuí-AP. Orientador: Lailson do Nascimento Lemos. 2019. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Educação do Campo) – Campus de Mazagão, Universidade Federal do Amapá, Mazagão, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unifap.br:80/jspui/handle/123456789/285>. Acesso em: 17 ago. 2024.

DIAS, Joelma Costa. Caracterização dendrométrica, biomassa e estoque de carbono de um sistema agroflorestal no bioma cerrado. 2023. 62 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) — Universidade de Brasília, Brasília, 2023. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/39120>. Acesso em: 12 ago. 2024.

FERREIRA, Rildo Mourão; LINO, EN da S. Expansão Agrícola no Cerrado: O desenvolvimento do Agronegócio no Estado de Goiás entre 2000 a 2019. **Caminhos de Geografia** Uberlândia-MG, v. 22, p. 01-17, 2021. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/51217/30982>. Acesso em: 12 ago. 2024.

GAVAZZI, R. A. Agrofloresta e cartografia indígena: a gestão territorial e ambiental nas mãos dos agentes agroflorestais indígenas do Acre. [s.l.] Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA), 2015. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-25102012-121716/en.php>. Acesso em: 12 ago. 2024.

GOUIART, A. G. Modelo de sistema agroflorestal como alternativa de uso do solo em áreas em processo de arenização em São Francisco de Assis - RS. 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/206818>. Acesso em: 15 jun. 2024.

H. Wickham. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. **Springer**, Verlag, New York, 2016.

LACERDA, Victor Fernando Teixeira de et al. SISTEMA AGROFLORESTAL NA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA NA REGIÃO DO ALTO VALE DO ITAJAÍ/SC. **Anais da Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar (MICTI)**-e-ISSN 2316-7165, v. 1, n. 12, 2019. Disponível em:

<https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/micti/article/download/1623/1185>. Acesso em: 19 ago. 2024.

LENS. Lens.org. Disponível em: <https://www.lens.org/>. Acesso em: 03 ago. 2024.

MACHADO, Matheus Saad. Manejo agroflorestal sintrópico para produção de milho orgânico (*Zea mays* spp. *mays* L.) consorciado com os capins Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv. Mombaça) e Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu). 2022. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: <http://www.realp.unb.br/jspui/handle/10482/45885>. Acesso em: 13 ago. 2024.

MARTINELLI, João Victor. Os sistemas agroflorestais no Brasil : abordagem conceitual, ecológica e socioeconômica. 2020. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2020. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/5085>. Acesso em: 12 ago. 2024.

MIRANDA, Izildinha Souza; RAYOL, Breno Pinto. A EVOLUÇÃO DO ENSINO E PESQUISA AGROFLORESTAL NO BRASIL. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 61-80, 2023. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rbagroecologia/article/view/49921>. Acesso em: 17 jul. 2024.

MORAES, L. F. D. de; AMÂNCIO, C. O. da G.; RESENDE, A. S. de. Sistemas agroflorestais para o uso sustentável do solo: considerações agroecológicas e socioeconômicas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2011. 28 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 281/2011). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921121/1/DOC28111.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2024.

MORAES, L. L. DE .; KAFURE, I.. Bibliometria e ciência de dados um exemplo de busca e análise de dados da Web of Science (WoS). **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v. 18, p. e020016, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/rdbci/a/WkSBdJB9zNjc7zhx7CHqBcJ/?lang=pt#>. Acesso em: 12 ago. 2024.

Moraes, H., André, J., Souza, M. A., & Costa, A. B. F. Caracterização microclimática de sistema agroflorestal de café e seringueira. In X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 8 a 11 de outubro de 2019, Vitória – ES. Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café. Disponível em: <http://sbicafe.ufv.br/handle/123456789/12548>. Acesso em: 13 ago. 2024.

NASSI-CALÓ, Lilian. A comunidade científica está publicando muito mais, e isso é um problema?. **SciELO em Perspectiva**. 29 nov. 2023. Disponível em: <https://blog.scielo.org/blog/2023/11/29/a-comunidade-cientifica-esta-publicando-muito-mais-e-isso-e-um-problema/>. Acesso em: 11 ago. 2024.

In: **PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.)**. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF : Embrapa, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024363>. Acesso em: 13 ago. 2024.

R Core Team (2024). **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

ROSISCA, Juliandra Rodrigues et al. Thermal environment in an agroforestry system of coffee and rubber tree in Southern Brazil. **Agrometeoros**, v. 30, 2022. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/26934>. Acesso em: 14 ago. 2024.

SANTANA, Wallace Matheus de et al. Contribuições do sistema agroflorestal para o desenvolvimento da agricultura sustentável no município de Abreu e Lima. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/725>. Acesso em: 12 ago. 2024.

SECINARO, S. et al. Social finance and banking research as a driver for sustainable development: A bibliometric analysis. **Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 330, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/1/330>. Acesso em: 11 ago. 2024.

SILVA, F. D. O. Avaliação da produção de serviços ambientais dos sistemas agroflorestais (SAFs) do município de Teresina - Piauí. 2023. 130 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, Teresina, 2023. Disponível em: <http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/handle/123456789/2726>. Acesso em: 12 ago. 2024.

SILVA, Francisco Dionata de Oliveira; SILVA NETA, Naide de Lucas da; SILVA, Antônio Joaquim da; IWATA, Bruna de Freitas. Análise das políticas públicas voltadas à agricultura e manejo sustentável do solo, no Médio Federal e no estado do Piauí nos últimos 15 anos. **Revista Brasileira de Análise e Planejamento Espacial**, [S. l.], v. 2, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.51361/rebrape.v2i1>. Acesso em: 16 ago. 2025.

SILVA, Fredson Pereira da et al. Bioma Caatinga: uma análise em livros didáticos de Geografia. **Sertão Nordestino**, p. 127. Disponível em: <https://simposionepest.wordpress.com/wp-content/uploads/2021/12/volume-iii-digital.pdf#page=127>. Disponível em: 14 ago. 2024.

VALENÇA, A. K. A. Metodologias ativas no ensino de engenharia: uma revisão bibliométrica. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 4982, 2023. DOI: 10.14488/1676-1901.v23i2.4982. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/4982>. Acesso em: 15 ago. 2024.

WANDELLI, Elisa Vieira; CAVALCANTE, Darssullem Araújo. Efeito do plantio agroflorestal adensado de espécies arbóreas na eliminação da vegetação secundária herbácea de pastagens degradadas. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/979495/1/ElisaWandelliefetodoplantioagroflorestaladensado.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2024.

Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, McGowan LD, François R, Golemund G, Hayes A, Henry L, Hester J, Kuhn M, Pedersen TL, Miller E.; Bache SM, Müller K, Ooms J, Robinson D, Seidel DP, Spinu V, Takahashi K, Vaughan D, Wilke C, Woo K, Yutani H. "Welcome to the tidyverse." **Journal of Open Source Software**, 4(43), p.1686, 2019.

WICKHAM H.; FRANÇOIS R.; HENRY L.; MÜLLER K.; VAUGHAN D. **dplyr: A Grammar of Data Manipulation**. R package version 1.1.4, 2023.

WOLFRAM, Dietmar. O PAPEL DA BIBLIOTECA ACADÊMICA NA PROMOÇÃO EFETIVA DA COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA E DAS APLICAÇÕES BIBLIOMÉTRICAS PARA A AVALIAÇÃO DAS PESQUISAS. **Tópicos da bibliometria para bibliotecas universitárias**, p. 14, 2020. Disponível em: https://ebooks.marilia.unesp.br/index.php/lab_editorial/catalog/view/187/673/1766. Acesso em: 12 ago. 2024.

ZARO, Geovanna C. et al. Carbon sequestration in an agroforestry system of coffee with rubber trees compared to open-grown coffee in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 94, p. 799-809, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-019-00450-z>. Acesso em: 14 ago. 2024.