



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

MARIA LETÍCIA STEFANY MONTEIRO BRANDÃO

ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA

FORTALEZA

2023

MARIA LETÍCIA STEFANY MONTEIRO BRANDÃO

ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Bruna de Freitas Iwata.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B818e** Brandão, Maria Leticia Stefany Monteiro.
Estoque de carbono em floresta tropical sazonalmente seca / Maria Leticia Stefany Monteiro Brandão. –
2024.
104 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação
em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes.
Coorientação: Prof. Dr. Bruna de Freitas Iwata.
1. Caatinga. 2. Sucessão secundária. 3. Serviços ecossistêmicos. 4. Semiárido. 5. Ciclagem de
nutrientes. I. Título.

CDD 577

MARIA LETÍCIA STEFANY MONTEIRO BRANDÃO

ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Aprovada em: 30/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Deodato Nascimento Aquino
Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA)

Prof. Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rafael Carvalho da Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico à minha mãe Sueli Brandão de Oliveira, dona de todas as minhas conquistas, que se dedicou à minha formação e não mediu esforços para que este estudo fosse concluído com êxito e qualidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da minha vida. Aos meus pais, pelo apoio, dedicação e todo esforço para realização dessa etapa da minha vida. Ao meu namorado Júlio Sergio pela gentileza e paciência.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001, pelo apoio financeiro durante a realização da pesquisa. Agradeço a Universidade Federal do Ceará – UFC, por me acolher e conceder conhecimentos e oportunidades.

Agradeço imensamente a todos os professores do curso de Pós-graduação em ecologia recursos naturais, e aos professores do Departamento de Engenharia agrícola em especial Profa. Isabel Cristina por todo conhecimento e experiências compartilhados.

As minhas amigas de infância Mariana e Manu, e as minhas amigas da graduação pra vida Elane e Elicamila, por me escutarem e torcerem pelo meu sucesso.

Ao grupo de pesquisa MASSA, em especial aos amigos que estiveram diretamente me auxiliando e apoiando para construção desta pesquisa, Fredson Bezerra, Josivan Lima, Melina, Erika Roanna, Ray, Elisa e Thiago. Ao grupo de pesquisa IQAm-IFPI, em nome da Karoline Almeida. Muito obrigada a todos por toda ajuda nas etapas da pesquisa tanto no laboratório como em campo.

Aos funcionários da FEVC, em especial aqueles com quem eu tive contato diário, Ju, Iara, Gleice, Seu José Amilton, Vladimir, Cícero, Francivalda, Aninha, Iron e José Airton. E aos funcionários do Departamento de Engenharia agrícola em especial a Aninha e Arnaldo.

Aos meus queridos amigos da turma do mestrado, Gyrliane Sales, Fernanda Feitosa, Jean Vale. Ao meu amigo e companheiro Fosco, por toda parceria durante a pesquisa de campo, laboratório e vida de pós graduação.

Por último, mas com nível de importância suprema, quero agradecer ao meu orientador, Prof. Fernando Bezerra Lopes por todo apoio durante a pesquisa e a minha coorientadora Profa. Bruna Iwata por toda paciência, apoio e parceria em mais uma etapa da minha vida.

“O que fazemos ao solo, fazemos a nós
mesmos.” (Vandana Shiva, 1993).

RESUMO

Os ecossistemas são responsáveis pelo sustento da vida humana e suas diversas atividades através da provisão de serviços ecossistêmicos. As Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) são conhecidas como um dos principais biomas do mundo. Estes ambientes sofrem com as atividades antrópicas, o desmatamento agrava ainda mais a degradação desses ecossistemas. Uma das problemáticas a ser considerada sobre o mau uso do solo são as emissões de gases do efeito estufa (GEE) que influenciam diretamente o balanço energético da atmosfera. Portanto, quantificar as mudanças temporais relacionadas aos estoques de biomassa e carbono é fundamental para a compreensão da dinâmica do ciclo carbono em FTSS. O primeiro capítulo trata de compreender o comportamento da estocagem de Carbono na vegetação de FTSS, tem como objetivo geral avaliar a produção de biomassa e estimar o estoque de C presente na vegetação arbustiva-arbórea de dois remanescentes de Caatinga. O segundo capítulo abordou o estoque de carbono em diferentes compartimentos, e teve como objetivo geral estimar a necromassa (serapilheira e árvores mortas) e o estoque de carbono de diferentes compartimentos de dois fragmentos de Caatinga. O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC) no município de Pentecoste, região semiárida do estado do Ceará. Foram definidas duas áreas onde cada área possui sete parcelas permanentes com dimensões de 10 x 20 m. Foi feita a quantificação de todas as plantas arbustivo-arbóreas vivas e mortas, foram alocados também 10 coletores de serrapilheira em cada área. Para todos os compartimentos estudados (árvores vivas, necromassa e solo) o C total estocado na área I foi de 118,79 Mg ha⁻¹ e 102,68 Mg ha⁻¹ na área II. Uma diferença de 13,5% entre as duas áreas no ano de 2022. Independentemente das áreas, o maior estoque de C está armazenado no solo. A serrapilheira apresentou menor estoque de C, seguida da necromassa de caules. A área I que está em sucessão secundária a 37 anos possui um estoque de carbono maior que a área II sob pastejo.

Palavras-chave: caatinga; sucessão secundária; serviços ecossistêmicos; semiárido.

ABSTRACT

Ecosystems are responsible for supporting human life and its diverse activities through the provision of ecosystem services. Seasonally dry tropical forests (SDTFs) are known as one of the main biomes in the world. These environments suffer from anthropogenic activities; deforestation further aggravates the degradation of these ecosystems. One of the problems to be considered about the misuse of land is the emissions of greenhouse gases (GHGs) that directly influence the energy balance of the atmosphere. Therefore, quantifying temporal changes related to biomass and carbon stocks is essential for understanding the dynamics of the carbon cycle in FTTS. The first chapter deals with understanding the behavior of carbon storage in FTTS vegetation, with the general objective of evaluating biomass production and estimating the C stock present in the shrub-tree vegetation of two Caatinga remnants. The second chapter addressed the carbon stock in different compartments, and had the general objective of estimating the necromass (litter and senescent stems) and the carbon stock of different compartments of two Caatinga fragments. The study was carried out at the Vale do Curu Experimental Farm (FEVC) in the municipality of Pentecoste, semiarid region of the state of Ceará. Two areas with different land use were defined, each area with seven permanent plots with dimensions of 10 x 20 m. The quantification of all living and dead shrub-tree plants was carried out, and 10 litter collectors were also allocated in each area. For all the compartments studied (live trees, necromass, and soil), the total C stored in area I was 118.79 Mg ha⁻¹ and 102.68 Mg ha⁻¹ in area II. A difference of 13.5% between the two areas in the year 2022. Regardless of the areas, the largest C stock is stored in the soil. The litter presented the lowest C stock, followed by the tree necromass. Area I, which is in secondary succession for 37 years, has a higher carbon stock than area II under grazing.

Keywords: caatinga biome; Secondary succession; ecosystem services; semiarid

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Localização das FTSS no mundo	16
Figura 2	– Mapa de localização geográfica de dois fragmentos de Caatinga, Ceará Brasil. Área I que está sob estágio de sucessão secundária e Área II sob pastejo	31
Figura 3	– Linha cronológica com o uso da área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos, Fazenda Experimental Vale do Curu	32
Figura 4	– Linha cronológica com o uso da área II sob pastejo, Fazenda Experimental Vale do Curu	32
Figura 5	– Dados de precipitação pluviométrica obtidos na estação meteorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu referente aos anos de (2016-2022)	33
Figura 6	– Vegetação de dois fragmentos de Caatinga, (A) e (B) área I; (C) e (D) área II	34
Figura 7	– Levantamento da circunferência à altura da base (CAB) e registro em planilha	35
Figura 8	– Representação gráfica da suficiência amostral das espécies inventariadas, nas áreas I e II, Fazenda Experimental Vale do Curu.....	38
Figura 9	– Curva de amostragem de rarefação e extrapolação baseada no tamanho da amostra de dois fragmentos de Caatinga em diferentes anos, Ceará Brasil	45
Figura 10	– Estoque de biomassa em dois fragmentos de Caatinga (2016-2022) ...	46
Figura 11	– Distribuição da biomassa acima do solo em diferentes classes de diâmetro nas áreas I e II, Ceará-Brasil	47
Figura 12	– Estoque de Carbono acima do solo dos anos de 2016 e 2022, na área em sucessão secundária e área II sob pastejo, Fazenda Experimental Vale do Curu, Ceará-Brasil	48

Figura 13	–	Estoque de C das espécies inventariadas na área I e área II no ano 202 (A), e no ano de 2016 (B) em dois fragmentos de Caatinga, Ceará Brasil	50
Figura 14	–	Mapa de localização de dois fragmentos de Caatinga, Ceará, Brasil Área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e Área II sob pastejo	66
Figura 15	–	Dados de precipitação pluviométrica obtidos na estação meteorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu referente aos anos de (2016 2022).	67
Figura 16	–	Coleta de serrapilheira em coletores de 1m x 1m em dois fragmento de Caatinga, Ceará, Brasil. Área I que está sob estágio de sucessã secundária há 38 anos e Área II sob pastejo	68
Figura 17	–	Moinho tipo Willey	69
Figura 18	–	Coleta de serrapilheira em coletores de 0,5 m x 0,5 m em doi fragmentos de Caatinga, Ceará, Brasil. Área I que está sob estágio d sucessão secundária há 37 anos e Área II sob pastejo	70
Figura 19	–	Coleta de solo nas três profundidades em dois fragmentos de Caatinga Ceará, Brasil. Área I que está sob estágio de sucessão secundária há 3 anos e Área II sob pastejo	72
Figura 20	–	Precipitação pluviométrica mensal e deposição de serrapilheira em fragmentos de Caatinga, Área I que está sob estágio de sucessã secundária há 37 anos e Área II sob pastejo	74
Figura 21	–	Densidade de plantas mortas em dois fragmentos de Caatinga, área que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e área II so pastejo	77
Figura 22	–	Distribuição do número de indivíduos mortos por classe de diâmetr superior 2 cm (A), classe de altura superior 1 m (B), em doi fragmentos de Caatinga, área I que está sob estágio de sucessã secundária há 37 anos e área II sob pastejo	78

Figura 23	– Necromassa arbórea em dois fragmentos de Caatinga (2016-2022), área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e área II sob pastejo	79
Figura 24	– Estoque de carbono da necromassa arbustiva arbórea de dois fragmentos de caatinga, área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e área II sob pastejo	80
Figura 25	– Estoque de carbono em diferentes compartimentos em dois fragmentos de Caatinga, Ceará, Brasil. Área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e Área II sob pastejo	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Tipo de Serviço ecossistêmico segundo Costanza et al. (1997)	20
Quadro 2	– Classificação dos serviços ecossistemas conforme Groot et al (2002)	21
Quadro 3	– Tipo de Serviço ecossistêmico segundo a Avaliação Ecossistêmica d Milênio (MEA, 2005)	22
Quadro 4	– Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmico (CICES, 2010)	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Relação e parâmetros fitossociológicos de espécies encontradas na área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos (2016-2022).....	41
Tabela 2	– Relação e parâmetros fitossociológicos de espécies encontradas na área II sob pastejo (2016-2022)	43
Tabela 3	– Índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') dois fragmentos de Caatinga em diferentes anos, Ceará, Brasil	46
Tabela 4	– Atributos físicos do solo de dois fragmentos de caatinga	70
Tabela 5	– Decomposição de serrapilheira em fragmentos de Caatinga, área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e área II sob pastejo Coeficiente de decomposição (k), tempo médio de renovação ($1/k$) tempos necessários para a decomposição de 50% e 95% da serrapilheira acumulada	77
Tabela 6	– Relação de espécies mortas encontrada na área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e na área II sob pastejo	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	Carbono
CAB	Circunferência na altura da base
CICES	<i>Common International Classification of Ecosystem Services</i>
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COS	Carbono orgânico do solo
COT	Carbono orgânico total
Cm	Centímetros
DO	Dominância
DR	Densidade Relativa
FAO	Food and Agriculture Organization
FEVC	Fazenda Experimental do Vale do Cúru
FR	Frequência Relativa
FTSS	Floresta Tropical Sazonalmente Secas
GEE	Gases do efeito estufa
ha	Hectares
IVI	Índice do valor de importância
IVC	Índice do valor de cobertura
m	Metros
Mg	Megagrama
N	Número de indivíduos
NI	Não identificadas
NV	Nome Vernacular
SE	Serviços ecossistêmicos
SA	Serviços ambientais
ZEG	Zona Ecológica Global

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°	Graus
<	Menor do que
>	Maior do que

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Floresta Tropical Sazonalmente Seca e os Serviços Ecossistêmicos	18
2.2	Definição de Serviços Ecossistêmicos	19
2.2.1	<i>Classificações dos Serviços Ecossistêmicos</i>	20
2.3	Estoque de Carbono	24
3	ATRIBUTOS FITOSSOCIOLÓGICOS E ESTOQUE DE CARBONO DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA	29
3.1	Introdução	31
3.2	Material e Métodos	33
3.2.1	<i>Caracterização da área de estudo</i>	33
3.2.2	<i>Clima</i>	34
3.2.3	<i>Vegetação</i>	35
3.2.4	<i>Solos</i>	36
3.2.5	<i>Amostra da vegetação</i>	37
3.2.6	<i>Estimativa dos atributos fitossociológicos e diversidade de espécie</i>	38
3.2.7	<i>Carbono e biomassa acima do solo</i>	38
3.2.8	<i>Análise estatística</i>	39
3.3	Resultados e Discussão	40
3.3.1	<i>Atributos fitossociológicos e diversidade de espécies</i>	40
3.3.2	<i>Estoques de Carbono da biomassa acima do solo</i>	47
3.4	Conclusão	55
4	ESTOQUE DE CARBONO EM FRAGMENTOS DE FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA	64
4.1	Introdução	66
4.2	Material e Métodos	68
4.2.1	<i>Caracterização da área de estudo</i>	68
4.2.2	<i>Clima</i>	69
4.2.3	<i>Vegetação</i>	69
4.2.4	<i>Solos</i>	69

4.2.5	<i>Coleta e amostragem de Serrapilheira</i>	70
4.2.6	<i>Decomposição da Serrapilheira</i>	72
4.2.7	<i>COT da serrapilheira</i>	73
4.2.8	<i>Necromassa da vegetação aérea e estoque de Carbono</i>	73
4.2.9	<i>Coleta e amostragem de Solos</i>	74
4.2.10	<i>COT do solo e estoque de C</i>	74
4.2.11	<i>Análise estatística</i>	75
4.3	Resultados e Discussões	76
4.3.1	<i>Deposição, decomposição e carbono de serrapilheira</i>	76
4.3.2	<i>Necromassa Arbustiva Arbórea</i>	77
4.3.3	<i>Estoque de carbono orgânico total no solo</i>	82
4.3.4	<i>Estoque de carbono total (árvores vivas, solos, necromassa arbórea e de serrapilheiras)</i>	83
4.4	Conclusão	85
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas são responsáveis pelo sustento da vida humana e suas diversas atividades através da provisão de serviços ambientais e ecossistêmicos (SILVA, 2016; CARRILHO, 2016). As Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) são conhecidas como um dos principais biomas do mundo. Na América do Sul, o domínio Caatinga localizado no Nordeste brasileiro caracteriza-se por ser a única grande área contínua deste tipo de floresta (QUEIROZ *et al.*, 2019; TABARELLI *et al.*, 2023).

No mundo, FTSS incluem uma variedade de tipos de vegetação que diferem na cobertura da copa, no nível de deciduidade, tipo de solos (TABARELLI *et al.*, 2023). No Brasil, a Caatinga cobre uma área aproximadamente do tamanho da França e caracteriza-se por ter uma vegetação decídua que é regularmente derrubada e usada para lenha. Após o desmatamento, a terra é utilizada geralmente para agricultura (BEZERRA *et al.*, 2023). Logo após, a terra fica em pousio e a regeneração florestal começa, uma prática que causa uma grave perda de estocagem de carbono (ARAÚJO *et al.*, 2018; BEZERRA *et al.*, 2023).

Uma das problemáticas a ser considerada sobre o mau uso do solo são as emissões de gases do efeito estufa (GEE) que influenciam diretamente o balanço energético da atmosfera. Assim, a proteção dos ecossistemas, por meio de áreas naturais, é fundamental para aumentar a resiliência e a recuperação, e diminuir os impactos na sociedade e na biodiversidade (MATA *et al.*, 2015; BUCHIANERI, 2017).

Portanto, reforça-se a necessidade de ampliar as pesquisas para detectar as muitas causas da perda de biodiversidade, pois quando são conhecidas as utilidades de um ecossistema a natureza e a magnitude do seu valor para o ser humano, fornece-se a base empírica para a classificação de aspectos úteis para a sociedade (ZAMBONI, 2020; NUNES; SOUZA FILHO, 2020).

Assim, quantificar as mudanças temporais relacionadas aos estoques de biomassa e carbono é fundamental para a compreensão da dinâmica do ciclo carbono em FTSS (CASTRO-MAGNANI *et al.*, 2021; DAR *et al.*, 2023) bem como, avaliar o sucesso das políticas de conservação florestal (LEITE; ANGUITA, 2017). Nesse sentido, esse estudo buscou estudar a estocagem de carbono de uma Floresta Tropical Sazonalmente Seca.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

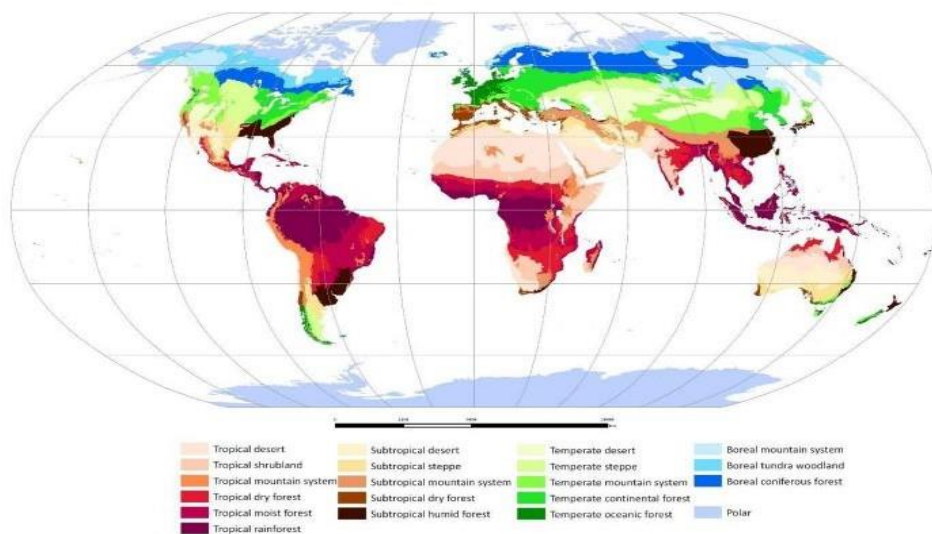
Esta revisão de literatura foi dividida em 4 seções: I) Floresta Tropical Sazonalmente Seca e os Serviços Ecosistêmicos; II) Definição de Serviços Ecosistêmicos; III) Classificações dos Serviços Ecosistêmicos; IV) Estoque de Carbono.

2.1 Floresta Tropical Sazonalmente Seca e os Serviços Ecosistêmicos

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (2013), definiu as florestas tropicais secas como uma Zona Ecológica Global (ZEG), e define as florestas tropicais secas, as que se enquadram em clima tropical, com chuvas de verão, com precipitação anual variando de 500 a 1.500 milímetros (FAO, 2013). E embora careça de um conceito unificado, as florestas tropicais secas desempenham um papel importante global devido à sua imensa biodiversidade e ao apoio à subsistência através de serviços ecosistêmicos (CASTRO-MAGNANI *et al.*, 2021; CÁRDENAS CAMACHO *et al.*, 2021; TAMBARELLI *et al.*, 2023).

As florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) compreendem um bioma globalmente extenso, presente em cinco continentes (Figura 1). Dentro das FTSS está inserido o bioma Caatinga, sendo a maior e mais contínua área do bioma das FTSS, como também a área de maior riqueza de espécies (FERNANDES; QUEIROZ, 2018).

Figura 1 – Localização das FTSS no mundo.



Fonte: FAO (2013).

As plantas das FTSS conseguiram desenvolver uma adaptação para sobreviver às condições altas de temperaturas e baixas precipitações. A característica mais marcante das plantas é a deciduidade que são da maior parte de suas árvores e arbustos (FERNANDES; QUEIROZ, 2018). Atrelado a isso, as árvores são fundamentais em áreas de FTSS, pois além de protegerem o solo e os animais dos raios solares, providenciam alimentos por meio de folhas e frutos, além de ofertar chás medicinais, lenha para comunidades (FAO, 2016) e por concentrar e fixar C nas folhas, raízes e no caule (SILVA *et al.*, 2022).

Todavia, as FTSS fornecem diversos SE, e possuem um papel importante para a manutenção e funcionamento de processos ecológicos (BELLÉ *et al.*, 2022; TABARELLI *et al.*, 2023). As FTSS também são conhecidas por desempenhar um papel importante no ciclo global do carbono, funcionando como um sumidouro constante do C atmosférico. Ainda assim, são os ecossistemas mais ameaçados por ações antrópicas no mundo (SCHULZ *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2022).

2.1 Definição de Serviços Ecossistêmicos

Na literatura, existem dois termos, Serviços Ambientais (SA) e Serviços Ecossistêmicos (SE) (OUVERNEY *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018). Os SA se referem aos serviços prestados por agentes públicos ou privados, que são responsáveis pela prevenção de danos aos SE, já os SE se trata das utilidades dos ecossistemas que possuem grande relevância na preservação, recuperação e melhoria da natureza (PEIXOTO, 2011). Os SA podem ser compreendidos como uma vantagem que a sociedade recebe da natureza, existindo assim uma distinção conceitual entre SA e SE (SILVA, 2019).

Segundo Potschin e Haines-Young (2011) o conceito de SE desafia os conhecimentos convencionais sobre a conservação e o valor da natureza e é impulsionado tanto por agendas políticas como por agendas científicas. De acordo com a lei nº 14.119/21, os SE refere-se aos benefícios que são importantes para a sociedade, que são concebidos pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais. A lei divide os SE em quatro modalidades, que são os serviços de provisão, regulação, suporte e cultural.

O conceito de SE avançou das alterações nos ecossistemas com relação à permanência e a continuidade da vida na terra, para incluir também aspectos socioeconômicos ao componente ambiental (FERRAZ *et al.*, 2019). Segundo Sinisgalli e Sousa Jr. (2020), o termo de SE foi determinado para ressaltar a importância dos fluxos de matéria e energia provenientes dos ecossistemas, visando a preservação e manejo adequado.

2.1.1 Classificações dos Serviços Ecossistêmicos

As classificações dos serviços ecossistêmicos (SE) na literatura estão descritas logo abaixo conforme levantamento teórico realizado e descrito na Quadro 1 (COSTANZA *et al.*, 1997; GROOT *et al.*, 2002; MEA, 2005; FARBER *et al.*, 2006; CICES, 2010). Destaca-se que no ano de 1997, Costanza *et al.* (1997) deram início à primeira classificação de SE. Criando 17 serviços ecossistêmicos considerando as funções ecossistêmicas, entretanto, sem uma organização categórica.

Quadro 1 – Tipo de Serviço ecossistêmico segundo Costanza et al. (1997).

Tipo de Serviço ecossistêmico	Função Ecossistêmica	Exemplos
Regulação de Gases	Regulação da composição química atmosférica	Balanço de CO ₂ /O ₂ , O ₃ para proteção UVB e níveis de SO ₂
Regulação do Clima	Regulação de temperatura global, precipitação e outros processos climáticos de mediação biológica em nível local ou global	Regulação de GEE, produção de DMS influenciando a formação de nuvens
Regulação de Eventos Climáticos	Resistência e resiliência dos ecossistemas para minimizar alterações ambientais	Proteção contra tempestades, controle de enchentes, resiliência a secas e outras respostas dos habitats às variações ambientais, devido principalmente à integridade estrutural da vegetação
Regulação da Água	Regulação do fluxo hidrológico	Provisão de água para uso na agricultura, processos industriais ou transportes
Suprimento de Água	Retenção e armazenamento de água no ambiente	Provisionamento de água por bacias hidrográficas, reservatórios e aquíferos
Controle de Erosão e Retenção de Sedimento	Retenção de solo nos ecossistemas	Prevenção da perda de solo por vento, escoamento ou outros processos de remoção. Armazenamento de sedimentos finos em lagos e áreas úmidas
Formação e Estruturação de Solos	Processo de formação e estruturação de solos	Intemperismo de rocha e acúmulo de matéria orgânica
Ciclagem de Nutrientes	Armazenamento, ciclagem interna, processamento de nutrientes	Fixação de nitrogênio, fósforo e outros elementos
Tratamento do Lixo	Recuperação de nutrientes, remoção ou decomposição de excesso de bactérias em nutrientes e outros compostos	Tratamento de resíduos, controle de poluição e desintoxicação
Polinização	Trocas genéticas	Disponibilização de polinizadores para a reprodução de espécies vegetais
Controle Biológico	Regulação morfodinâmica de espécies	Predadores naturais são vitais para controle de espécies-presas, redução de herbívoros por predadores de topo de cadeia

Refúgios	Habitats de populações residentes ou migratórias	Ninhais, habitats regionais para espécies colhidas ou caçadas localmente
Produção de Alimentos	Parte da taxa de produção primária da base alimentar	Produção de peixes, grãos, carne, frutos, decorrentes de caça, coleta, pesca ou agricultura de subsistência
Matéria-prima	Parte da taxa de produção primária de matérias básicas	Madeira, combustível ou alimento para gado
Recursos Genéticos	Fonte de materiais e produtos biológicos	Medicamentos, produtos para ciência, manipulação genética para variedades de plantas resistentes a patógenos, espécies ornamentais
Recreação	Provisão de oportunidades para atividades recreativas	Ecoturismo, pesca esportiva e outras atividades recreacionais ao ar livre
Cultural	Provisão de oportunidades para usos não comerciais	Valor estético, artístico, educacional e espiritual dos ecossistemas

Fonte: Costanza *et al.* (1997) (adaptado).

Groot *et al.* (2002), identificaram 23 serviços ecossistêmicos, adaptando a classificação de Costanza *et al.* (1997), classificando-os de acordo com funções, processos ou componentes, e bens e serviços (Quadro 2).

Quadro 2 – Classificação dos serviços ecossistemas conforme Groot *et al.* (2002).

Função	Processos ou componentes dos ecossistemas	Exemplos
Função de regulação: manutenção dos processos ecológicos vitais dos sistemas de suporte da vida	Regulação de Gases	Proteção UVB na camada de ozônio, prevenção de doenças, qualidade do ar
	Regulação Climática	Manutenção de clima favorável
	Prevenção de Distúrbios	Proteção contra (ondas) de tempestades (ex. recifes de corais), prevenção de enchentes (áreas úmidas e floresta)
	Regulação da Água	Drenagem e irrigação natural
	Suprimento de Água	Provisão de água para uso consuntivo
	Retenção de Solo	Manutenção da terra arável e prevenção de erosão ou salinização
	Formação do Solo	Manutenção da produtividade em terras aráveis e Manutenção da produtividade natural do solo
	Regulação de Nutrientes	Produtividade dos ecossistemas
	Tratamento do Lixo	Controle de poluição e desinfecção e amortecimento do barulho de poluição sonora
	Polinização	Polinização de plantas
Controle Biológico	Controle de doenças e epidemia Redução na herbívoros	
Função de Habitat: proporciona habitat (espaço adequado)	Função de Refúgios	Manutenção das espécies exploradas comercialmente

para viver) para as espécies de plantas e animais	Função de Berçário	Caça, pesca, frutas etc. Agricultura e aquicultura de subsistência
Função de Produção: provisiona recursos naturais	Alimentação	Edificações e produtos manufaturados Óleo e energia Alimento e fertilizantes
	Matéria-prima	Melhora da resistência contra os patógenos
	Recursos Genéticos	Modelos químicos e ferramentas Teste - ensaio com organismo
	Recursos Medicinais	Drogas e fármacos
	Recursos Ornamentais	Recursos de vestuário, artesanatos, joias, decoração, brinquedos, adoração, decoração, souvenir
Função de Informação: provisiona oportunidades de desenvolvimento cognitivo	Informação Estética	Beleza cênica
	Recreação	Viagem para visitar ecossistemas naturais e esportes ao ar livre
	Informação Artística e Cultural	Uso da natureza para escrever livro, fazer filmes, pintar, folclore e arquitetura
	Informação Histórica e Espiritual	Uso da natureza para religião, ou proposito histórico
	Ciência e Educação	Uso do sistema natural nas excursões de escola Uso para pesquisa científica

Fonte: Groot *et al.* (2002) (adaptado).

Para a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA, 2005) os serviços ecosistêmicos são classificados nas categorias: Serviços de provisão, Serviços de regulação, Serviços culturais e Serviços de suporte, a classificação do MEA trás as categorias de SE mais simplificadas (Quadro 3).

Quadro 3 – Tipo de Serviço ecosistêmico segundo a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA, 2005).

Categoria dos Serviços ecosistêmicos	Descrição
Serviços de provisão	Serviços de provisão seriam os produtos obtidos diretamente dos ecossistemas para a utilização humana, como por exemplo, a obtenção de alimentos e madeira.
Serviços de regulação	Serviços de regulação seriam os benefícios humanos obtidos pelos processos de regulação dos processos ecosistêmicos, um exemplo é a regulação da qualidade do ar.
Serviços culturais	Serviços culturais seriam os benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas que proporcionam um enriquecimento espiritual.

Serviços de suporte	Serviços de suporte, esta categoria engloba todos os serviços necessários para a produção de todos os outros serviços ecossistêmicos.
---------------------	---

Fonte: MEA, (2005, com adaptações).

De acordo com a *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES), os SE podem ser resumidos em três classes: Provisão, Regulação e Manutenção, e Cultural (Quadro 4) (CICES, 2010). Essa classificação do CICES é a mais difundida atualmente (COSTANZA *et al.*, 2017), pois surgiu em um contexto da contabilização ambiental e econômica, na tentativa de almejar o desenvolvimento de uma padronização universal, com a finalidade de favorecer a contabilização, mapeamento e avaliação dos SE, como também comparação de dados (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018).

Quadro 4 – Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES, 2010).

Categoria dos Serviços ecossistêmicos	Divisão	Grupo
Provisão	Nutrição	Biomassa / Água
	Materiais	Biomassa, fibra / Água
	Energia	Fontes de energia baseadas na biomassa / Energia mecânica
Regulação e Manutenção	Mediação de resíduos tóxicos e outras perturbações	Mediação por biota / Mediação por ecossistema
	Mediação de fluxos	Fluxos em massa / Fluxos Líquidos / Fluxos gasosos (ar)
	Manutenção de condições físicas, químicas e biológicas	Manutenção do ciclo de vida, habitat e proteção do gene de piscina / Controle de pragas e doenças / Formação e composição do solo / Condições da água / Composição atmosférica e regulação climática
Cultural	Interações físicas e intelectuais com a biota e ecossistemas terrestres/marinhos (ambiente)	Interações físicas e experienciais / Interações intelectuais e representativas
	Interações espirituais e simbólicas com a biota e ecossistemas terrestres/marinhos (ambiente)	Espiritual ou emblemático / Outras realizações culturais

Fonte: Potschin e Haines-Young (2011, com adaptações).

A lei nº 14.119/21, define os serviços de provisão como os que oferecem produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização. Os serviços de suporte são os que mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a fertilidade do solo, polinização, dispersão e a manutenção da biodiversidade. Os serviços de regulação são os que concorrem para a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, tais como o sequestro de carbono e a purificação do

ar. E os serviços culturais são os que constituem benefícios não materiais providos pela natureza, por meio da recreação e do turismo, por exemplo (BRASIL, 2021).

2.2 Estoque de Carbono

A regulação climática do planeta é feita pelo fluxo contínuo de energia solar que atravessa a atmosfera na forma de luz visível (STEINKE, 2012). Parte desta energia é devolvida pela Terra na forma de radiação infravermelha. Os Gases de Efeito Estufa (GEE) possuem propriedade de impedir que parte dessa radiação infravermelha alcance o planeta (ASSAD *et al.*, 2019). Alguns GEE, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e ozônio (O₃), existem naturalmente na atmosfera e são essenciais para a manutenção da vida no planeta (MARTINS *et al.*, 2003).

O carbono é trocado naturalmente entre os sistemas ecológicos terrestres e a atmosfera, através da respiração, fotossíntese, decomposição e combustão (YU, 2004; DIAS-FILHO, 2006). As plantas absorvem o CO₂ da atmosfera por meio do processo de fotossíntese, o CO₂ entra na planta por meio dos estômatos (DIAS-FILHO, 2006) transformando-o em açúcar e outros compostos orgânicos usados no crescimento e atividades metabólicas (DIAS-FILHO, 2006; KLUGE *et al.*, 2015). O carbono é fixado nos diferentes compartimentos da planta (madeira, folha e raízes) (MENEZES *et al.*, 2021) até completarem o seu ciclo, ao se decomporem o carbono estocado é liberado para a atmosfera como CO₂, monóxido de carbono (CO), ou ainda fixado no solo como matéria orgânica (COSTA *et al.*, 2008).

Metade dos estoques de carbono terrestres residem em ecossistemas florestais, representados pela biomassa viva, morta, acima e abaixo do solo, e nos solos (FAO, 2011; VEZZANI, 2015). Em relação aos SE de estoque de carbono a garantia da continuidade do fornecimento destes serviços necessita ser discutida e aprimorada, sobretudo no sentido de estruturas institucionais e métodos de mensuração destes serviços (GOMES; NETO; SILVA, 2018; VEZZANI, 2015; AMARAL; COSTA; MUZZI, 2017; QUIJAS *et al.*, 2019).

REFERÊNCIAS

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; CORDEIRO, L. A. M.; EVANGELISTA, B. A. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa**, p. 153-167, 2019.

AMARAL, R.; COSTA, S. de A. P.; MUZZI, M. R. S. O sequestro de carbono em trechos da floresta urbana de Belo Horizonte: por um sistema de espaços livres mais eficiente no provimento de serviços ecossistêmicos urbanos. **Paisagem e Ambiente**, n. 39, p. 163-179, 2017.

ARAÚJO, Isailma da Silva. **Identificação e valoração de serviços ecossistêmicos no Parque das Dunas, Natal-RN**. 2018. 98f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

BEZERRA, J. S.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; DUPUY-RADA, J. M.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Negative impact of slash-and-burn agriculture on the seed rain in a tropical dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 531, p. 120821, 2023.

BUCHIANERI, Viviane Coelho. **O valor dos serviços ecossistêmicos nas bacias hidrográficas dos rios Itaguapé e Guaratuba em Bertiooga, SP**. 2017. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de Janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 jan 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de-2021-298899394>.

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**, Brasília, DF, 29 dez. 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm.

CÁRDENAS CAMACHO, L. M.; DÍAZ-C, S. E. .; GÓMEZ-ANAYA, W. F. .; ROJAS-ROJAS, J. E. .; LÓPEZ CAMACHO, R. Análisis participativo de servicios ecosistémicos en un área protegida del bosque seco tropical (bs-T), Colombia. **Colombia forestal**, v. 24, n. 1, p. 123–156, 2021.

CARRILHO, Cauê Dias. **Identificação e valoração econômica e sociocultural dos serviços ecossistêmicos da Baía do Araçá, São Sebastião, SP, Brasil**. 2016. 170 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

CASTRO-MAGNANI, M.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A.; METTERNICHT, G.; LAAKSO, K. Integration of remote-sensing based metrics and econometric models to assess the socio-economic contributions of carbon sequestration in unmanaged tropical dry forests. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 9, p. 100100, 2021.

COSTANZA, R.; GROOT, R.; SUTTON, P.; PLOEG, S. van D.; ANDERSON, S. J.; KUBISZEWSKI, I.; FARBER, S.; TURNER, R. K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, p. 152–158, 2014.

COSTANZA, R.; GROOT, R.; BRAAT, L.; KUBISZEWSKI, I.; FIORAMONTI, L.; SUTTON, P.; FARBER, S.; GRASSO, M. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Services**, v. 28, p. 1-16. 2017.

DAR, A. A.; BABU, K. N.; DILSHAD, K.; NATH, S.; PARTHASARATHY, N. Temporal changes in tree community structure and carbon stocks in a human-impacted tropical dry evergreen forest, South India. **Acta Ecologica Sinica**, v. 43, n. 4, p. 701-711, 2023.

DIAS-FILHO, M. B. A fotossíntese e o aquecimento global. Belem: Embrapa Amazonia Oriental, 2006. 24p. (Embrapa Amazonia Oriental. Documentos, 234).

DIAS, G. V.; NEFFA, E.; TOSTES, J. G. R. Pagamentos por Serviços Ambientais, Mercado de Crédito de Carbono e as trocas desiguais. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 14, n. 2, p.235-254, 27. 2020.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Trees, forests and land use in drylands: The first global assessment. **Roma: FAO**, 2016.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Terms and definitions. **Rome: FAO**, 2013.

FAO. Data sets, indicators and methods to assess land degradation in drylands. Rome, 2003. 123 p. (FAO. World Soil Resources Reports, 100), 2011.

FERRAZ, R. P. D.; PRADO, R. B.; PARRON, L. M.; CAMPANHA, M. M. **Marco Referencial em Serviços Ecosistêmicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 121 p.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 51-56, 2018.

GOMES, S. A.; NETO, José Dantas; SILVA, Viviane Farias. Serviços ecossistêmicos: conceitos e classificação. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 12-23, 2018.

GROOT, R.; WILSON, M.; BOUMANS, R. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, p. 393-408, 2002.

KLUGE, Ricardo Alfredo; TEZOTTO-ULIANA, Jaqueline V.; DA SILVA, Paula PM. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 56-73, 2015.

LEITE, M. B.; ANGUITA, M. P. Classificação das políticas públicas relacionadas com os serviços ecossistêmicos no território brasileiro. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 106–121, 2017.

MARTINS, C. R.; PEREIRA, P. D. P.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. D. Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre. **Cadernos temáticos de química nova na escola**, v. 5, p. 28-41, 2003.

MATA, M. V. M.; HOELZEMANN, J. J., SOUSA NETO, E. R.; AGUIAR, A. P. D.; MARCIA, R. Emissões de CO₂ Provenientes do Uso e Mudanças no Uso da Terra no Bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 08, n. 01, p. 144-15. 2015.

MATTOS, A. D. M. Avaliação ambiental de áreas de preservação permanente da microbateria de ribeirão São Bartolomeu no Município de Viçosa, MG. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 31, n. 2 p. 347-353. 2007.

MENEZES, R. S. C., SALES, A. T., PRIMO, D. C., DE ALBUQUERQUE, E. R. G. M., DE JESUS, K. N., PAREYN, F. G. C., SAMPAIO, E. V. D. S. B. Soil and vegetation carbon stocks after land-use changes in a seasonally dry tropical forest. **Geoderma**, v.390, 114943. 2021.

MEA. AVALIAÇÃO DO ECOSSISTEMA DO MILÊNIO. Ecosistemas e bem-estar humano: síntese. Washington, DC: Island Press: 2005.

MOTTA, R. S. Manual para valoração econômica de recursos ambientais. 1998. Brasília: IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 254p.

NUNES, F. C.; SOUZA FILHO, J. R. Serviços ecossistêmicos e economia: à guisa de introdução. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 30, n. 1, p. 7-13, 2020.

OUVERNEY, I. R.; MOTTA, R. S. D.; ORTIZ, R. A.; COELHO, P. S. Condicionantes da disposição de participar e aceitar pagamentos por serviços ambientais: um estudo de caso no Brasil. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 21, 2018.

POTSCHIN, M.; HAINES-YOUNG, R. Ecosystem services: Exploring ageographical perspective. **Progress in Physical Geography**. v. 35, p. 575- 594. 2011.

QUIJAS, S.; BOIT, A.; THONICKE, K.; MURRAY-TORTAROLO, G.; MWAMPAMBA, T.; SKUTSCH, M.; BALVANERA, P. Modelling carbon stock and carbon sequestration ecosystem services for policy design: a comprehensive approach using a dynamic vegetation model, **Ecosystems and People**, v.15, n.1, p.42-60, 2019.

SILVA, A. C. F. da; FREIRE, F. J.; BORGES, C. H. A.; ARAUJO, E. C. G.; SANTANA, G. M.; CUNHA NETO, E. M. da; SANQUETTA, C. R. Teores de carbono em espécies florestais da Caatinga. *Ciência Florestal [s. l.]*, v. 32, n. 1, p. 71–85, 2022.

SILVA, M. L. N.; MANSUR, K. L.; NASCIMENTO, M. A. L. Nature Ecosystem Services and its Application on the Studies of Geodiversity: a review. **Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj**, v.41, n.2, p.699-709, 2018.

SILVA, Diego Araújo Oliveira. **Valoração dos serviços ecossistêmicos na sub-bacia do rio Jacaré, Sergipe**. 2019. 47 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

SILVA, Samara Martins. **Serviços ecossistêmicos de carbono e biodiversidade e os projetos de lei sobre pagamento por serviços ambientais no Brasil: uma análise sobre o panorama atual.** 2016. 249 f. Dissertação (Mestrado em Ciências. Programa: Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2016.

SINISGALLI, P. A. A.; SOUSA JR.; W. C. Serviços Ecossistêmicos. **Diálogos Socioambientais na Macrometrópole Paulista**, São Bernardo do Campo, v. 3, n. 07, p. 5-7, 2020.

SCHULZ, K.; VOIGT, K.; BEUSCH, C.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; KOWARIK, I., WALZ, A.; CIERJACKS, A. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 367, p. 62-70, 2016.

STEINKE, Ercília Torres. **Climatologia fácil.** Oficina de Textos, 2016.

TABARELLI, M.; FILGUEIRAS, B. K.; RIBEIRO, E. M.; LOPES, A. V.; LEAL, I. R. Tropical Dry Forests. 2023.

YU, Chang Man. **Seqüestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas.** Annablume, 2004.

VEZZANI, F. M. Solos e os serviços ecossistêmicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, p. 673-684, 2015.

ZAMBONI, Nadia Selene. **Valoração de serviços ecossistêmicos costeiros em cenários de mudanças climáticas.** 2020. 147f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

3 ATRIBUTOS FITOSSOCIOLÓGICOS E ESTOQUE DE CARBONO DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA

RESUMO

A Caatinga é uma das mais extensas formações de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS), com grande potencial em armazenar carbono nos seus diferentes compartimentos. As perguntas norteadoras do estudo foram: quanto de carbono está sendo estocado acima do solo das FTSS de diferentes usos? Como a estrutura da vegetação, tempo de regeneração natural influenciam a dinâmica de estoque de carbono em FTSS? Assim, compreende-se como hipótese, os distintos usos (floresta em sucessão secundária e sob pastejo), sob a vegetação das FTSS promovem diferentes estocagem de carbono. E objetivou-se (i) determinar os parâmetros fitossociológicos e riqueza das espécies e (ii) estimar a produção de biomassa e estocagem de Carbono presente na vegetação arbustiva-arbórea em dois remanescentes de FTSS. O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC) no município de Pentecoste, região semiárida do estado do Ceará. Foram definidas duas áreas; cada área possui sete parcelas permanentes com dimensões de 10 x 20 m. Foi estimado a biomassa vegetal das árvores vivas em pé, utilizado uma fita métrica, para obter os valores das circunferências dos indivíduos, e posteriormente foram transformados em diâmetro. Na área I foram inventariados 501 indivíduos vivos, distribuídos em 13 famílias e 25 espécies. Na área II, sob pastejo, foram inventariados 349 indivíduos vivos, distribuídos em 10 famílias e 13 espécies. A biomassa total acima do solo da área I (2016-2022) foi de 62,31 Mg ha⁻¹ para 70,44 Mg ha⁻¹, um acréscimo de 13,4% ha ano⁻¹. A biomassa total da área II (2016/2022) foi de 48,43 Mg ha⁻¹ para 44,82 Mg ha⁻¹, um decréscimo de 8,3% ha ano⁻¹. A área I apresentou o maior estoque médio de carbono 28 Mg ha⁻¹ em 2016 e 31 Mg ha⁻¹ em 2022; a área II teve estoque médio de carbono de 22 Mg ha⁻¹ em 2016 e 20 Mg ha⁻¹. A diversidade de espécies, o porte das árvores, estrutura e composição das espécies interferem no estoque de carbono das FTSS. As áreas de FTSS que passaram por uma intervenção antrópica mais intensa demoram para regenerar o estrato arbóreo e passam por um processo de regeneração mais lenta, proporcionando a essas áreas um menor estoque de carbono em relação às áreas de FTSS em pousio a mais tempo.

Palavras-chave: caatinga; levantamento fitossociológico; riqueza de espécies; semiárido.

ABSTRACT

The Caatinga is one of the most extensive SDTF formations, with great potential to store carbon in its different compartments, thus being able to contribute significantly to the process of mitigating GHGs. The guiding questions of the study were: how much carbon is being stored above ground in FTSS of different uses? How do vegetation structure and natural regeneration time influence the dynamics of carbon stocks in FTSS? Thus, the hypothesis is that the different uses (forest in secondary succession and under grazing) under the vegetation of the FTSS promote different carbon stocks. The objective was (i) to determine the phytosociological parameters and species richness and (ii) to estimate the biomass production and carbon storage present in the shrub-arboreal vegetation in two remnants of SDTFs. The study was conducted at the Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC) in the municipality of Pentecoste, semi-arid region of the state of Ceará. Two areas with distinct land uses were defined; each area has seven permanent plots with dimensions of 10 x 20 m, the phytosociological survey was analyzed over a period of six years (2016-2022). The aboveground plant biomass of live standing trees was estimated, using a tape measure to obtain the circumference values of the individuals, and subsequently they were converted to diameter. In area I, 501 live individuals were inventoried, distributed in 13 families and 25 species. In area II, under grazing, 349 live individuals were inventoried, distributed in 10 families and 13 species. The total aboveground biomass of area I (2016-2022) was 62.31 Mg ha⁻¹ to 70.44 Mg ha⁻¹, an increase of 13.4% ha year⁻¹. The total biomass of area II (2016/2022) was 48.43 Mg ha⁻¹ to 44.82 Mg ha⁻¹, a decrease of 8.3% ha year⁻¹. Area I showed the highest average carbon stock of 28 Mg ha⁻¹ in 2016 and 31 Mg ha⁻¹ in 2022; area II had an average carbon stock of 22 Mg ha⁻¹ in 2016 and 20 Mg ha⁻¹. Species diversity, tree size, structure, and species composition interfere with carbon storage in seasonally dry tropical forests. Areas of seasonally dry tropical forest that have undergone more intense anthropogenic intervention take longer to regenerate the tree layer and undergo a slower regeneration process, giving these areas a lower carbon stock than areas of FTSS that have been fallow for longer.

Keywords: caatinga biome; phytosociological survey; semiarid; ecosystem services.

3.1 Introdução

As florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) compõem um ecossistema variado e extenso globalmente, com características de adaptação ao estresse hídrico sazonal (PULLA et al., 2015). A região brasileira da Caatinga é uma das mais extensas formações de FTSS (BLACKIE et al., 2014) capaz de contribuir para as emissões totais de carbono (CASTANHO et al., 2020; CALVO-RODRIGUEZ, 2021).

Ademais, a vegetação da Caatinga é constituída de espécies lenhosas e herbáceas, normalmente apresentam espinhos, nessa vegetação se incluem também cactáceas e bromeliáceas (DE SOUZA, 2020) o bioma Caatinga é reconhecido também pela quantidade considerável de espécies e gêneros endêmicos (QUEIROZ et al., 2017; PAIVA et al., 2021). Outra característica da Caatinga é a deciduidade, ou seja, perdem suas folhas no período da estação seca; e assim conseguem resistir evitando embolias e danos hidráulicos durante a estiagem longa (FAGUNDES et al., 2022).

Por meio da quantificação de biomassa, é possível obter informações relevantes para atribuições econômicas e ambientais (DOS SANTOS et al., 2016; KOOPMAN et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2021a). A partir disto, nos últimos anos o bioma Caatinga vem sendo estudado, considerando que os seus compartimentos de vegetação possam ser um potencial reservatório de carbono incipientemente conhecido e que pode colaborar significativamente com o processo de mitigação dos Gases do Efeito Estufa (GEE) (AGUIAR et al., 2021).

Para quantificar a biomassa presente na parte aérea têm-se os métodos que envolvem técnicas diretas e indiretas. O método direto implica em medida real da biomassa e na pesagem dos componentes, bem como, determinação dos valores de massa seca (HIGA et al., 2014). Referente ao método indireto, esse requer apenas informações das características diretamente mensuráveis como a circunferência do fuste e altura, para obtenção da volumetria e ajuste de modelos matemáticos (FREITAS; SILVA; NASCIMENTO, 2019).

Os motivos que induzem as emissões dos GEE nas FTSS estão fortemente relacionados com a substituição de florestas nativas e implantação de sistemas de pastejo. Essas mudanças no uso da terra levam a um aumento significativo de áreas classificadas como sensíveis para os processos de desertificação, e por consequência, a perda de serviços ecossistêmicos (RIBEIRO, 2017; SILVA et al., 2021a; SILVA et al., 2021b). Assim, a redução na cobertura vegetal nativa das FTSS tem contribuído para a degradação dos recursos ambientais.

As perguntas norteadoras do estudo foram: quanto de carbono está sendo estocado acima do solo das FTSS de diferentes usos? Como a estrutura da vegetação, tempo de regeneração

natural influenciam a dinâmica de estoque de carbono em FTSS? Assim, compreende-se como hipótese, os distintos usos (floresta em sucessão secundária e sob pastejo), sob a vegetação das FTSS promovem diferentes estocagem de carbono.

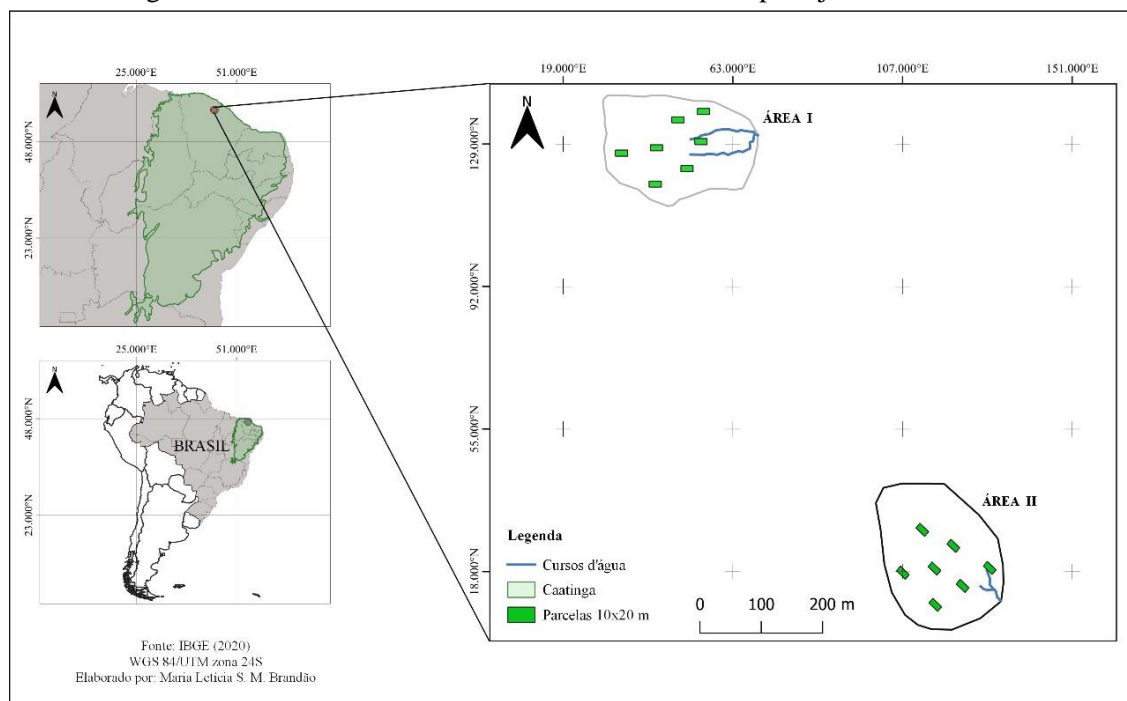
Diante do exposto, objetivou-se (i) determinar os parâmetros fitossociológicos e riqueza das espécies e (ii) estimar a produção de biomassa e estocagem de carbono presente na vegetação arbustiva-arbórea em dois remanescentes de FTSS.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Caracterização da área de estudo

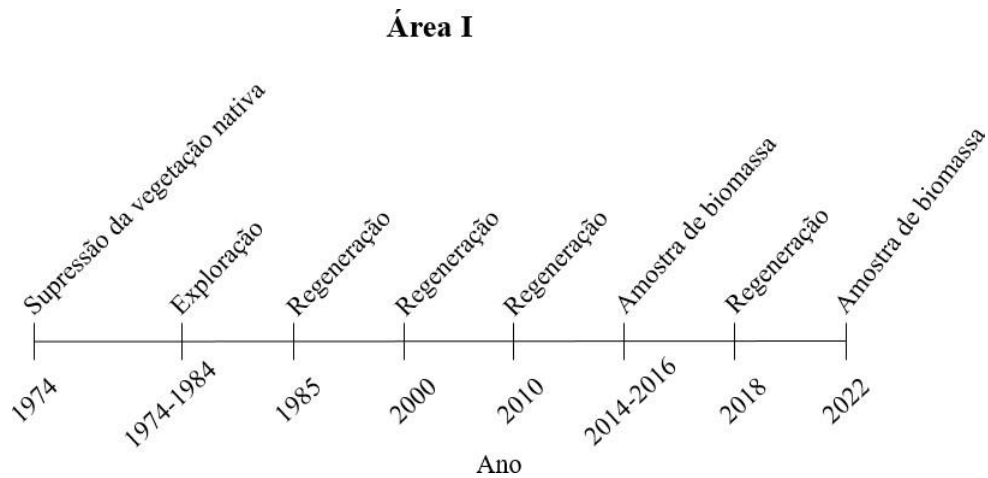
O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC) no município de Pentecoste, região semiárida do estado do Ceará (Figura 2). O município de Pentecoste está localizado geograficamente na microrregião do médio Curu, no estado de Ceará, a cerca de 100 km da capital Fortaleza (GOMES, 2016).

Figura 2 – Mapa de localização geográfica de dois fragmentos de Caatinga, Ceará, Brasil. Área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e Área II sob pastejo.



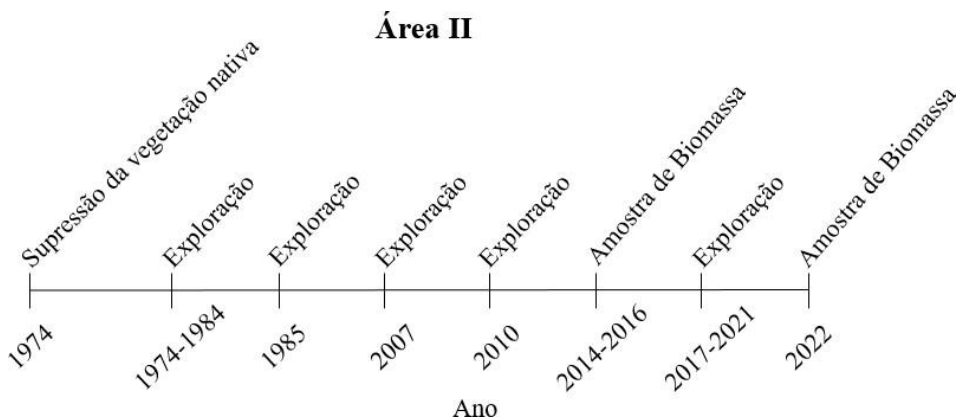
A área I é uma área de Caatinga sob estágio de sucessão secundária, possui cerca de 3,6 ha. Em 1974, a vegetação nativa foi eliminada e substituída pelo cultivo de *Cenchrus ciliaris* L.. a exploração que perdurou por 10 anos e, em seguida, foi abandonada até o presente momento, perfazendo quase 40 anos em processo estágio de sucessão secundária (Figura 3).

Figura 3 – Linha cronológica com o uso da área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos, Fazenda Experimental Vale do Curu.



A área II dista cerca de 650 m da área I, refere-se a uma área de caatinga sob pastejo. Possui cerca de 3,8 ha. Sua vegetação nativa foi retirada em 1974, a área foi utilizada para o cultivo de *Zea mays*L. (milho) e *Phaseolus vulgaris*L. (feijão). Após este período as culturas de milho e feijão foram substituídas por gramíneas (*Cenchrus ciliaris*L.) para produção de pasto. Práticas agropecuárias que, somadas, representam 10 anos de exploração. Foram totalizados 32 anos na condição de área destinada à exploração com pastagem nativa (Figura 4).

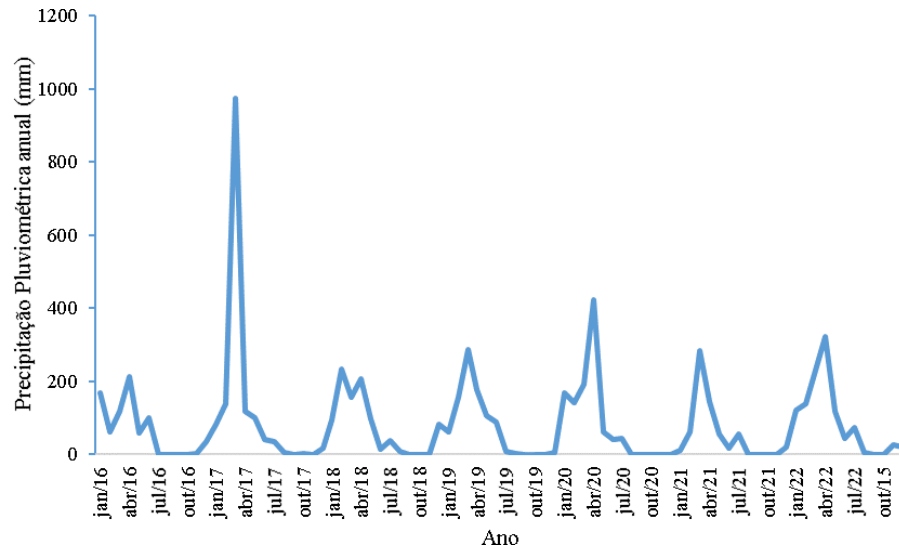
Figura 4 – Linha cronológica com o uso da área II sob pastejo, Fazenda Experimental Vale do Curu



3.2.2 Clima

O clima da área de estudo, segundo a classificação de Köppen é caracterizado como semiárido tropical quente (BSwh) (ALVARES *et al.*, 2014). Com período chuvoso de fevereiro a maio (Figura 5), profundidade pluviométrica anual média de 800 mm e temperaturas médias de 22 °C de mínima e 35 °C de máximas (INMET, 2022).

Figura 5 – Dados de precipitação pluviométrica obtidos na estação meteorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu referente aos anos de (2016-2022).



3.2.3 Vegetação

O bioma predominante da região é a Caatinga, o município de Pentecoste possui quatro diferentes tipos de vegetação, entre eles caatinga arbustiva aberta, caatinga arbustiva densa, caatinga arbórea e mata seca (LIRA, 2012). A montante da microbacia do curu, a Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS) está em pousio há 47 anos, apresentando vegetação mais adensada, com árvores de grande porte, copa bastante fechada, o que dificulta o desenvolvimento da vegetação rasteira (Figura 6).

Figura 6 – Vegetação de dois fragmentos de Caatinga, (A) e (B) área I; (C) e (D) área II



3.2.4 Solos

Os solos da área de estudo estão inseridos em rochas do embasamento cristalino e aluviões, representativos de duas unidades litológicas, referentes aos períodos pré-cambriano e quaternário (CPRM, 2003). De acordo com o mapa base de Reconhecimento dos Solos do Ceará na escala de 1:600.000, que contém as classes de solo para todo o estado do Ceará, foi identificado e alterado para a nova nomenclatura da Embrapa (2018), dois tipos de solo para a área de estudo, são eles Neossolos Litólico e Argissolos Vermelho-Amarelo.

3.2.5 Amostra da vegetação

Cada área possui sete parcelas permanentes com dimensões de 10 x 20 m, instaladas no ano de 2014. As parcelas foram distribuídas de forma aleatória sobre a área e interespaçadas em 50 m. O número de parcelas instaladas foi determinado segundo suficiência de amostragem florística analisada com base na curva do coletor de espécies, conforme (RODAL; SAMPAIO; FIGUEIREDO, 2013). Foi feita a quantificação de todas as plantas arbustivo-arbóreas vivas com Circunferência à Altura da Base (CAB) >9 cm e altura (h) >100 cm (Figura 7). O levantamento

fitossociológico foi analisado no intervalo de seis anos (2016-2022), com duas coletas: 2016 no final do período chuvoso (julho), os dados foram obtidos do grupo de extensão e pesquisa MASSA (UFC) e 2022 período chuvoso (abril).

Figura 7 – Levantamento da circunferência à altura da base (CAB) e registro em planilha.



As plantas que atenderam aos critérios no ano de 2016 foram inventariadas novamente em 2022, as plantas que não haviam sido inventariadas em levantamentos anteriores, por não atenderem aos critérios de inclusão, foram identificadas como novas, marcadas e medidas. As plantas medidas em anos anteriores, que não foram encontradas, foram classificadas como mortas, juntamente com as árvores mortas, em pé ou no chão.

3.2.6 Estimativa dos atributos fitossociológicos e diversidade de espécies

A estrutura horizontal das comunidades amostradas foi estimada por meio dos parâmetros fitossociológicos: N - Número de indivíduos amostrados; DR - densidade relativa; FR - frequência relativa; DR - dominância relativa; IVI - Índice de Valor de Importância e IVC - Índice de Valor de Cobertura. A diversidade florística e a abundância relativa das espécies foram analisadas por meio do índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') (MAGURRAN, 1988).

$$H' = \frac{[N \ln N - \sum_{i=1}^S n_i \ln(n_i)]}{N} \quad (1)$$

em que: n_i = número de indivíduos amostrados para a i -ésima espécie; N = número total de indivíduos amostrados; S = número total de espécies amostradas; \ln = logaritmo na base neperiana; $H_{\max} = \ln(S)$ = número total de espécies amostradas.

A similaridade entre as áreas foi obtida mediante utilização do Índice de Similaridade de Jaccard (SJ) (JACCARD, 1912), este índice consta que quanto mais próximo de 1, mais os dois conjuntos são similares; e quanto mais próximo de 0, mais diferentes eles são.

$$SJ = \frac{a}{a+b-c} \quad (2)$$

em que: a = número de espécies ocorrentes na área 1; b = número de espécies ocorrentes na área 2; c = número de espécies comuns às duas áreas.

Valores de diversidade foram obtidos com os métodos de rarefação (interpolação) e extrapolação (predição). A análise foi realizada com dados de abundância de espécies por parcela, dentro de cada tratamento (SILVA *et al.*, 2022). Para a análise, foi utilizado o pacote iNEXT (<https://chao.shinyapps.io/iNEXTOnline/>, acessado em 07 de outubro de 2023).

3.2.7 Carbono e biomassa acima do solo

Foi estimado a biomassa vegetal das árvores vivas em pé, utilizado uma fita métrica, para obter os valores das circunferências dos indivíduos, e posteriormente foram transformados em diâmetro, através da fórmula:

$$DAB = \frac{CAB}{\pi} \quad (3)$$

em que: DAB = diâmetro do caule de árvores e arbustos à altura da base; CAB = circunferência do caule da árvore à altura da base; $\pi = 3,1416$.

Para árvores multifustes, primeiro foi encontrado o diâmetro equivalente pela seguinte expressão:

$$DABeq = \sqrt{\sum_{i=1}^n DAB_i^2} \quad (4)$$

Em seguida foi utilizada a equação para obter a estimativa de biomassa vegetal aérea de cada indivíduo (SAMPAIO; SILVA, 2005):

$$BA = 0,0644 \times DAB^{2,3948} \quad (5)$$

em que: BA = biomassa de árvores vivas (kg); 0,0644 = constante; DAB = diâmetro na altura da base; 2,3948 = constante.

Após a determinação da biomassa dos indivíduos vivos, os valores adquiridos foram e convertidos para Mg ha^{-1} e multiplicados por 0,4453, teor médio de carbono em espécies da Caatinga (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016):

$$\text{TC}=\text{BA}\times 0,4453 \quad (6)$$

em que: TC= Teor de Carbono (Mg ha^{-1}); BA= Biomassa de árvores e arbustos (Mg ha^{-1}); 0,4453= fator de conversão de biomassa para C.

3.2.8 *Análise estatística*

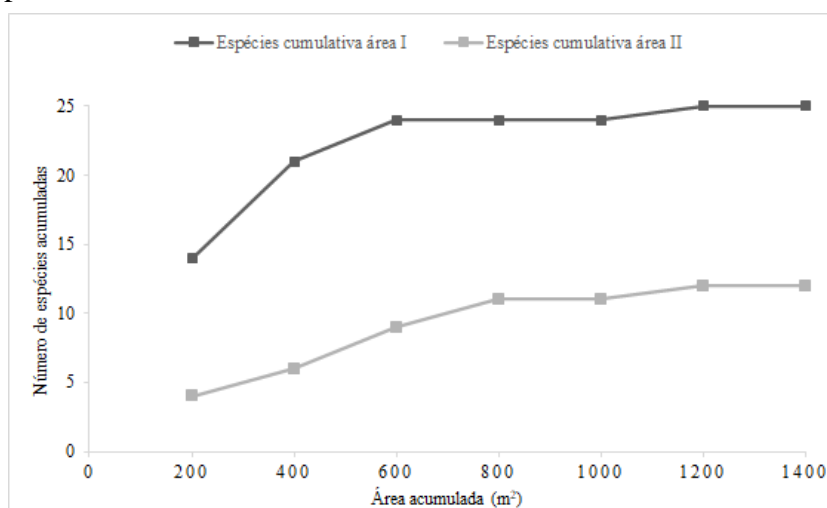
Para a avaliação da produção de biomassa e estoque de carbono das duas áreas de estudo, os valores de biomassa aérea e estoque de carbono das áreas I e II, foram comparados pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney ($p\leq 0,05$); e para a comparação entre os dois períodos de coletas utilizou-se do teste de teste Wilcoxon ($p\leq 0,05$). As análises foram feitas no *software* SPSS.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Atributos fitossociológicos e diversidade de espécies

A curva de acumulação de espécies das áreas I e II alcançou a estabilização com 1400 m², (Figura 8) e ambas as áreas estabilizaram na sexta parcela amostrada, onde houve uma redução no número de novas espécies identificadas. Portanto, a curva indica ser satisfatória a amostragem realizada para as áreas estudadas, de modo a atingir a quantidade mínima de parcelas para caracterização da composição florística.

Figura 8 – Representação gráfica da suficiência amostral das espécies inventariadas, nas áreas I e II, Fazenda Experimental Vale do Curu.



Na área I foram inventariados 501 indivíduos vivos, distribuídos em 13 famílias e 25 espécies. As espécies mais encontradas foram *Sebastiania macrocarpa* Müll. Arg (Guabiraba), *Bauhinia cheliantha* (Bong.) Steud (Mororó), *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke (Jurema branca), *Poincianella bracteosa* (Tul.) L. P. Queiroz (catingueira), *Mimosa caesalpinifolia* Benth (Sabiá) e *Cordia oncocalyx* Allemão (Pau branco). A tabela 1 consta as informações do levantamento fitossociológico da área I em 2022 e dados do ano de 2016 obtidos de Feitosa, (2017).

Na área II, sob pastejo, foram inventariados 349 indivíduos vivos, distribuídos em 10 famílias e 13 espécies. As espécies mais encontradas foram: *Croton blanchetianus* Baill (Marmeleiro) e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud (Frei Jorge). A Tabela 2 consta as informações do levantamento fitossociológico da área II.

Tabela 1 – Relação e parâmetros fitossociológicos de espécies encontradas na área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos (2016-2022).

Família	Nome Científico	NV	N		DR		DO		FR		IVI%		IVC%	
			2016	2022	2016	2022	2016	2022	2016	2022	2016	2022	2016	2022
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Fr. Allem.	Aroeira	3	6	0,63	1,20	2,79	3,60	3,90	4,55	2,44	3,12	1,71	2,40
Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.	Pereiro	15	11	3,17	2,20	2,57	1,90	2,60	2,27	2,78	2,12	2,05	2,07
Asteraceae	<i>Gochnatia polymorpha</i>	Cambara	-	3	-	0,60	-	0,08	-	2,27	-	0,98	-	0,34
Bignoniaceae	<i>Handroa thus impetiginosus</i> (Mart. Ex Dc.) Mattos	Ipê-roxo	3	4	0,63	0,80	0,13	0,15	1,30	2,27	0,69	1,07	0,38	0,47
Bixaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) (L.) Spreng	Pacotê	3	3	0,63	0,60	1,13	0,79	2,60	2,27	1,45	1,22	0,88	0,70
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. ex Steud	Frei Jorge	8	7	1,69	1,40	0,82	0,67	2,60	2,27	1,70	1,45	1,25	1,04
	<i>Cordia oncocalyx</i> Allemão	Pau branco	29	30	6,13	5,99	28,10	25,89	9,09	7,95	14,44	13,28	17,11	15,94
Burseraceae	<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B. Gillet	Imburana de cheiro	3	4	0,63	0,80	3,32	3,48	3,90	3,41	2,62	2,56	1,98	2,14
Combretaceae	<i>Combretum glaucocarpum</i> Mart. Eichler	Sipaúba	-	1	-	0,20	-	0,49	-	1,14	-	0,61	-	0,35
	<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Mofumbo	25	23	5,29	4,59	1,39	1,27	7,79	6,82	4,82	4,23	3,34	2,93
Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl	Feijão bravo	-	2	-	0,40	-	0,50	-	1,14	-	0,68	-	0,45
	<i>Croton blanchetianus</i> Baill	Marmeleiro	41	26	8,67	5,19	8,62	6,70	6,49	5,68	7,93	5,86	8,65	5,94
Euphorbiaceae	<i>Croton adenocalyx</i>	Velame	10	7	2,11	1,40	0,60	0,32	5,19	4,55	2,64	2,09	1,36	0,86
	<i>Manihot carthagenensis</i> (Jacq.) Müll.Arg	Maniçoba	-	3	-	0,60	-	0,08	-	2,27	-	0,98	-	0,34
Fabaceae-	<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L. P. Queiroz	Catingueira	40	40	8,46	7,98	7,62	9,02	7,79	7,95	7,96	8,32	8,04	8,50
Caesalpinioideae	<i>Libidia ferrea</i> (Mart. ex Tub.) L.P. Queiroz	Jucá	7	5	1,48	1,00	1,57	1,43	5,19	3,41	2,75	1,95	1,53	1,22
	<i>Bauhinia cheliantha</i> (Bong.) Steud	Mororó	70	71	14,80	14,17	9,97	11,58	9,09	7,95	11,29	11,24	12,38	12,88
Fabaceae-	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema branca	51	59	10,78	11,78	5,33	4,57	9,09	7,95	8,40	8,10	8,06	8,17
Mimosoideae	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema Preta	7	6	1,48	1,20	3,62	2,73	5,19	4,55	3,43	2,82	2,55	1,96
	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.	Sabiá	22	36	4,65	7,19	8,51	9,21	9,09	7,95	7,42	8,12	6,58	8,20

Myrtaceae	<i>Paramyrciaria</i> sp..	Goiabinha	9	8	1,90	1,60	1,07	1,01	5,19	4,55	2,72	2,38	1,49	1,30
	<i>Sebastiania macrocarpa</i> Müll. Arg	Guabiraba	127	143	26,85	28,54	12,85	14,42	3,90	3,41	14,53	15,46	19,85	21,48
NI*		Tiririca	-	1	-	0,20	-	0,02	-	1,14	-	0,45	-	0,11
		Cravinho	-	1	-	0,20	-	0,03	-	1,14	-	0,46	-	0,12
		Cipó de macaco	-	1	-	0,20	-	0,04	-	1,14	-	0,46	-	0,12
Total			473	501	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

em que: * N= número de indivíduos; NV= Nome vernacular; DR= densidade relativa; DO= Dôminancia; FR= frequência relativa; IVI = índice de valor de importância; IVC = índice de valor de cobertura; NI= Não identificadas. Dados do ano de 2016 obtidos de Feitosa, (2017).

Tabela 2 – Relação e parâmetros fitossociológicos de espécies encontradas na área II sob pastejo (2016-2022).

Família	Nome Científico	NV	N		DR		DO		FR		IVI%		IVC%	
			2016	2022	2016	2022	2016	2022	2016	2022	2016	2022	2016	2022
Asteraceae	<i>Gochnatia polymorpha</i>	Cambara	-	5	-	1,47	-	0,24	-	3,03	-	1,58	-	0,85
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. ex Steud	Frei Jorge	41	44	10,10	12,64	4,69	5,86	3,03	6,06	5,94	7,88	7,39	8,79
Combretaceae	<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Mofumbo	20	12	4,93	2,35	5,33	3,84	12,12	12,12	7,46	6,10	5,13	3,09
	<i>Combretum glaucocarpum</i> Mart. Eichler	Sipaúba	6	2	1,48	0,59	0,69	0,06	3,03	3,03	1,73	1,23	1,08	0,32
Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill	Marmeleiro	269	216	66,26	63,05	50,73	48,40	21,21	18,18	46,07	43,21	58,49	55,73
Fabaceae-	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth	Sabiá	13	18	3,20	4,99	16,06	20,22	9,09	12,12	9,45	12,44	9,63	12,60
Mimosoideae	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema Branca	2	17	0,49	4,99	0,17	2,35	3,03	6,06	1,23	4,46	0,33	3,67
	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir	Jurema Preta	29	13	7,14	4,40	13,14	6,88	18,18	12,12	12,82	7,80	10,14	5,64
Fabaceae- Caesalpinioideae	<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L. P. Queiroz	Catingueira	19	17	4,68	4,99	5,14	9,65	12,12	12,12	7,31	8,92	4,91	7,32
	<i>Libidia ferrea</i> (Mart. ex Tub.) L.P. Queiroz	Jucá	2	2	0,49	0,59	1,30	0,20	6,06	6,06	2,62	2,28	0,90	0,39
Rhamnaceae	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Juazeiro	1	1	0,25	0,29	1,69	1,15	3,03	3,03	1,65	1,49	0,97	0,72
Malvaceae	<i>Pseudobombax marginatum</i>	Imbiratanha	-	1	-	0,29	-	0,99	-	3,03	-	1,44	-	0,64
Myrtaceae	<i>Paramyrciaria</i> sp..	Goiabinha	2	-	0,49	-	0,21	-	3,03	-	1,24	-	0,35	-
Moraceae	<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Inharé	-	1	-	0,29	-	0,15	-	3,03	-	1,16	-	0,22
Total			406	349	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

em que: * N= número de indivíduos; NV= Nome vernacular; DR= densidade relativa; DO= Dôminancia; FR= frequência relativa; IVI = índice de valor de importância; IVC = índice de valor de cobertura; NI= Não identificadas. Dados do ano de 2016 obtidos de Feitosa, (2017).

A área I apresenta características que a enquadram como arbustivo-arbórea fechada (FEITOSA, 2017), com baixa ação antrópica. A cobertura do solo é de FTSS mais esparsa, em processo de sucessão secundária há 37 anos, sendo caracterizada por cobertura de árvores de médio e grande porte, e maior profusão do extrato herbáceo e arbustivo no período chuvoso de janeiro a maio (FEITOSA, 2017; CAVALCANTE, 2019). A área II também apresenta características que a enquadra como arbustivo-arbórea, porém, com ação antrópica, tendo em vista a exploração com pastagem nativa. A cobertura do solo é de FTSS raleada.

As espécies *Poincianella bracteosa* e a *Bauhinia cheliantha* são arbustos característicos dos estágios intermediários da sucessão secundária da Caatinga, encontram-se em baixa a elevada altitude, na maioria dos solos da Caatinga, com predominância nos Luvisolos e Argissolos (ARAÚJO FILHO, 2013) e possuem elevado teor de nitrogênio em suas folhas (SILVA, 2019).

As espécies pioneiras são as primeiras a se estabelecer em áreas que tiveram algum distúrbio (FAGUNDES; WEISSER; GANADE, 2018) é o caso da *Piptadenia stipulacea* que é uma árvore comumente encontrada nas margens das estradas e cursos d'água, e em abundância em áreas antropizadas. Outra pioneira é a espécie *Croton blanchetianus* é um arbusto presente em solos que possuem boas características físicas e químicas, como também, essa espécie reflete uma boa resposta ao caráter sucessional predominante em áreas do bioma Caatinga, por consequência de ações antrópicas, além de ser uma espécie que se reproduz facilmente (ARAÚJO FILHO, 2013; FAGUNDES; WEISSER; GANADE, 2018; DE LACERDA *et al.*, 2018; CAMPOS *et al.*, 2020; FERREIRA, 2021).

A quantidade de indivíduos inventariados e a diversidade de espécies da área I pode ser explicada como um reflexo da baixa ação antropogênica nos últimos 37 anos. Em um estudo feito no ano de 2016 nas parcelas da área I foram inventariados 466 indivíduos distribuídos em 10 famílias e 18 espécies, quando a área possuía 33 anos de regeneração (FEITOSA, 2017). Esse aumento representa um acréscimo de 7,5% ano⁻¹ nas espécies da área I.

Por outro lado, como reflexo da ação antrópica, a área II obteve um número de indivíduos inventariados muito baixo em relação à área I e comportamento similar quando comparado ao ano de 2016. No ano de 2016 foram inventariados 406 indivíduos, o que representa uma queda de 14% nesse período.

Em área de Caatinga, no estado do Ceará, foram listados 15 famílias e 27 espécies de plantas do componente arbóreo-arbustivo totalizando 258 indivíduos em um estrato de Caatinga (AGUIAR *et al.*, 2021). Outro estudo desenvolvido em um fragmento florestal de Caatinga,

foram inventariados 694 indivíduos, compreendendo 12 espécies distribuídas em 7 famílias botânicas (SOUZA et al., 2020). Vale ressaltar a dificuldades referente a comparações, visto que um dos fatores que contribui para essas diferenças nos valores de espécies amostradas, é o tipo de método de inclusão utilizado pelos autores (MEDEIROS et al., 2021).

Em relação às famílias, a Fabaceae possui maior frequência nos levantamentos fitossociológicos feitos no bioma Caatinga (PAIVA et al., 2021; SOUZA et al., 2020; MEDEIROS et al., 2021; REIS; MENDONÇA; FABRICANTE, 2022). Essa família constitui uma das famílias botânicas de maior importância econômica e medicinal, com diversas espécies provedoras de serviços ecossistêmicos, principalmente de recursos medicinais (ROSÁRIO et al., 2021; SANTOS et al., 2019).

A ampla distribuição da família Fabaceae deve-se principalmente pelas formações simbióticas entre suas espécies e bactérias fixadoras de nitrogênio, proporcionando uma absorção de compostos nitrogenados mais eficiente, algo indispensável para o crescimento das plantas, contribuindo também com a colonização de espécies. A família Fabaceae possui espécies com eficientes adaptações ao estresse hídrico (SA-FILHO et al., 2021; VASCONCELOS et al., 2019).

As espécies *Sebastiania macrocarpa*, *Bauhinia subclavata*, *Piptadenia stipulacea*, *Poincianella bracteosa*, *Mimosa caesalpiniiifolia* e *Cordia oncocalyx* foram as espécies de maior destaque na comunidade estudada, apresentando o maior número de indivíduos e, conseqüentemente, o maior valor de densidade relativa; apresentaram também maior frequência relativa, ocorrendo em todas as parcelas da área I. Com exceção apenas da espécie *Sebastiania macrocarpa* que apareceu apenas em três parcelas.

A espécie *Cordia oncocalyx*, presente apenas na área I, também apresenta relevância, sendo a que apresentou o segundo maior IVI e IVC. Isso se dá principalmente porque essa espécie desenvolve caules de diâmetros relativamente grandes (SOUZA et al., 2022), por isso a mesma alcança a maior dominância, ainda que seja apenas a sexta em número de indivíduos. É uma espécie considerada endêmica da FTSS (BRITO; DE ARAÚJO, 2009), com presença marcante em alguns levantamentos florísticos no estado do Ceará (SOUZA et al., 2022; COSTA E ARAÚJO, 2012). A expressiva presença desta espécie é um indicativo de que a área se encontra em estágio intermediários de sucessão secundária (ARAÚJO FILHO, 2013).

As espécies *Croton blanchetianus*, *Cordia trichotoma*, *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Poincianella bracteosa* e *Piptadenia stipulacea* contribuíram com o maior número de indivíduos na comunidade da área II, e conseqüentemente os maiores valores de densidade,

com ampla distribuição. Não obstante, no ano de 2016 foram inventariados 269 indivíduos da espécie *Croton blanchetianus*, logo observa-se que ocorreu uma alta na mortalidade dessa espécie durante o período de seis anos na área II (19,70% ano⁻¹), explicando a diminuição dos indivíduos inventariados na área II.

Algumas espécies como o *Croton blanchetianus* possuem uma área de fotossíntese maior que outras espécies, isso demanda uma maior perda de água que a planta armazena e conseqüentemente a planta fica mais vulnerável aos períodos de seca (FAGUNDES *et al.*, 2022). Estudo feito em um fragmento de FTSS no domínio de Caatinga consta esta espécie como uma das menos resistente ao fenômeno climático de anos secos consecutivos (CAMPOS *et al.*, 2020).

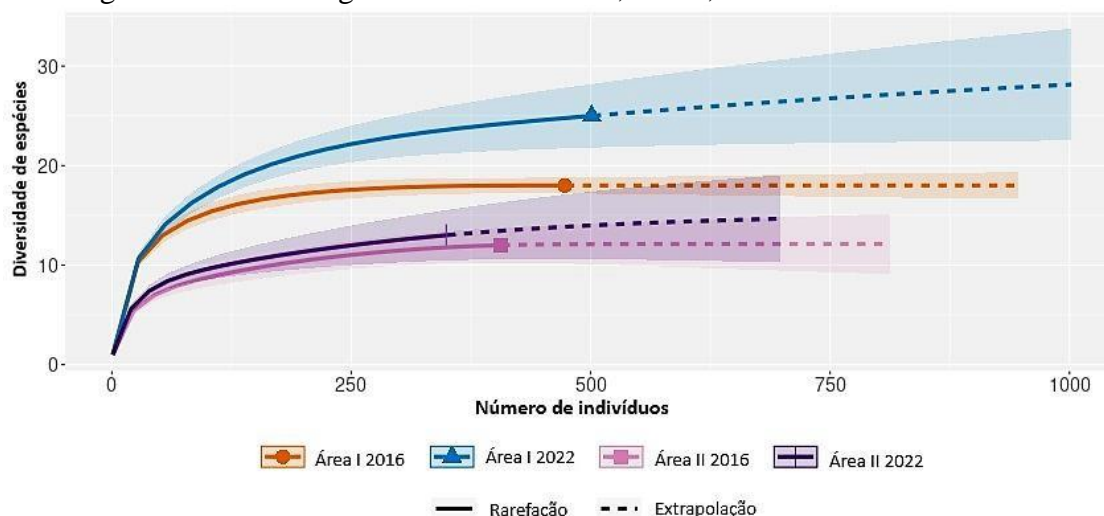
A similaridade florística consta que existe uma diferença entre as duas áreas de estudo, mostrando uma flora muito distante entre ambas. O valor encontrado foi de 0,31 na análise de similaridade de Jaccard está abaixo do valor mínimo (0,5) necessário para considerar a existência de similaridade florística entre duas áreas (GONZAGA *et al.*, 2013). O índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') para a área I foi maior do que na área II (Tabela 3). O pastejo praticado na área II, está contribuindo para a perda no número de indivíduos que as constituem, embora o índice de Shannon esteja maior em 2022 isto ocorreu por conta do aparecimento de apenas uma nova espécie.

Tabela 3 – Índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') dois fragmentos de Caatinga em diferentes anos, Ceará, Brasil.

Ano	Shannon-Weaver (H') nats.ind ⁻¹	
	Área I	Área II
2016 (FEITOSA, 2017)	2,35	1,26
2022	2,40	1,41

Com base na rarefação (Figura 9) existe uma diferença significativa de riqueza de espécies entre as áreas de estudo; a riqueza da Área I (20,5) é 2,5 vezes maior do que a da área II. Na comparação entre os anos, o uso para pastejo na área II afetou a quantidade de espécies, observa-se que a quantidade de espécies da área II diminuiu em relação ao ano de 2022.

Figura 9 – Curva de amostragem de rarefação e extrapolação baseada no tamanho da amostra de dois fragmentos de Caatinga em diferentes anos, Ceará, Brasil.



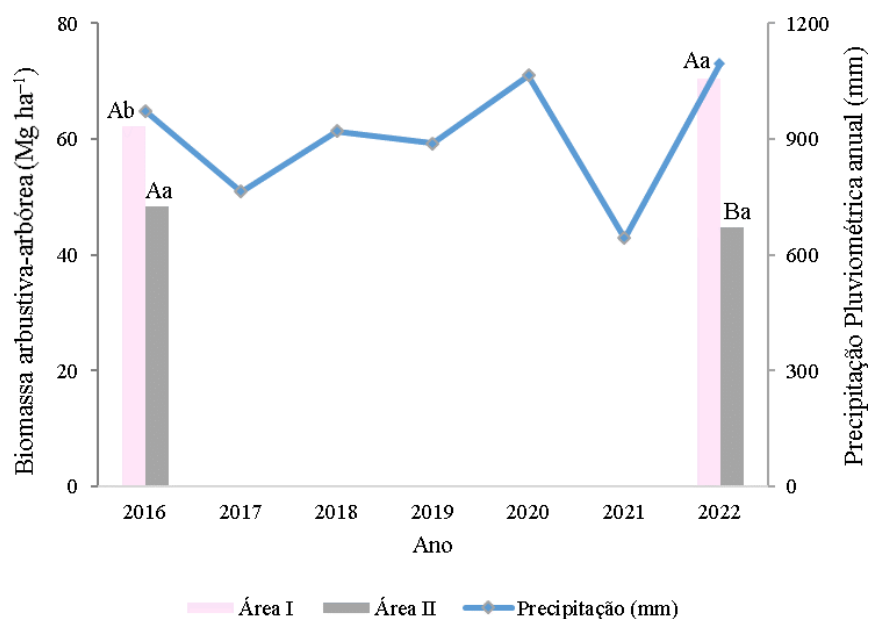
*As linhas contínuas indicam interpolação (rarefação), enquanto as linhas tracejadas denotam extrapolação. As faixas coloridas correspondem ao intervalo de confiança a 95%. Dados do ano de 2016 obtidos de Feitosa, (2017).

O valor de Shannon-Weaver (H') encontrado neste estudo foi próximo ao encontrado em um estudo feito na Caatinga ($2,54 \text{ nats.ind}^{-1}$) para as espécies amostradas (TROVÃO *et al.*, 2007). Em um outro estudo feito em uma área de Caatinga sob regeneração encontrou-se o valor de Shannon-Weaver (H') de $1,80 \text{ nats.ind}^{-1}$, tendo-se ressaltado que o processo de regeneração em ambientes de clima semiárido acontece de forma lenta, pois depende de alguns fatores como a precipitação, a dispersão de sementes e da rebrota de tocos e raízes (SANTANA *et al.*, 2021; LUNA; LOPES, 2021). A biodiversidade é um indicador-chave fundamental que afeta diretamente os serviços ecossistêmicos (BARROS *et al.*, 2021; ISBELL *et al.*, 2011).

3.3.2 Estoques de Carbono da biomassa acima do solo

A biomassa total acima do solo da área I (2016-2022) foi de $62,31 \text{ Mg ha}^{-1}$ para $70,44 \text{ Mg ha}^{-1}$, um acréscimo de $13,4\% \text{ ha ano}^{-1}$ (Figura 10). A biomassa total da área II (2016/2022) foi de $48,43 \text{ Mg ha}^{-1}$ para $44,82 \text{ Mg ha}^{-1}$, um decréscimo de $8,3\% \text{ ha ano}^{-1}$.

Figura 10 – Estoque de biomassa em dois fragmentos de Caatinga (2016-2022).

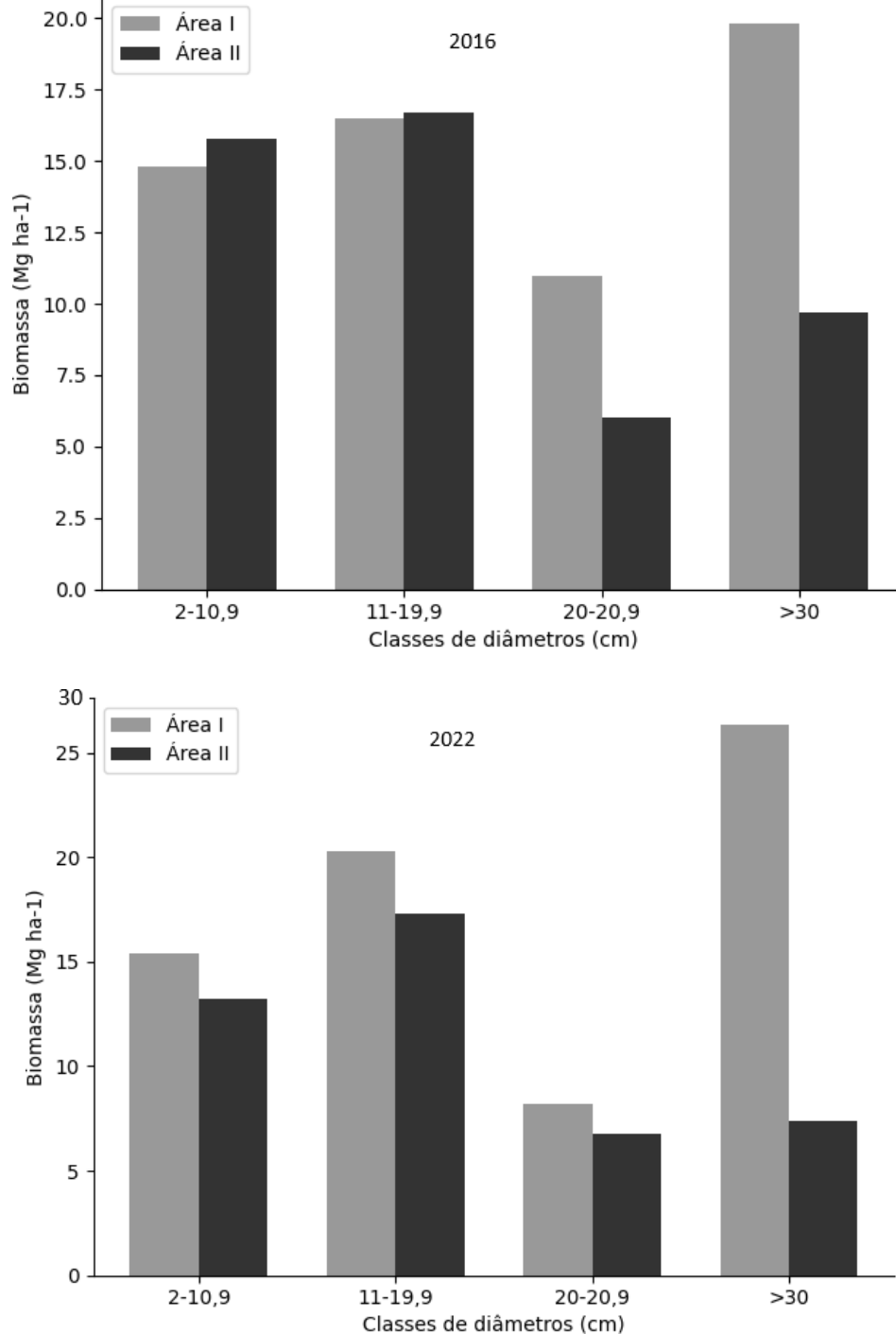


*Letras minúsculas iguais entre anos não diferem entre si pelo teste de Wilcoxon ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas iguais entre áreas não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney ($p \leq 0,05$). Dados do ano de 2016 obtidos de Feitosa, (2017).

Os valores totais de biomassa quantificados na área II foram semelhantes ao encontrado em uma área de Caatinga formada em grande porcentagem por rebrotas, que obteve um valor de $44,47 \text{ Mg ha}^{-1}$ (CAMPOS *et al.*, 2020). O estoque de biomassa da área I foi superior comparado a outros estudos em FTSS (COSTA *et al.*, 2014; DE LIMA *et al.*, 2018).

O acúmulo de biomassa aérea foi maior em classe de diâmetro acima de 30 cm, contribuindo para alta biomassa na área I nos dois períodos (Figura 11). As classes de diâmetro (1–19,9 cm) contribuíram quase que igualmente para a biomassa das áreas I e II.

Figura 11 – Distribuição da biomassa acima do solo em diferentes classes de diâmetro nas áreas I e II, Ceará-Brasil.



As menores classes de diâmetro 2 a 10,9 cm obtiveram o maior número de indivíduos, evidenciando que a rebrota é uma das principais incentivadoras da regeneração como também auxilia na resiliência das FTSS principalmente em áreas que passaram por algum distúrbio (BARROS *et al.*, 2021). A biomassa aérea é estimulada principalmente pela estrutura e diversidade de espécies. A maior diversidade de espécies aumenta também o estoque de carbono

em ambientes de florestas, portanto, a biomassa e o armazenamento de C são diretamente influenciados por atributos estruturais e fatores ambientais (LIU *et al.*, 2018; KOTHANDARAMAN *et al.*, 2020; POORTER *et al.*, 2020).

A área I apresentou o maior estoque médio de carbono 28 Mg ha⁻¹ em 2016 e 31 Mg ha⁻¹ em 2022; a área II teve estoque médio de carbono de 22 Mg ha⁻¹ em 2016 e 20 Mg ha⁻¹ (Figura 12). A área I apresentou crescimento significativo durante o período de seis anos ($p < 0,05$), em decorrência do crescimento das espécies já presentes, do aparecimento de novas espécies e pela presença da espécie *Cordia oncocalyx*, espécie com maior acúmulo de carbono da área I. A área I mostrou também uma grande diversidade de espécies. O decréscimo de estoque de carbono na área II entre os períodos não foi significativo ($p > 0,05$). Entretanto, destaque-se que a perda observada se deva principalmente à morte de plantas das espécies *Mimosa tenuiflora* e *Croton blanchetianus*.

Figura 12 – Estoque de Carbono acima do solo dos anos de 2016 e 2022, na área I em sucessão secundária e área II sob pastejo, Fazenda Experimental Vale do Curu, Ceará-Brasil.



*Letras minúsculas iguais entre anos não diferem entre si pelo teste de Wilcoxon ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas iguais entre áreas não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney ($p \leq 0,05$). Dados do ano de 2016 obtidos de Feitosa, (2017).

Na comparação entre as áreas é explícita a diferença significativa, sendo a área I com estoque de carbono superior ao da área II no ano de 2022 ($p < 0,05$) e embora o estoque de carbono tenha sido maior na área I em 2016 não foi significativo comparado com o ano de 2022 ($p > 0,05$). O estoque de carbono na vegetação está relacionado com o estado de conservação e uso; esses estoques têm uma tendência de crescer com a idade de sucessão (SANTOS, 2021). Portanto, o maior estoque de carbono na área I decorreu em consequência do processo de sucessão secundária que naturalmente eleva a diversidade de espécies e a biomassa. A área II

apresenta plantas mais espaçadas e com menor porte de diâmetro, comparando-a com a área I. Isso se reflete em um menor volume de madeira e, conseqüentemente, menos biomassa e carbono estocado por unidade de área.

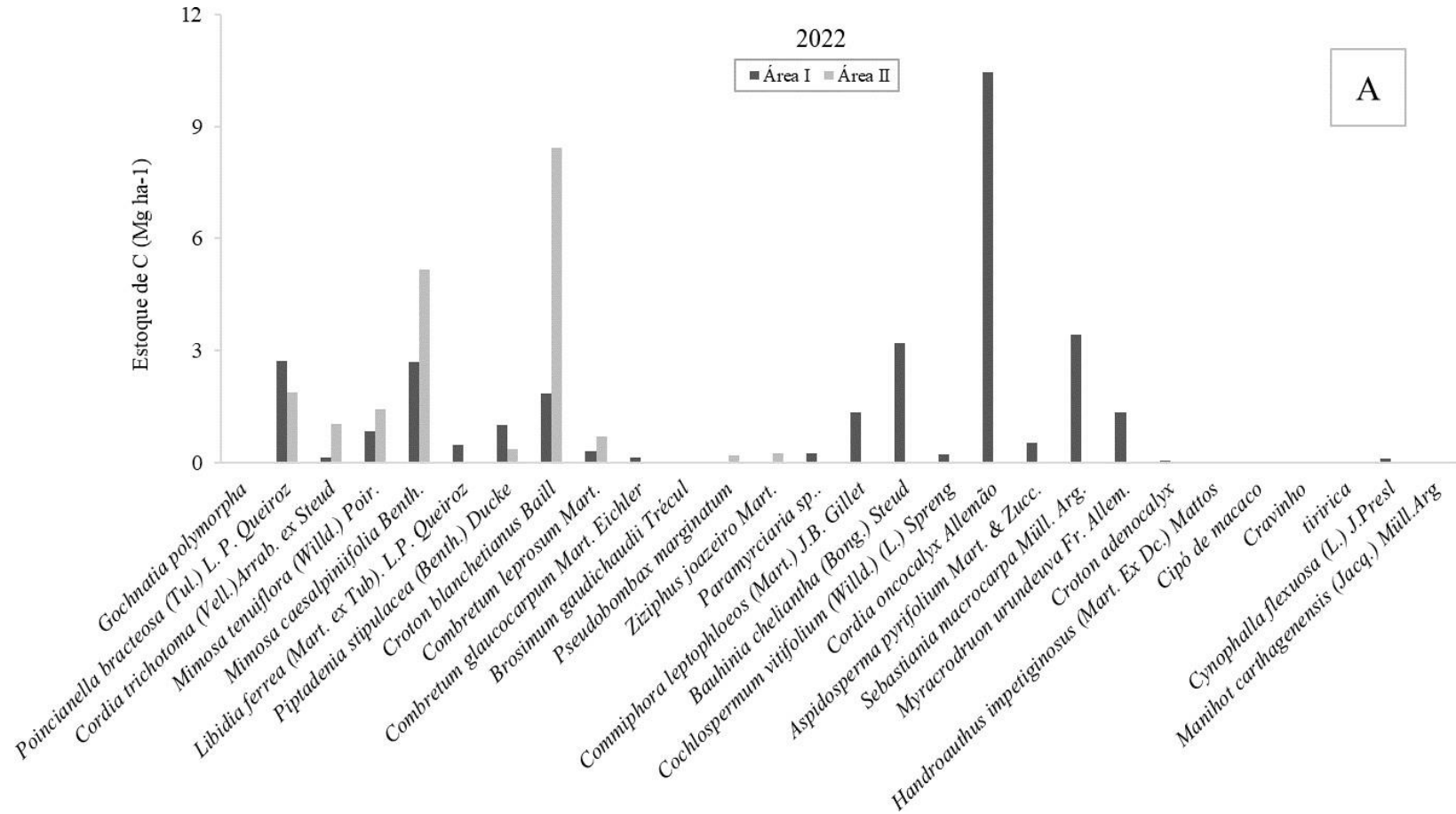
A dinâmica do carbono pode mudar sob eventos periódicos de seca extrema (CALVO-RODRIGUEZ *et al.*, 2021). O estoque de carbono no ano de 2016 teve influência da baixa precipitação dos anos anteriores. Além disso, a biomassa acima do solo do bioma Caatinga leva anos para se estabilizar após um distúrbio (COSTA *et al.*, 2014).

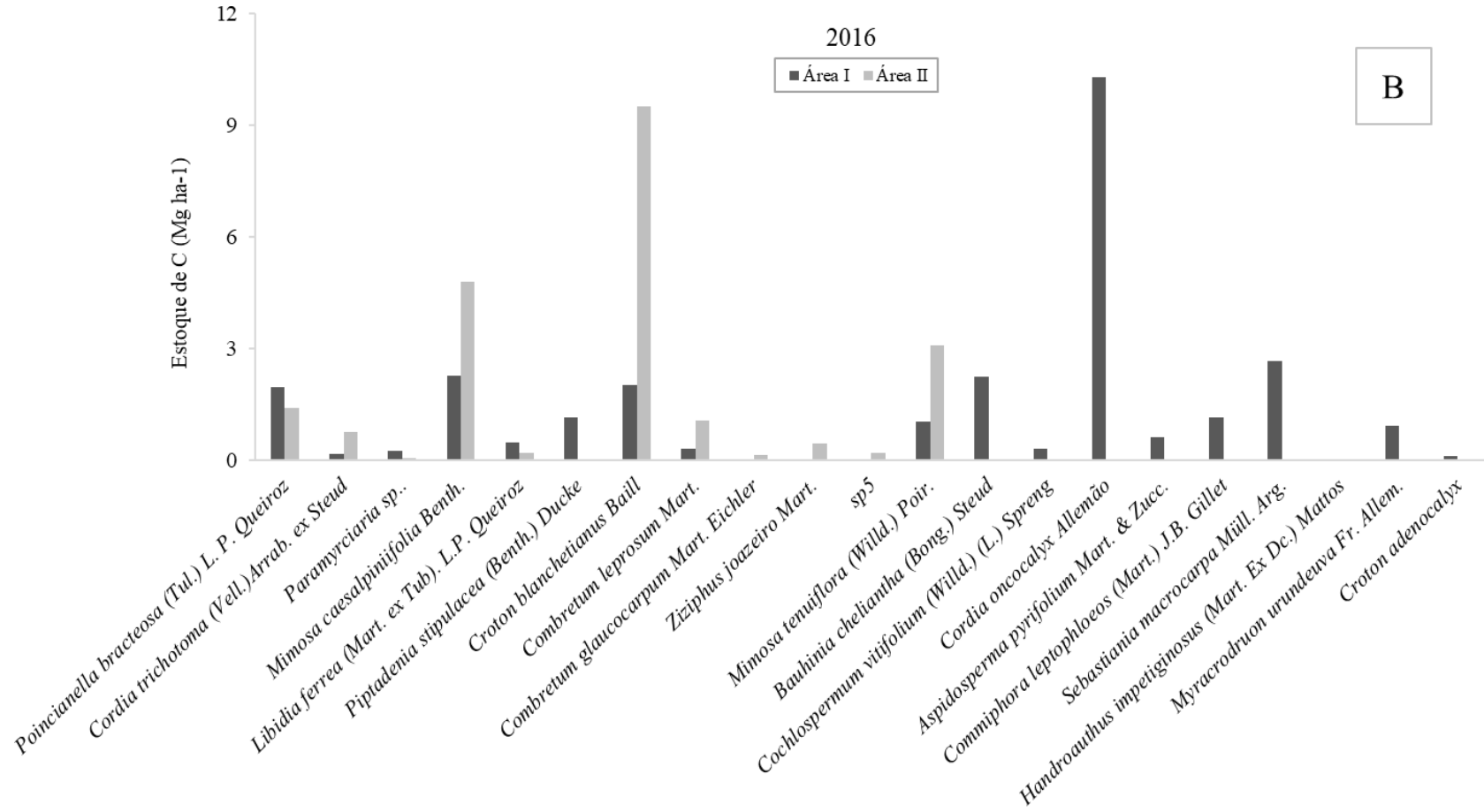
No bioma Caatinga existem cinco estádios de uma sucessão secundária progressiva; a fase dois trata-se de um estágio arbustivo, com duração de até 18 anos. Nessa fase, as espécies pioneiras podem alcançar uma elevada densidade e abundância (ARAÚJO FILHO, 2013). Como exemplo de espécies pioneiras temos a *Mimosa tenuiflora* e o *Croton blanchetianus* (FAGUNDES; WEISSER; GANADE, 2018), encontradas em maior quantidade na área II.

A fase três trata-se de um estágio arbustivo-arbóreo, com início de 20 anos após o começo do pousio, aproximadamente. A densidade das espécies pioneiras diminuiu nessas áreas. Ao contrário de muitas espécies arbóreas da Caatinga, as espécies arbustivas pioneiras são heliófilas, explicando assim, a incapacidade de regeneração de sua população sob sombreamento (ARAÚJO FILHO, 2013).

Frente aos estoques de C a espécie *Cordia oncocalyx* foi a espécie com maiores valores em estoque de C da área I, e a espécie *Croton blanchetianus* influenciou no maior estoque de C da área II (Figura 13). Constata-se que a diversidade aumenta o armazenamento de carbono em FTSS.

Figura 13 – Estoque de C das espécies inventariadas na área I e área II no ano 2022 (A), e no ano de 2016 (B) em dois fragmentos de Caatinga, Ceará-Brasil.





As espécies da Caatinga possuem estratégias distintas para armazenar água, ajudando as plantas a sobreviver durante as estações úmidas e secas como por exemplo; podem aumentar a alocação de raízes, são capazes de aumentar o armazenamento de água na casca e na madeira, aumentam sua capacidade de adquirir água durante os períodos secos esporádicos e ao perderem as folhas, evitam o estresse hídrico (FAGUNDES *et al.*, 2022; TROVÃO *et al.*, 2007; DE LIMA *et al.*, 2021). A espécie *Cordia oncocalyx* é uma árvore típica dos estágios intermediários da sucessão secundária da Caatinga; é uma espécie secundária tardia, mas que rebrota com facilidade, é heliófila e se adapta bem à maioria dos tipos de solos, é uma indicadora que a área está próxima do clímax (ARAÚJO FILHO, 2013; GIRÃO *et al.*, 2022).

Uma relação ecológica foi importante para o aporte de C na área II, nela verificou-se a influência da espécie *Croton blanchetianus* no de C na área II é justificada por conta desta espécie ser pioneira. A área II possui elevada densidade desta espécie e isto refletiu no armazenamento de carbono. Atinar a relação entre a diversidade de espécies e estoque de C em FTSS é fundamental para fazer inferências sobre o potencial de armazenamento de carbono de florestas que diferem na diversidade de espécies (JOSHI; DHYANI, 2019).

As variações no estoque de carbono nas áreas de estudo (I e II) estão diretamente relacionadas com o tipo de uso do solo, diferentes classes de diâmetro e composição de espécies arbóreas. Ou seja, espécies com um valor de diâmetro alto são as espécies com maior estoque de C. A área II é composta por espécies com diâmetros intermediários (1–19,9); isto responde ao porquê de a área II ter um menor estoque de Carbono em relação a área I, reflexo também do intenso uso para pasto.

O tipo de uso do solo e a classe de tamanho do diâmetro das espécies arbóreas influenciam o potencial das florestas atuarem como sumidouro de C (TERAKUNPISUT; GAJASENI; RUANKAWE, 2007). Portanto, áreas sob qualquer tipo de intervenção de atividades antrópicas que repercutem em mudanças na composição e estrutura da vegetação, irão promover a redução da taxa de biomassa e contribuem para a variação de estoque de C (BRITO MORAIS *et al.*, 2017).

A regulação climática global por meio do sequestro e estoque de carbono é um dos serviços ecossistêmicos cruciais fornecidos pelas florestas no qual equilibra as taxas de perdas de C (UNFCCC, 1997; TETEMKE *et al.*, 2021). O estoque de C da área I consegue aumentar lentamente ao passar dos anos, mesmo com a precipitação abaixo da média, o que possibilita contínua retirada de CO₂ atmosférico ao longo dos anos, embora a biomassa sofre fortemente com a influência da sazonalidade climática (FEITOSA, 2017).

3.4 Conclusão

A área sob pousio encontra-se em estágio sucessional intermediário, tendo apresentado relevante importância de espécies características deste estágio, enquanto que a área sob pastejo sofre pelo impacto contínuo e ainda está em estágio sucessional inicial, com o predomínio da espécie *Croton blanchetianus* Baill (Marmeleiro).

A riqueza de espécies da área em pousio é maior que na área sob pastejo.

O porte das espécies tem forte influência no incremento de biomassa das Florestas Tropicais Sazonalmente Secas

As áreas de floresta tropical sazonalmente secas que passaram por uma intervenção antrópica mais intensa demoram para regenerar o estrato arbóreo e passam por um processo de regeneração mais lenta, proporcionando a essas áreas um menor estoque de carbono em relação às áreas de FTSS em pousio a mais tempo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I.; OLIVEIRA PINTO, O. R., LOPES, E. C.; SENA, E. S.; MORAES, J. G. L.; SILVA, F. D. B. Composição florística, estrutura e biomassa de plantas arbóreas/arbustivas da Caatinga. **Nature and Conservation**, v. 14. n.1 p. 71-82. 2021.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, M. J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ALVES, J. B.; SILVA, E. M. DA.; RICKES, C. P. Downscaling dinâmico de precipitação e veranicos no estado do Ceará. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, 385–393. 2017.
- ARAÚJO FILHO, J. Manejo pastoril sustentável da caatinga. IICA, Brasilia (Brasil) Projeto Dom Helder Camara, Recife (Brasil) Projeto SEMEAR, Brasilia (Brasil) Associação Brasileira de Agroecologia, Rio Grande do Sul (Brasil), 2013.
- ARSLAN, A. K.; YAĞAR, Y.; ÇOLAK, C.; YOLOĞLU, S. R Shiny Paketi ile Kruskal Wallis H Testi için İnteraktif Bir Web Uygulamas. **İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi**, v.7, n.2, p.49-55. 2018.
- BARROS, M. F.; RIBEIRO, E. M.; VANDERLEI, R. S.; DE PAULA, A. S.; SILVA, A. B.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. Resprouting drives successional pathways and the resilience of Caatinga dry forest in human-modified landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118881, 2021.
- BARROS, I. O.; SOARES, A. A. Adaptações anatômicas em folhas de marmeleiro e velame da caatinga brasileira. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 192-198, , 2013.
- BATISTA, F. G.; OLIVEIRA, B. T. DE; ALMEIDA, M. E. DE A.; BRITO, M. S. DE; MELO, R. R. DE; ALVES, A. R. Florística e fitossociologia em um remanescente florestal de caatinga no município de Caicó-RN, brasil. Desafios. **Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 6, n. 3, p. 118-128, 2019.
- BÔAS, H. V.; MIRANDA, E. N.; ARAÚJO, L. A.; CARVALHO, M. C.; DA PÁSCOA, K. J. V.; GOMIDE, L. R. Influência de gradientes geográficos na estimativa do estoque de carbono em floresta estacional semidecidual. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 2, p. 137-145, 2019.
- BLACKIE, R.; BALDAUF, C.; GAUTIER, D.; GUMBO, D. J.; KASSA, H.; PARTHASARATHY, N.; SUNDERLAND, T. C. 2014. As florestas tropicais secas: O estado de conhecimento global e recomendações para futuras pesquisas. Documento para Discussão. Bogor, Indonésia: CIFOR.
- BRITO MORAIS, Y. C.; BEZERRA DE ARAÚJO, M. D. S.; DE MOURA, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; DE QUEIROGA MIRANDA, R. Análise do Sequestro de Carbono em áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 585-599, 2017.

BRITO, L. B.M; DE ARAÚJO, F. S. Banco de sementes de *Cordia oncocalyx* Allemão em uma área de caatinga sobre planossolo. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, 2009.

BROWN, S.; LUGO, A.; CHAPMAN, J. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. **Canadian Journal of Forestry Research**, v.16, p.390-394, 1986.

CABRAL, G. A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Spatial Structure and Aboveground Biomass in Different Caatinga Succession Stages, in Santa Terezinha, Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 566-574, 2013.

CALVO-RODRIGUEZ, S.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; DURÁN, S. M.; DO ESPIRITO SANTO, M. M.; FERREIRA NUNES, Y. R. Dynamics of carbon accumulation in tropical dry forests under climate change extremes. **Forests**, v. 12, n. 1, p. 106, 2021.

CAMPOS, D. A.; ANDRADE, E. M.; CASTANHO, A. D. A.; FEITOSA, R. C.; PALÁCIO, H. Q. A. Biomass Dynamics in a Fragment of Brazilian Tropical Forest (Caatinga) over Consecutive Dry Years. *Applied Sciences*. v.10, n.21, p.1-12, 2020.

CAMPOS, D. A.; DE ANDRADE, E. M. Seasonal trend of climate variables in an area of the Caatinga phytogeographic domain. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 15, 2021.

CASTANHO, A.D.; COE, M.; ANDRADE, E.M.; WALKER, W.; BACCINI, A.; CAMPOS, D.A.; FARINA, M. A close look at above ground biomass of a large and heterogeneous Seasonally Dry Tropical Forest-Caatinga in North East of Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, 2020.

CASTRO-MAGNANI, M.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A.; METTERNICHT, G.; LAAKSO, K. Integration of remote-sensing based metrics and econometric models to assess the socio-economic contributions of carbon sequestration in unmanaged tropical dry forests. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 9, p. 100100, 2021.

COSTANZA, R.; GROOT, R.; BRAAT, L.; KUBISZEWSKI, I.; FIORAMONTI, L.; SUTTON, P.; FARBER, S.; GRASSO, M. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Services**, v. 28, p. 1-16. 2017.

COSTA, T. L.; SAMPAIO, E. V.; SALES, M. F.; ACCIOLY, L. J.; ALTHOFF, T. D.; PAREYN, F. G.; MENEZES, R. S. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and soil**, v. 378, p. 113-123, 2014.

COSTA, G. F. D.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta amazônica**, v. 37, p. 229-234, 2007.

CPRM – COMPANHIA DE PRODUÇÃO DE RECURSOS MINERAIS. (2003) Atlas de Geologia e Recursos Minerais do Ceará: Sistema de Informações Geográficas SIG e mapa na escala 1:500.000. In: Cavalcante, J. C.; Vasconcelos, A. M.; Gomes F. E. M. Serviço Geológico do Brasil/ Secretária dos Recursos Hídricos do Ceará. Fortaleza: CPRM Serviço Geológico do Brasil, 1 CD ROM.

DE LACERDA, A. V.; DE LIMA, J. P. P.; DE OLIVEIRA NUNES, T. J.; GOMES, A. C., DORNELAS, C. S. M.; DE ALCÂNTARA, H. M.; BARBOSA, F. M. Population Dynamics of *Croton blanchetianus* Baill. in a Caatinga Area in the Brazilian Semi-Arid. **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, n. 4, p. 920-932, 2018.

DE LIMA, T. L.; FERREIRA, R. L. C.; DA SILVA, J. A. A.; ALVES JUNIOR, F. T.; DE LIMA, A. L. A.; CÉSPEDES, G. G.; LONGHI, R. V. Stump regrowth and estimation of reconstituting Caatinga shrub-tree biomass under forest management. **Scientia Forestalis**, n. 119, p. 449-458, 2018.

DE LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N.; CASTRO, C. C.; ANTONINO, A. C. D.; DE MELO, A. L.; GONÇALVES-SOUZA, T.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Phenology of high-and low-density wood deciduous species responds differently to water supply in tropical semiarid regions. **Journal of Arid Environments**, v. 193, p. 104594, 2021.

DE SOUZA, Danilo Diego. **Adaptações de plantas da Caatinga**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

DOS SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. D. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; PIMENTA, A. S.; PINTO, E. M.; MARINHO, I. V. Estoques de volume, biomassa e carbono na madeira de espécies da Caatinga em Caicó, RN. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 1-7, 2016.

FAGUNDES, M. V.; SOUZA, A. F.; OLIVEIRA, R. S.; GANADE, G. Functional traits above and below ground allow species with distinct ecological strategies to coexist in the largest seasonally dry tropical forest in the Americas. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, p. 930099, 2022.

FAGUNDES, M.; WEISSER, W.; GANADE, G. The role of nurse successional stages on species-specific facilitation in drylands: Nurse traits and facilitation skills. **Ecology and evolution**, v. 8, n. 10, p. 5173-5184, 2018.

FEITOSA, Ramon Costa. **Estoque de carbono em floresta tropical sazonalmente seca no nordeste do brasil: uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FERREIRA, Maria Beatriz. **Disposição espacial de *Mimosa tenuiflora*, *Piptadenia stipulacea* e *Cnidoscolus quercifolius* inermes espontâneas**. 2021. 59f. (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2021.

FREITAS, C. V. M.; SILVA, M. L. P.; Mudanças do Clima: Análise das Conferências que trataram do Mercado de Carbono e seus principais resultados. **Braz. J. of Develop**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 75332-75342. 2020.

FREITAS, V. L. B.; SILVA, A. F.; NASCIMENTO, A. F. Quantificação da biomassa das espécies florestais em área de caatinga arbórea. 2019. **Anais.. IV congresso internacional das ciências agrárias**.

GOMES, Francisco Emanuel Firmino. **Processos hidrossedimentológicos em uma bacia experimental do Semiárido brasileiro**. 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

GIRÃO, E. G.; DA SILVA ARAÚJO, Í. M.; DOS SANTOS GARRUTI, D.; DA ROCHA, R. F. J.; DE OLIVEIRA, V. P. V.; CARNEIRO, K. L. B. Avaliação dos aspectos de qualidade do pau-branco (*Cordia oncocalyx* allemão) e outras madeiras da caatinga. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 3, p. 228-238, 2022.

GONZAGA, A. P. D., PINTO, J. R. R., MACHADO, E. L. M., FELFILI, J. M. Similaridade florística entre estratos da vegetação em quatro Florestas Estacionais Deciduais na bacia do Rio São Francisco. **Rodriguésia**, v. 64, p. 11-19, 2013.

HIGA, R. C. V.; CARDOSO, D. J.; ANDRADE, G. de C.; ZANATTA, J. A.; ROSSI, L. M. B.; PULROLNIK, K.; NICODEMO, M. L. F.; GARRASTAZU, M. C.; VASCONCELOS, S. S.; SALIS, S. M. Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal [recurso eletrônico]. 1 ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2014.

ISELL, F.; CALCAGNO, V.; HECTOR, A.; CONNOLLY, J.; HARPOLE, W. S.; REICH, P. B.; LOREAU, M. High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. **Nature**, v. 477, n. 7363, p. 199-202, 2011.

JACCARD, Paul. The distribution of the flora in the alpine zone. 1. **New phytologist**, v. 11, n. 2, p. 37-50, 1912.

JOSHI, R. K.; DHYANI, S. Biomass, carbon density and diversity of tree species in tropical dry deciduous forests in Central India. **Acta Ecologica Sinica**, v. 39, n. 4, p. 289-299, 2019.

KOOPMAN, K. R.; STRAATSMA, M. W.; AUGUSTIJN, D. C.; BREURE, A. M. LENDERS, H. J. R., STAX, S. J.; LEUVEN, R. S. E. W. Quantifying biomass production for assessing ecosystem services of riverine landscapes. **Science of the total environment**, v. 624, p. 1577-1585, 2018.

KOTHANDARAMAN, S.; DAR, J.A.; SUNDARAPANDIAN, S.; DAYANANDAN, S.; KHAN, M.L. Ecosystem-level carbon storage and its links to diversity, structural and environmental drivers in tropical forests of Western Ghats, India. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-15, 2020.

LARCHER, W. 2000. Ecofisiologia vegetal. RiMa, São Carlos. 531 p.

LIRA, Daniely Lidiany Costa. **Assoreamento em densas redes de reservatórios: o caso da bacia hidrográfica da barragem Pereira de Miranda, CE**. 2012. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

LIU, X.; TROGISCH, S.; HE, J. S.; NIKLAUS, P. A.; BRUELHEIDE, H.; TANG, Z.; MA, K. Tree species richness increases ecosystem carbon storage in subtropical forests. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 285, n. 1885, p. 20181240, 2018.

- LUNA, M. T. S.; LOPES, S. F. estrutura e regeneração de um fragmento de caatinga no agreste paraibano. In: Maria José Lima da Silva, Carlos Henrique Gadelha Meneses, Fabiana Faustino da Cruz (org.). **Rede de Saberes**, v.2, Campina Grande: EDUEPB, 2021, p.85.
- MAGURRAN, A. E. Ecological diversity and its measurement. Croom Helm, London, 178. 1988.
- MAGERL, A.; MATEJ, S.; KAUFMANN, L.; LE NOE, J.; ERB, K.; GINGRICH, S. Forest carbon sink in the US (1870–2012) driven by substitution of forest ecosystem service flows. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 176, p. 105927, 2022.
- MARKESTEIJN, L.; POORTER, L.; BONGERS, F.; PAZ, H.; SACK, L. Hydraulics and life history of tropical dry forest tree species: coordination of species' drought and shade tolerance. **New phytologist**, v. 191, n. 2, p. 480-495, 2011a.
- MARKESTEIJN, L.; POORTER, L.; PAZ, H.; SACK, L.; BONGERS, F. Ecological differentiation in xylem cavitation resistance is associated with stem and leaf structural traits. **Plant, Cell & Environment**, v. 34, n. 1, p. 137-148, 2011b.
- MEDEIROS, N. C. G.; SOUSA, S. M. S.; MONTEIRO, M. M.; AZEVEDO, L. K. S.; SALES, F. DAS C. V. Levantamento Florístico e Fitossociológico em Remanescente Florestal em Patos-PB. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 8, n. 1, p. 120-129, 17 mar. 2021.
- MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 181-186, 2010.
- OLIVEIRA, G. A.; SILVA, L. F.; AGOSTINHO, P. R.; SOARES, J. A. C.; SERRANO, M. R.; PEREIRA, Z. V.; NASCIMENTO, J. S.; PADOVAN, M. P. Valoração econômica de sequestro de carbono em sistemas agroflorestais biodiversos no bioma cerrado. **Editora Científica Digital**, v. 31, P. 357-366. 2021.
- OLIVEIRA, L. C.; ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G.; FERNANDES, F. B. P. Frequência e distribuição espacial de veranicos no estado do Ceará. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido, 2., 2015, Quixadá. **Anais [...]**. Quixadá: MASSA, 2015.
- PAIVA, C.D.G.; MORO, M.F.; SOUSA, L.O.F.; BALDAUF, C. Fitossociologia da caatinga na Floresta Nacional de Açú, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e entorno: diversidade e biogeografia do componente lenhoso. **Hoehnea [online]**, v. 48. p. 1-11. 2021.
- PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; RAYMER, P. C. L.; RIBEIRO FILHO, J. C.; PEREIRA, F. J. S. Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**. [s.l.], v. 47, p. 32-40. 2016.
- POORTER, L.; VAN DER SANDE, M. T.; THOMPSON, J.; ARETS, E. J.; ALARCÓN, A.; ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, J.; PEÑA-CLAROS, M. Diversity enhances carbon storage in tropical forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 11, p. 1314-1328, 2015.
- PULLA, S.; RAMASWAMI, G.; MONDAL, N.; CHITRA-TARAK, R.; SURESH, H. S.;

DATTARAJA, H. S.; SUKUMAR, R. Assessing the resilience of global seasonally dry tropical forests. **International Forestry Review**, v. 17, n. 2, p. 91-113, 2015.

QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M. F.; MORO, M. F. Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. **Caatinga**, [S.L.], p. 23-63, 2017.

REIS, D. O.; MENDONÇA, D. de A.; FABRICANTE, J. R. Levantamento florístico e fitossociológico do estrato arbustivo-arbóreo de uma área de Caatinga em Pernambuco, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 7, n. 1, p. 041–051, 2022.

RIBEIRO, Kelly. **Mudança no uso do solo e emissões de gases de efeito estufa (GEE) em diferentes coberturas vegetais na caatinga brasileira**. 2017. Dissertação (Mestrado)– Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2017.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FIGUEIREDO, M. A. Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico: ecossistema caatinga. **Sociedade Botânica do Brasil**. v. 24, 2013.

ROSÁRIO, R. G. A.; RODRIGUES, M. S.; ALVES, E. S. F.; GOMES, M. A. F.; COSTA, M. V. Estudo comparativo entre conhecimento popular e científico de plantas medicinais de espécies da família fabaceae. **Extensão Rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar - Volume 2**, [s.l.], p. 206-212, 2021.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, G. C. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botânica Brasílica**, n. 19, v. 4, p. 935-943. 2005.

SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estoques e fluxos de carbono no semiárido nordestino: estimativas preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 1275-1291, 2011.

SANTOS, Maiara Pedral dos. **Estimativa de estoques de carbono da biomassa para áreas de Caatinga de Pernambuco**. 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2021.

SA-FILHO, G. F.; SILVA, A. I. B.; OLIVEIRA, L. C.; CAVALCANTE, J. S.; CAVALCANTI, J. R. L. P.; GUZEN, F. P. Levantamento ciênciométrico da presença de potencial terapêutico anti-inflamatório em plantas nativas da caatinga brasileira. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, v. 13 n. 1, p.87-107, 2021.

SANTOS, N. M.; SILVA FILHO, C. R.; GUEDES, J. C. F.; COSTA, D. F. D. S. Identificação dos serviços ecossistêmicos de provisão prestados pela caatinga na microrregião do seridó ocidental, Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v.21, n.2, p.477-490. 2019.

SANTANA, J. A.; ZACCHARIAS, A. F. S.; SILVA, A. B.; FREIRE, A. S. M.; ZACCHARIAS, E. G. Florística, Fitossociologia e Índices de Diversidade da Caatinga em Assentamento Rural no Rio Grande do Norte, Brasil. **Biodiversidade Brasileira - Biobrasil**, v.11, n.1, p. 1-13. 2021.

SILVA, J. V. C. L.; FERRIS, H.; CARES, J. E.; ESTEVES, A. Effect of land use and seasonality on nematode faunal structure and ecosystem functions in the Caatinga dry forest. **European Journal Of Soil Biology**, [s.l.], v. 103, p. 103296, mar. 2021a.

SILVA, M. L. O.; LOPES, K. P.; DE ALMEIDA LEITE, M. I.; CAMPOS, K. W. N.; DE FRANÇA SOARES, A. K. Áreas degradadas no Semiárido: Causas, situação e alternativas de recuperação. **Ciências Rurais em Foco**, v. 3, p. 22. 2021b.

SILVA, F. R.; GONÇALVES-SOUZA, T.; PATERNO, G. B.; PROVETE, D. B.; VANCINE, M. H. Análises ecológicas no R. – 1.ed. – Recife, PE São Paulo Nupeea Canal 6, 2022. 640 p

SILVA, Elizabete Cristina Araújo. **Estequiometria de nitrogênio e fósforo foliar de plantas arbóreas em áreas de Caatinga sob condições distintas**. 2018. 56f. Mestrado Agricultura e Ambiente (PPGAA) UFAL, *Campus* Arapiraca, Unidade Educacional ARAPIRACA.

SOUZA, M. R.; FERREIRA, M. B.; SOUSA, G. G. de; ALVES, A. R.; HOLANDA, A. C. de. Caracterização florística e fitossociológica do componente lenhoso de um fragmento florestal de caatinga em serra do mel, Rio Grande do Norte, Brasil. **Nativa**, v. 8, n. 3, p. 329-335, 2020.

SOUZA, E. B. D.; NEPOMUCENO, F. Á. A.; SANTOS, F. D. S.; ARAÚJO, F. F. D.; NEPOMUCENO, I. V.; PAULA, A. S. D; MORO, M. F. Flora and physiognomy of Caatinga vegetation over crystalline bedrock in the northern Caatinga domain, Brazil. **Rodriguésia**, v. 73, 2023.

TETEMKE, B. A.; BIRHANE, E.; RANNESTAD, M. M.; EID, T. Species diversity and stand structural diversity of woody plants predominantly determine aboveground carbon stock of a dry Afromontane forest in Northern Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, v. 500, p. 119634, 2021.

TERAKUNPISUT, J.; GAJASENI, N.; RUANKAWE, N. Carbon sequestration potential in aboveground biomass of Thong phaphun national forest, Thailand App. **Ecol. Environ. Res.**,v.5, p.93-102. 2007.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRANDE, L. A.; NETO J. D. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* Campina Grande 11 307-311. 2007.

UNFCCC, UNFCOCC. Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change. In: **Proceedings of the 3rd Conference of the Parties, FCCC/CP/1997/L. 7/Add. 1**. United Nations Framework Convention on Climate Change, 1997. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/cop3/07a01.pdf>

VASCONCELOS, A.D.M.; RAMOS, G.G.; OLIVEIRA, R.J.; DE LEITE, M.J DE H.; HENRIQUES, I.G.N.; RIBEIRO, NM DE AR; VASCONCELOS, G. DOS S. Análise Florística e Fitossociologia em Área de Caatinga, Brasil. **Pesquisa e Revisão Anuais em Biologia**, v. 32, n.6, p.1-8, 2019.

VIEIRA, C. S. L.; DE PAULA, S. F.; V.; DE ALMEIDA, D. V.; PRAKKI, S.; SANTOS, S. A. Sazonalidade do Sequestro e Estoque de Carbono na Caatinga, Durante as Estações Seca e Chuvosa. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 31, n. 18, p. 539–564, 2022.

ZHOU, P.; ZHANG, H.; HUANG, B.; JI, Y.; PENG, S.; ZHOU, T. Are productivity and biodiversity adequate predictors for rapid assessment of forest ecosystem services values? **Ecosystem Services**, v. 57, p. 101466, 2022.

4 ESTOQUE DE CARBONO EM FRAGMENTOS DE FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA

RESUMO

As florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) devido à sua fragilidade e à alta demanda por bens e serviços florestais estão sujeitas a uma das maiores taxas de desmatamento e degradação. Objetivou-se estimar a necromassa (serapilheira e caules senescentes) e o estoque de carbono do solo de dois fragmentos de Caatinga. O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC) no município de Pentecoste, região semiárida do estado do Ceará. Para a determinação do carbono da serrapilheira, foram alocados 10 coletores permanentes em cada área de 1 x 1 m distribuídos aleatoriamente. As coletas de serrapilheira acumulada foram feitas mensalmente durante o período de janeiro de 2022 a dezembro de 2022. Em cada fragmento florestal foram alocadas sete parcelas de 10 x 20 m, onde todos os indivíduos mortos do componente arbustivo-arbóreo com Circunferência à Altura da Base (CAB) > 9 cm e altura (h) > 100 cm foram inventariados. A coleta de solos foi feita nas profundidades de 0-10cm, 10-20 cm, 20-30 cm. O teor de carbono orgânico anual da serrapilheira da Área I foi de 2,01 Mg ha⁻¹ e 1,88 Mg ha⁻¹ na Área II. O estoque médio de C da necromassa arbustiva arbórea total da Área I foi de 7,54 Mg ha⁻¹; e foi significativamente (p>0,05) maior que o estoque da Área II que foi de 1,87 Mg ha⁻¹. O estoque de carbono no solo da área I foi de 78,24 Mg ha⁻¹ e a área II apresentou 78,94 Mg ha⁻¹ no estoque de C. Para todos os compartimentos estudados (árvores vivas, necromassa e solo) o C total estocado na área I foi de 118,79 Mg ha⁻¹ e 102,68 Mg ha⁻¹ na área II. Uma diferença de 13,5% entre as duas áreas no ano de 2022. A área I possui um estoque de carbono maior que a área II, isto porque a área I encontra-se em regeneração a muito mais tempo que a área II. A maior parte desse C da área I está estocada no solo 65,8%, seguida da biomassa de árvores 26%, necromassa de árvores 6,3% e serrapilheira 1,7%; igualmente na área II o solo foi o compartimento com maior estoque de C 76,9%, seguida da biomassa de árvores 19,5%, serrapilheira 1,8% e necromassa de árvores 1,8%.

Palavras-chave: árvores mortas; biomassa; serrapilheira; ciclagem de nutrientes.

ABSTRACT

Seasonally dry tropical forests (SDTFs) are subject to one of the highest deforestation and degradation rates due to their fragility and high demand for forest goods and services. Thus, the objective of this study was to estimate the necromass (litter and dead trees) and carbon stock of different compartments of two Caatinga fragments. The study was conducted at the Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC) in the municipality of Pentecoste, semi-arid region of the state of Ceará. To determine the carbon in the litter, 10 permanent collectors were allocated in each area of 1 m x 1 m randomly distributed. Litter accumulation collections were made monthly from January 2022 to December 2022. In each forest fragment, seven plots of 10 x 20 m were allocated, where all dead individuals of the shrub-tree component with Base Diameter (DBH) > 9 cm and height (h) > 100 cm were inventoried. Soil samples were collected at depths of 0-10 cm, 10-20 cm, and 20-30 cm. The annual organic carbon content of the litter in Area I was 2.01 Mg ha⁻¹ and 1.88 Mg ha⁻¹ in Area II. The average C stock of the total woody-shrub necromass in Area I was 7.54 Mg ha⁻¹; and was significantly ($p > 0.05$) higher than the stock in Area II which was 1.87 Mg ha⁻¹. The soil carbon stock in Area I was 78.24 Mg ha⁻¹ and Area II had a C stock of 78.94 Mg ha⁻¹. The total C stored in all compartments studied (live trees, necromass, and soil) in Area I was 118.79 Mg ha⁻¹ and 102.68 Mg ha⁻¹ in Area II. There was a difference of 13.5% between the two areas in 2022. Area I has a higher C stock than Area II because Area I has been regenerating for much longer than Area II. Area I has a higher carbon stock than area II, this is because area I has been in regeneration for much longer than area II. The majority of this C in Area I is stored in the soil (65.8%), followed by tree biomass (26%), tree necromass (6.3%), and litter (1.7%). Similarly, in Area II, the soil was the compartment with the highest C stock (76.9%), followed by tree biomass (19.5%), litter (1.8%), and tree necromass (1.8%).

Keywords: dead trees; biomass; litter; nutrient cycling.

4.1 Introdução

Os ecossistemas terrestres podem funcionar como sumidouros eficientes de carbono, o que pode reduzir significativamente a concentração atmosférica de CO₂ (WANG, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2023). As florestas tropicais sazonalmente secas (FTSS) devido à sua fragilidade e à alta demanda por bens e serviços florestais estão sujeitas a uma das maiores taxas de desmatamento e degradação (SCHULZ *et al.*, 2016; MAGALHÃES, 2017).

Nesse sentido, devido à sua ampla extensão de área nas regiões tropicais do mundo, as FTSS não são apenas valiosas em termos de sua diversidade biológica (RITO *et al.*, 2021), mas também funcionam como sumidouros de C (PEREIRA JÚNIOR *et al.*, 2016; MENEZES *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2023). Essas florestas, assim, desempenham importantes funções ecossistêmicas de provisão e regulação nos diferentes compartimentos (solo, vegetação e necromassa).

O carbono armazenado nas plantas e no solo é superior ao existente na atmosfera; a troca de CO₂ entre a vegetação, o solo e a atmosfera depende muito do estoque de carbono (BARBOSA *et al.*, 2013). No entanto, as atividades antrópicas em seus diversos aspectos têm promovido a degradação dos solos na Caatinga (MACEDO *et al.*, 2023). Aumentando assim o CO₂ na atmosfera que exerce um forte efeito no aquecimento global (PARTEKA *et al.*, 2013).

No Brasil, a vegetação da Caatinga possui espécies com características de deciduidade que perdem toda ou parcialmente as folhas como mecanismo fisiológico de resistência nos períodos de estiagem (FAGUNDES *et al.*, 2018). Isto faz com que ocorra um pico de deposição de material orgânico na superfície do solo no período seco, promovendo a formação de uma camada denominada necromassa, que vai ser decomposta pelos organismos do solo, sendo de grande importância para a ciclagem de nutrientes e a manutenção da umidade e atividade biológica (HENRIQUES *et al.*, 2016).

Neste contexto, a serrapilheira é parte da necromassa sendo composta de folhas, galhos, caules, cascas, sementes, frutos, flores, inflorescências e dejetos animais (DE ANDRADE *et al.*, 2008; LOPES *et al.*, 2009). A deposição e decomposição da serrapilheira é, portanto, a principal fonte de matéria orgânica e energia para os organismos heterotróficos. Este processo contribui para a recuperação e conservação de áreas degradadas através da manutenção da fertilidade do solo (ZHU *et al.*, 2022; SALINAS; AVELLA; CAMACHO, 2023).

Atrelados a isto, a necromassa de árvores é um componente estrutural e funcional fundamental das florestas (PETRITAN *et al.*, 2023). Os detritos lenhosos, por exemplo, são

importantes também para a redução da erosão, para o desenvolvimento do solo, com um papel crucial no apoio à biodiversidade florestal, nutrientes e ciclagem de carbono (MAGALHÃES, 2017; PETRITAN *et al.*, 2023).

Logo após o processo de decomposição, a ciclagem é efetivada, com a realização do retorno dos nutrientes ao solo, sendo a junção de todas as etapas desde a produção da matéria orgânica até sua degradação e transformação em nutriente em seguida reabsorvido pela biota (LEONARDO *et al.*, 2023). A ciclagem de nutrientes em FTSS é um processo complexo, e que sustenta a vida nos ecossistemas. Pesquisar e compreender esse processo é fundamental para garantir a resistência de FTSS.

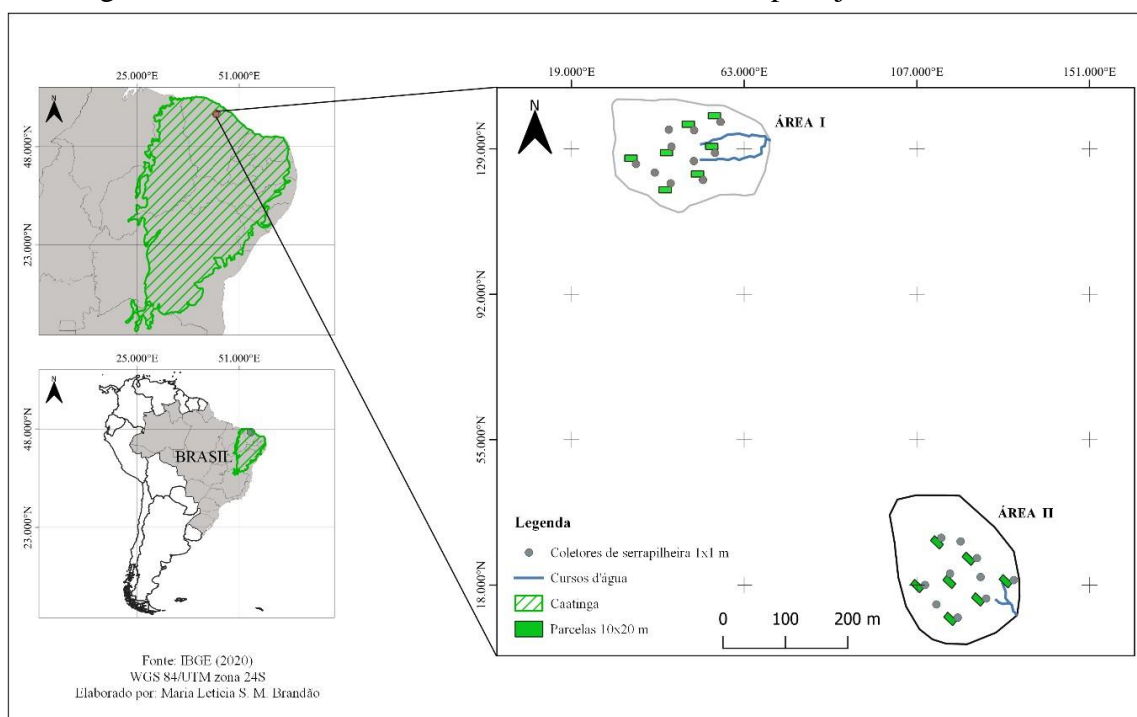
Diante do exposto, o estudo possui as seguintes perguntas norteadoras: Quanto de carbono é armazenado nos diferentes compartimentos de FTSS (necromassa, solo, biomassa acima do solo)? Como esses estoques de carbono variam em diferentes idades de sucessão secundária? Compreende-se como hipótese que após a remoção da vegetação arbórea, os estoques de carbono se diferenciam entre os usos do solo. Assim, objetivou-se estimar a necromassa (serapilheira e árvores mortas) e o estoque de carbono do solo em diferentes compartimentos de dois fragmentos de Caatinga.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC) no município de Pentecoste, região semiárida do estado do Ceará (Figura 14). O município de Pentecoste está localizado geograficamente na microrregião do médio Curu, no estado de Ceará, distante cerca de 100 km da capital Fortaleza (GOMES, 2016).

Figura 14 – Mapa de localização de dois fragmentos de Caatinga, Ceará, Brasil. Área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e Área II sob pastejo.



A área I é uma área de Caatinga sob estágio de sucessão secundária, possui cerca de 3,6 ha. Em 1974, a vegetação nativa foi eliminada e substituída pelo cultivo de *Cenchrus ciliaris* L.. a exploração que perdurou por 10 anos e, em seguida, foi abandonada até o presente momento, perfazendo quase 50 anos em processo estágio de sucessão secundária.

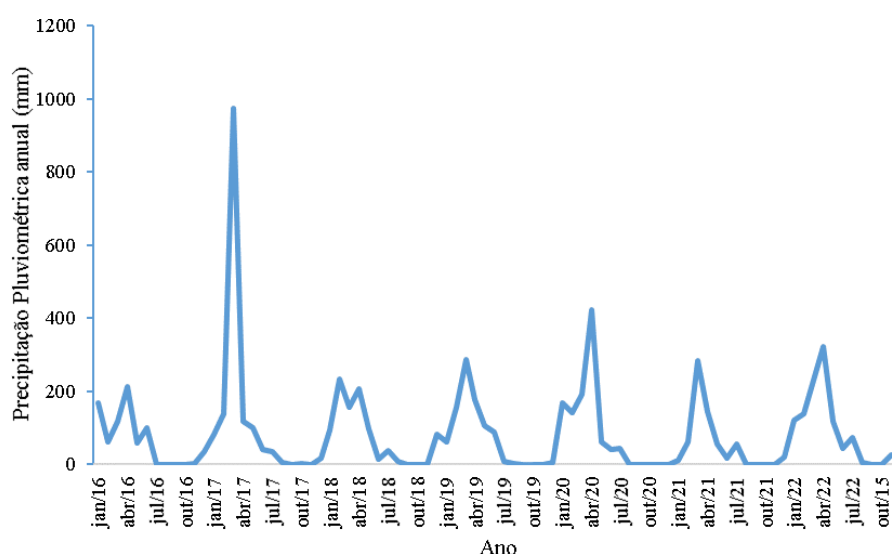
A área II dista cerca de 650 m da área I, refere-se a uma área de caatinga sob pastejo. Possui cerca de 3,8 ha. Sua vegetação nativa foi retirada em 1974, a área foi utilizada para o cultivo de *Zea mays* L. (milho) e *Phaseolus vulgaris* L. (feijão). Após este período as culturas de milho e feijão foram substituídas por gramínea (*Cenchrus ciliaris* L.) para produção de pasto.

Práticas agropecuárias que, somadas, representam 10 anos de exploração. Foram totalizados 37 anos na condição de área destinada à exploração com pastagem nativa.

4.2.2 Clima

O clima da área de estudo, segundo a classificação de Köppen é caracterizado como semiárido tropical quente (BSwh) (ALVARES *et al.*, 2014). Com período chuvoso de fevereiro a maio (Figura 15) e temperaturas médias de 22 °C de mínima e 35 °C de máxima (INMET, 2020).

Figura 15 – Dados de precipitação pluviométrica obtidos na estação meteorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu referente aos anos de (2016-2022).



4.2.3 Vegetação

O bioma predominante da região é a Caatinga, conforme o mapa das unidades fitoecológicas, o município de Pentecoste possui quatro diferentes tipos de vegetação, entre eles caatinga arbustiva aberta, caatinga arbustiva densa, caatinga arbórea e mata seca (LIRA, 2012). A montante da microbacia, a Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS) está em pousio há 45 anos, apresentando vegetação mais adensada, com árvores de grande porte, copa bastante fechada, o que dificulta o desenvolvimento da vegetação rasteira.

4.2.4 Solos

Os solos da área de estudo (Tabela 4) estão inseridos em rochas do embasamento cristalino e aluviões, representativos de duas unidades litológicas, referentes aos períodos pré-cambriano e quaternário (CPRM, 2003). De acordo com o mapa base de Reconhecimento dos Solos do Ceará na escala de 1:600.000, que contém as classes de solo para todo o estado do

Ceará, foi identificado e alterado para a nova nomenclatura da Embrapa (2018), dois tipos de solo Neossolos Litólico e Argissolos Vermelho-Amarelo.

Tabela 4. Atributos físicos do solo de dois fragmentos de caatinga

Profundidade (cm)	Densidade (g.cm ⁻³)		*Areia		*Silte (%)		Argila		Textura	
	Area I	Area II	Area I	Area II	Area I	Area II	Area I	Area II	Area I	Área II
0-10	1,28	1,28	69,7	79,9	22,8	15,3	7,5	4,8	Areia Franca	Areia Franca
10-20	1,36	1,54	70,6	80,2	22,0	15	7,5	4,8		
20-30	1,44	1,54	66,8	77,9	24,9	16,8	8,3	5,3		

Fonte: FEITOSA, 2017.

4.2.5 Coleta e amostragem de Serrapilheira

As coletas de serrapilheira acumulada foram feitas mensalmente durante o período de janeiro de 2022 a dezembro de 2022. A coleta foi feita em 20 coletores (sendo 10 coletores em cada área) permanentes de 1 m x 1 m distribuídos aleatoriamente e inter espaçadas em 40 m (Figura 16). As amostras foram armazenadas separadamente, em sacos de papel devidamente identificados. A etapa seguinte consistiu em levar as amostras para a estufa de circulação de ar forçado à temperatura de 60 °C até o peso constante.

Figura 16 – Coleta de serrapilheira em coletores de 1m x 1m em dois fragmentos de Caatinga, Ceará, Brasil. Área I que está sob estágio de sucessão secundária há 38 anos e Área II sob pastejo.



Após a secagem, o material foi pesado em balança digital para obtenção da massa seca. Em seguida as amostras foram levadas para o laboratório de solos da Universidade Federal do Ceará, para serem trituradas no moinho (Figura 17) para análise de carbono orgânico total (COT). As coletas totalizaram 240 amostras simples de serrapilheira.

Figura 17 – Moinho tipo Willey



Também foi quantificada a serrapilheira acumulada na superfície do solo através de coletas trimestrais (OLSON, 1963). As coletas constaram de 10 amostras para cada área (Área I e Área II). As amostras constaram do material delimitado por um molde vazado de PVC cujas dimensões foram de 0,5 m x 0,5 m e que foi lançado aleatoriamente na área (Figura 18). O material coletado foi acondicionado em sacos de papel devidamente etiquetados e secos em estufa de circulação de ar forçado à temperatura de 60 °C até peso constante.

Figura 18 – Coleta de serrapilheira em coletores de 0,5 m x 0,5 m em dois fragmentos de Caatinga, Ceará, Brasil. Área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e Área II sob pastejo.



4.2.6 Decomposição da Serrapilheira

A taxa de decomposição da serrapilheira foi estimada através da equação proposta por Olson (1963).

$$K = \frac{L}{X_{ss}}$$

em que: K = constante de decomposição; L = produção anual de serrapilheira (Mg ha⁻¹); X_{ss} = média anual da serrapilheira acumulada sobre o solo (Mg ha⁻¹).

A partir do valor de K, calculou-se o tempo médio de renovação estimado por 1/K e os tempos necessários para que ocorra decomposição de 50% (t_{0,5}) e 95% (t_{0,05}) da serrapilheira, estimados pelas equações elaboradas por Shanks e Olson (1961):

$$t_{0,5} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k}$$

$$t_{0,05} = \frac{3}{k}$$

4.2.7 COT da serrapilheira

Para determinar o COT das amostras de serrapilheira o método utilizado foi o de Walkley-Black, que utiliza o dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) (Cr VI) em meio ácido como agente oxidante.

4.2.8 Necromassa da vegetação aérea e estoque de Carbono

Cada área possui sete parcelas permanentes com dimensões de 10 x 20 m. As parcelas foram distribuídas de forma aleatória sobre a área e interespaçadas em 50 m. O número de parcelas instaladas foi determinado segundo suficiência de amostragem florística analisada com base na curva do coletor de espécies. Foi feita a quantificação de todos os indivíduos arbustivo-arbóreos mortos com Circunferência à Altura da Base (CAB) >9 cm e altura (h) >100 cm (RODAL; SAMPAIO; FIGUEIREDO, 2013). O levantamento foi feito no mês de abril de 2022, período chuvoso.

Em cada uma das parcelas, utilizando uma fita métrica, foram obtidos os valores das circunferências dos indivíduos, que posteriormente foram transformados em diâmetro, através da fórmula:

$$DAB = \frac{CAB}{\pi}$$

em que: DAB = diâmetro do caule da árvore à altura da base; CAB = circunferência do caule da árvore à altura da base; $\pi = 3,1416$.

O diâmetro equivalente foi aplicado para obter o DAB total de um conjunto de árvores mortas, o qual é dado pela seguinte expressão:

$$DABeq = \sqrt{\sum_{i=1}^n DAB_i^2}$$

Em seguida foi utilizada a equação de Sampaio e Silva (2005) para obter a necromassa das árvores morta de cada indivíduo:

$$BA = 0,0292 (DAB \times H)^{1,6371}$$

em que: BA= biomassa de árvores mortas (kg); 1,6371 = constante; DAB= diâmetro na altura da base (cm); H = Altura (m); 0,0292 = constante.

Após a determinação da referida biomassa dos indivíduos mortos, os valores adquiridos foram multiplicados por 0,4453 que se refere ao estoque médio de carbono em espécies da Caatinga, conforme Pereira Júnior *et al.* (2016):

$$TC = BA \times 0,4453$$

em que: TC= Teor de Carbono; BA= Biomassa de árvores kg; 0,4453= fator de conversão de biomassa para C.

4.2.9 Coleta e amostragem de Solos

Para estimar o carbono orgânico total do solo (COT), foram realizadas amostragens aleatórias nas duas áreas de estudo, onde foram escolhidas quatro parcelas para a coleta de solos, e, assim, formou-se uma amostra composta por 12 sub-amostras simples, coletadas nas profundidades de 0-10cm, 10-20 cm, 20-30 cm. Foram coletadas *in loco* 200 g de cada amostra de solo em cada uma das três camadas (Figura 19). As amostras foram secas à sombra e em estufa com circulação de 150 °C por 24h, em seguida, peneiradas em tamis com malha de 80 mesh.

Figura 19 – Coleta de solo nas três profundidades em dois fragmentos de Caatinga, Ceará, Brasil. Área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e Área II sob pastejo.



4.2.10 COT do solo e estoque de C

Para determinar o COT no solo o método utilizado foi o de Walkley-Black, que utiliza o dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) (Cr VI) em meio ácido como agente oxidante (YEOMANS; BREMNER, 1988).

A porcentagem de carbono orgânico é calculada com base no volume da solução de Sal de Mohr gasto na titulação da amostra (V), do branco aquecido (Vba) e do branco não aquecido (Vbn), conforme as equações (YEOMANS; BREMNER, 1988):

$$A = [(V_{ba} - V_{am}) (V_{bn} - V_{ba}) / V_{bn}] + (V_{ba} - V_{am})$$

em que: V_{ba} = volume gasto na titulação do branco controle com aquecimento; V_{bn} = volume gasto na titulação do branco controle sem aquecimento; V_{am} = Volume gasto na titulação da amostra.

$$CO(dag) = (A) \times (\text{molaridade Ferroso}) \times (3 \text{ Sulf. dade}) \times (100) / \text{peso da amostra (mg)}$$

em que: 3 = resultado da relação entre o número de mols de Cr_2O_7 - que reagem com Fe^{2+} (1/6), multiplicado pelo número de mols de Cr_2O_7 - que reagem com o C (3/2), multiplicado pela massa atômica do C (12). 100 = fator de conversão de unidade ($mg \text{ mg}^{-1}$ para $dag \text{ kg}^{-1}$).

O estoque de carbono foi calculado segundo Veldkamp (1994):

$$C = \frac{C_t \times D_s \times e}{10}$$

em que: C = estoque de carbono total em determinada profundidade ($Mg \text{ ha}^{-1}$); C_t = teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada ($g \text{ kg}^{-1}$); D_s = densidade média do solo na profundidade amostrada ($g \text{ cm}^{-3}$); e = espessura da camada considerada (cm).

4.2.11 Análise estatística

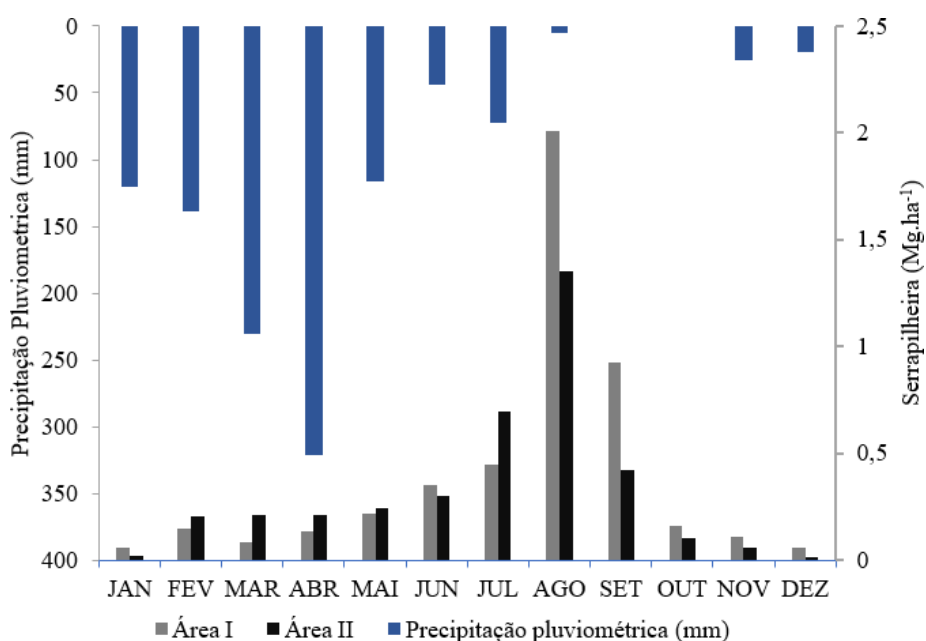
Para a avaliação da produção de necromassa e estoque de carbono das duas áreas de estudo, os valores de necromassa das árvores e estoque de carbono da necromassa das áreas I e II, utilizou-se do teste de teste Wilcoxon ($p \leq 0,05$) para comparação entre os dois períodos de coletas. Aplicou-se o teste T para comparar a densidade das árvores mortas entre os anos e entre as duas áreas. As análises estatísticas foram feitas no software SPSS 16.0 para Windows.

4.3 Resultados e Discussões

4.3.1 Deposição, decomposição e carbono de serrapilheira

A produção mensal de serrapilheira possui notável sazonalidade. A área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos teve uma deposição de serrapilheira de $4,69 \text{ Mg ha}^{-1}$ e a área II sob pastejo obteve $4,39 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Figura 20). Os meses de julho, agosto e setembro tiveram uma maior deposição de serrapilheira; estes meses representam o início do período seco.

Figura 20 – Precipitação pluviométrica mensal e deposição de serrapilheira em fragmentos de Caatinga, Área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e Área II sob pastejo.



As maiores deposições de serrapilheira no bioma Caatinga ocorrem ao final do período chuvoso e início do período seco (LOPES *et al.*, 2009; FARIAS *et al.*, 2019; FERREIRA *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2022). Isto acontece devido a resposta das plantas a menor disponibilidade de água, ativando processos fisiológicos para reduzir a perdas por evapotranspiração (PEREIRA *et al.*, 1989). O resultado de deposição de serrapilheira foi semelhante ao encontrado por Feitosa (2017), que encontrou $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ na área I e $4,56 \text{ Mg ha}^{-1}$ na área II.

O resultado da deposição da Área I e Área II foi próximo ao resultado encontrado por Farias *et al.* (2019), em um fragmento de Caatinga arbustivo-arbórea com valores de $4,60 \text{ Mg ha}^{-1}$ para deposição anual de serrapilheira. Costa *et al.* (2022) ressaltam que a deposição e decomposição de serrapilheira estão diretamente ligadas a estrutura da vegetação.

O tempo necessário para renovação da serrapilheira ($1/K$) foi de 0,71 anos (259 dias) para a área I e 0,62 anos (226 dias) para a área II. O tempo necessário para decomposição de 50% ($t_{0,5}$) e 95% ($t_{0,05}$) para a área I foi de 0,49 anos (179 dias) e 2,14 anos (781 dias) respectivamente. A área II teve valores de 0,43 anos (157 dias) e 1,88 anos (686 dias) para decomposição de 50% ($t_{0,5}$) e 95% ($t_{0,05}$) nesta ordem (Tabela 5).

Tabela 5 – Decomposição de serrapilheira em fragmentos de Caatinga, área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e área II sob pastejo. Coeficiente de decomposição (k), tempo médio de renovação ($1/k$) e tempos necessários para a decomposição de 50% e 95% da serrapilheira acumulada.

	K	1/k	T _{0,5}	T _{0,05}
	- Ano -			
Area I	1,40	0,71	0,49	2,14
Area II	1,59	0,62	0,43	1,88

As diferenças entre as duas áreas são mais proeminentes para valores de K , os outros coeficientes, ainda que diferentes, apresentam as mesmas tendências. Segundo Morffi-Mestre *et al.* (2023), a decomposição da serrapilheira é afetada principalmente pelas características das plantas, tipo de solo, topografia e estrutura da vegetação, que varia com a idade da sucessão. Os valores encontrados na área I são semelhantes aos valores encontrados por Henriques *et al.* (2016) em uma área de Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) no bioma Caatinga.

O teor de carbono orgânico anual da serrapilheira da Área I foi de 2,01 Mg ha⁻¹ e 1,88 Mg ha⁻¹ na Área II. A maior concentração de serrapilheira deu-se nas áreas com maior densidade de árvores. A área I por sua vez possui maior diversidade de espécies arbóreas com maiores diâmetros e consequentemente obteve um maior estoque de carbono. Nossos resultados mostram a importância da espécie *Croton blanchetianus* na produção de serrapilheira na área II. Estudo no Seridó da Paraíba (ALVES *et al.*, 2014) apresenta a Contribuição do *Croton blanchetianus* na produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes.

Os valores de estoque de carbono foram próximos ao encontrado por Pereira Júnior *et al.* (2016) em uma FTSS em que o valor de estoque de carbono na serrapilheira foi de 2,62 Mg ha⁻¹. Menezes *et al.*, (2021) encontraram valores de estoque de carbono na serrapilheira da Caatinga com variação entre 1,68 e 2,42 Mg ha⁻¹.

4.3.2 Necromassa Arbustiva Arbórea

Foram inventariados ao todo 206 árvores mortas, distribuídas em três famílias de oito espécies: na área I foram inventariadas 143 árvores mortas e na área II foram inventariadas 63

árvores mortas (Tabela 6). As espécies *Mimosa caesalpinifolia* e *Croton blanchetianus* constam com maior mortalidade na área I. Na área II a espécie *Croton blanchetianus* e *Mimosa tenuiflora* constam com maior mortalidade.

Tabela 6 – Relação de espécies mortas encontrada na área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e na área II sob pastejo.

Família	Espécie	Fenologia Folha	Área I (ind. amostrados)	Área II (ind. amostrados)
Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill	Decídua	17	41
	<i>Croton adenocalyx</i>	Decídua	2	
Fabaceae-Mimosoideae	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Decídua	13	2
	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Decídua	-	8
	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.	Decídua	19	2
Fabaceae- Caesalpinioideae	<i>Pocianella bracteosa</i> (Tul.) L. P. Queiroz	Semidecídua	7	-
	<i>Bauhinia cheliantha</i> (Bong.) Steud	Semidecídua	4	-
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. ex Steud	Decídua	1	
Combretaceae	<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Decídua	4	-
	NI*	-	76	10

*Árvores mortas não identificadas (NI)

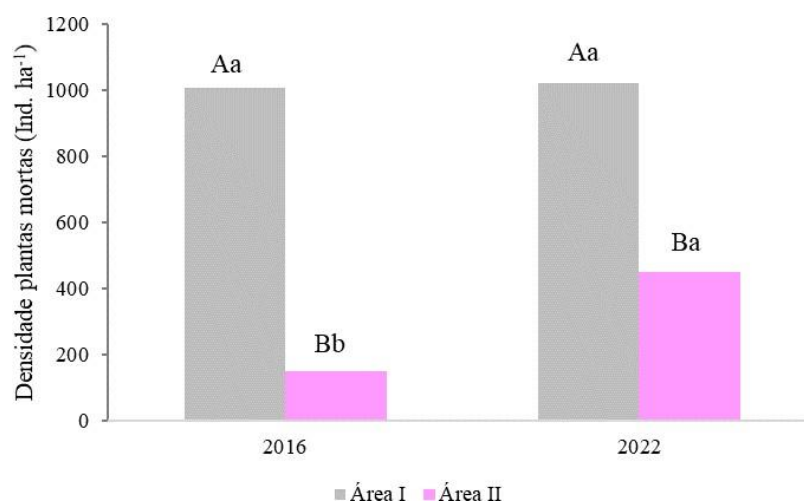
Conforme Oliveira (2015) a área de estudo apresenta diferentes padrões fenológicos interespecíficos, as espécies decíduas, que apresentam curta duração da fenofase das folhas adultas, com periodicidade de 3 a 6 meses; espécies decíduas tardias, que mantêm suas folhas por mais tempo, podendo permanecer até 10 meses foliares; e espécies semidecíduas, que apresentam folhas durante todo o ano.

As espécies *Croton blanchetianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Pocianella bracteosa*, *Combretum leprosum*, *Piptadenia stipulacea*, *Mimosa tenuiflora*; são espécies pioneiras, ou seja, são as primeiras a se estabelecer em áreas degradadas abertas (FAGUNDES *et al.*, 2018). No entanto, as espécies pioneiras são heliófitas, ou seja, exigem luz intensa para viver e consequentemente fazem uma atividade fotossintética mais rapidamente; quando essas espécies começam a morrer de forma natural significa que as espécies de porte maior da sucessão secundária estão limitando a luz do sol para as espécies pioneiras, levando assim a diminuição dessas espécies no ambiente.

Contudo, a mortalidade das espécies na área I está bem distribuída entre as principais espécies que são abundantes na área, diferentemente da área II em que a mortalidade das espécies está concentrada em maior quantidade na espécie *Croton blanchetianus*, isto porque a espécie é dominante na área II.

Na área I a densidade de plantas mortas é praticamente a mesma, tanto em 2016 quanto em 2022, não tendo sido observada diferença estatística. A densidade de plantas mortas da área I é sempre maior que a densidade de plantas mortas da Área II, tanto em 2016 quanto em 2022. Nesses dois anos, a área I apresentou maior densidade de plantas mortas que a área II (Figura 21).

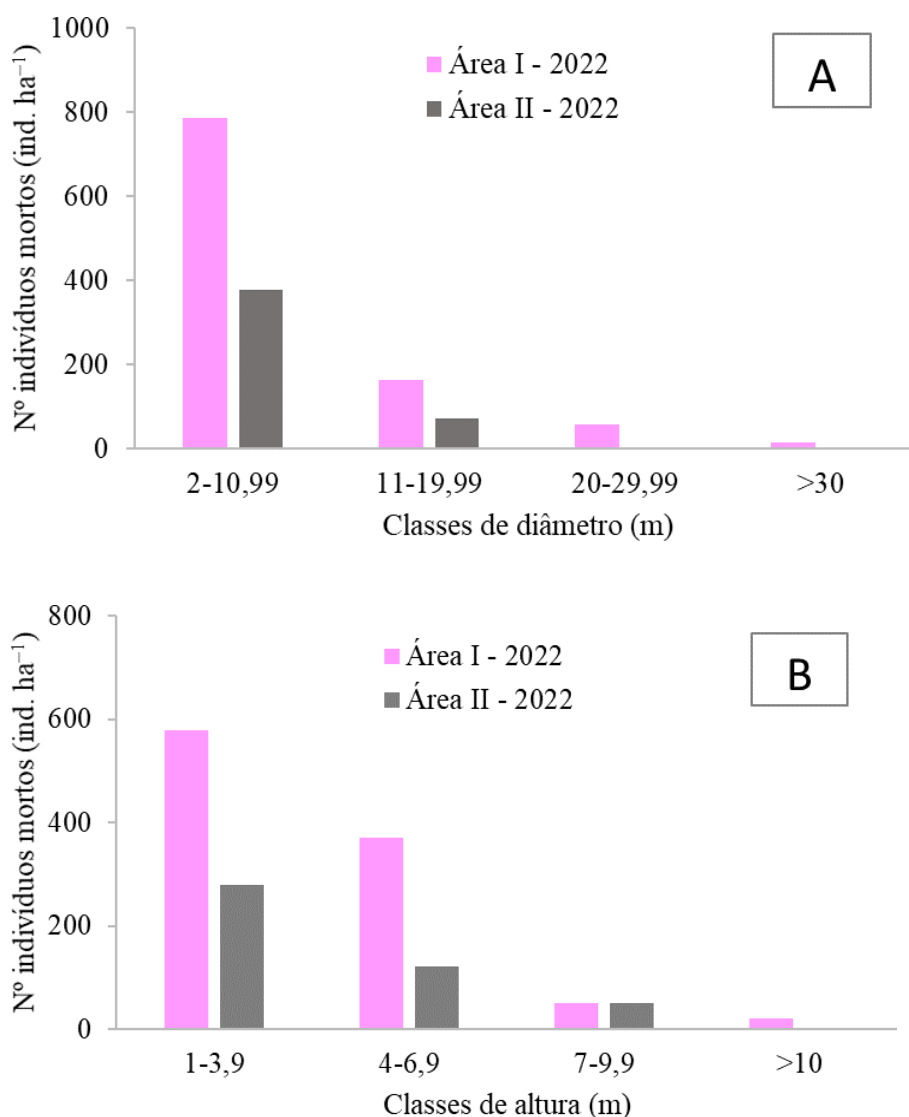
Figura 21 – Densidade de plantas mortas em dois fragmentos de Caatinga, área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e área II sob pastejo.



*Letras maiúsculas iguais entre áreas (em cada período/ano) não diferem entre si pelo teste t ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas iguais entre períodos/anos (da mesma área) não diferem entre si pelo teste t pareado ($p \leq 0,05$). Dados do ano de 2016 obtidos de Feitosa, (2017).

É notório que na área II aumentou a densidade de plantas mortas, de 2016 para 2022. Essa densidade passou de 150 ind.ha⁻¹ para 450 ind.ha⁻¹. Essa diferença inclusive é sustentada pela estatística. Verificou-se uma distribuição decrescente das frequências de indivíduos por categoria de DAB e altura em cada uma das áreas. As menores classes de diâmetro 2 a 10,9 cm obtiveram o maior número de indivíduos mortos nas duas áreas, seguida pela classe 11 a 19,9 cm e altura entre 1 e 6,9 m (Figura 22).

Figura 22 – Distribuição do número de indivíduos mortos por classe de diâmetro superior 2 cm (A), classe de altura superior 1 m (B), em dois fragmentos de Caatinga, área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e área II sob pastejo.

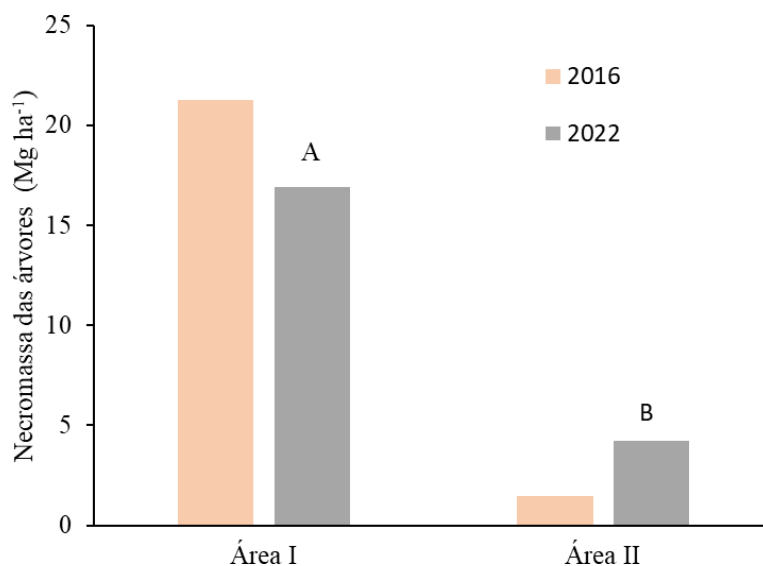


Destaca-se que a espécie *Croton blanchetianus* possui um bom comportamento fisiológico com relação a eficiência no uso da água (SALES LUCAS *et al.*, 2022); trata-se de uma espécie decídua. As espécies decíduas apresentam maiores taxas de crescimento, sendo mais suscetíveis a grandes perdas de água através das folhas, menor resistência à embolia do xilema e maior probabilidade de desidratação (FAGUNDES *et al.*, 2022). Ademais, as espécies com menor diâmetro de caule possuem menor quantidade de reservas de água e um sistema radicular que explora uma área menor (FEITOSA, 2017, FAGUNDES *et al.*, 2022).

A necromassa arbustiva arbórea total da Área I foi de 16,93 Mg ha⁻¹; da área II foi de 4,20 Mg ha⁻¹ (Figura 23). Segundo Feitosa (2017), a necromassa arbustiva arbórea da Área I

variou de 17,54 Mg ha⁻¹ no ano de 2014 para 21,25 Mg ha⁻¹ em 2016. Já a necromassa arbustiva e arbórea da Área II apresentou baixa variação de 0,87 Mg ha⁻¹ em 2014 para 1,48 Mg ha⁻¹ em 2016.

Figura 23 – Necromassa arbórea em dois fragmentos de Caatinga (2016-2022), área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e área II sob pastejo.

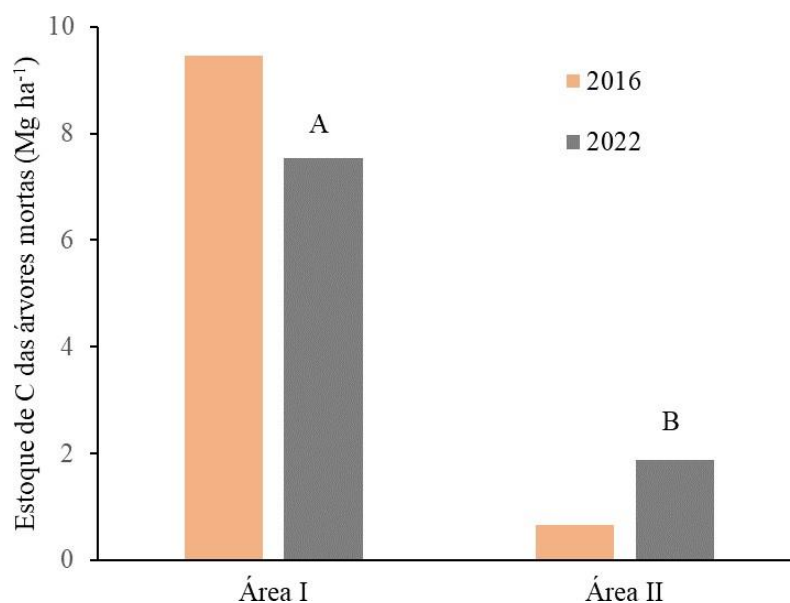


*Letras maiúsculas iguais entre áreas não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney ($p \leq 0,05$). Dados do ano de 2016 obtidos de Feitosa, (2017).

Iniciou-se em 2012 um longo período de seca que perdurou até o ano de 2017 (MARENGO *et al.*, 2016), e com isto, a alta mortalidade de árvores no ano de 2016 deve-se a baixa precipitação de anos anteriores (FEITOSA, 2017). Em 2022 não foi diferente, a baixa pluviométrica do ano anterior (695,9 mm) ocasionou a alta mortalidade de indivíduos sob diferentes espécies. Em ambientes florestais, o estresse hídrico prolongado reduz o número de árvores, aumentando a probabilidade de sobrevivência das árvores remanescentes, mesmo em ambientes resilientes como a Caatinga (CAMPOS *et al.*, 2020).

O estoque médio de C da necromassa arbustiva arbórea total da Área I foi de 7,54 Mg ha⁻¹; e foi significativamente ($p > 0,05$) maior que o estoque da Área II que foi de 1,87 Mg ha⁻¹ (Figura 24). No entanto, não houve diferença significativa entre os períodos ($p > 0,05$). Segundo Feitosa (2017) a área I apresentou 9,46 Mg ha⁻¹ em estoque de C e a área II 0,66 Mg ha⁻¹.

Figura 24 – Estoque de carbono da necromassa arbustiva arbórea de dois fragmentos de caatinga, área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e área II sob pastejo.



*Letras maiúsculas iguais entre áreas não diferem entre si pelo teste de Mann-Whitney ($p \leq 0,05$). Dados do ano de 2016 obtidos de Feitosa, (2017).

O valor de estoque de carbono da área I foi próximo aos valores encontrados por Magalhães (2017) ($7,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) para uma FTSS em Moçambique. É consideravelmente maior do que a relatada por Menezes *et al.* (2021), as estimativas dos estoques de C da madeira morta em áreas de Caatinga Aberta e Densa $5,5$ e $4,1 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente.

4.3.3 Estoque de carbono orgânico total no solo

O estoque de carbono no solo da área I foi de $78,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ e a área II apresentou $78,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ no estoque de C_{eq} (Figura 25); a profundidade de 20-30 obteve o maior COT na área I ($34,51\%$), a profundidade de 0-10 da área II obteve maior COT ($36,43\%$).

O COT apresentou valores próximos entre as áreas no ano de 2022, o COT da área I aumentou com a profundidade (0,20-0,30), não obstante, o COT da área II obteve menores taxas nas maiores profundidades. O maior estoque nos teores de COT maiores nos primeiros 0,10 m de profundidade, em solos com pastagem, é decorrência da decomposição dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo (CALONEGO *et al.*, 2012). O estoque de C da área II foi superior ao encontrado por Giongo *et al.* (2011) em uma área de Caatinga que foi desmatada em 1983 e abandonada em 1989, possuindo um estoque de $44,91 \text{ Mg ha}^{-1}$ na camada de 0,0-20,0 cm.

Os valores de estoque de carbono foram superiores aos valores encontrados por Jesus *et al.*, (2019) em um estudo feito no semiárido pernambucano, onde encontraram para a classe Neossolo Litólico (0-30 cm) um estoque de 45,1 Mg ha⁻¹. Segundo Menezes *et al.* (2021) as determinações do estoque de C do solo utilizam diferentes métodos de amostragem e análise de carbono, incluindo profundidade de amostragem, portanto, a comparação com estudos anteriores deve levar em conta essas diferenças.

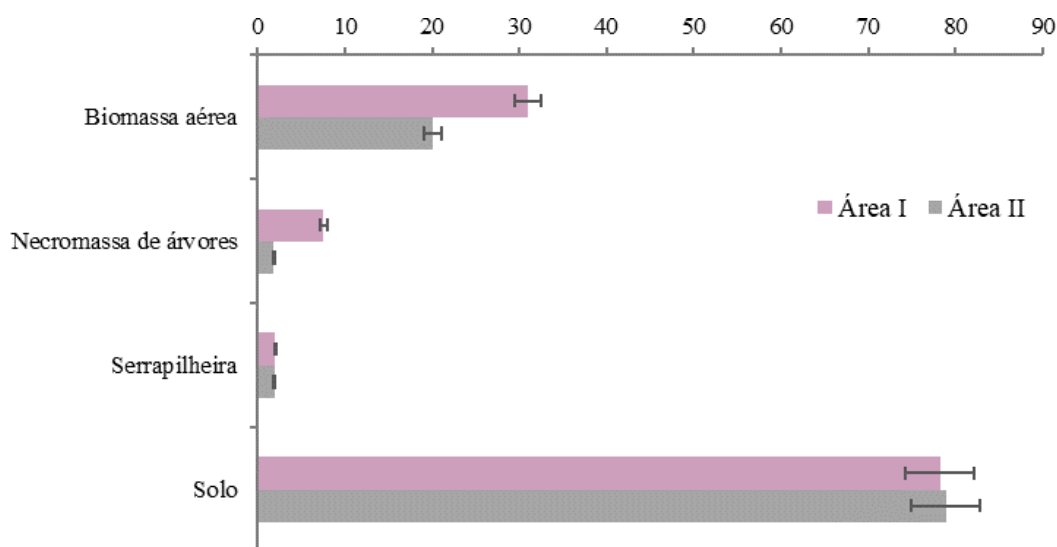
O COS é regulado por uma interação dinâmica de insumos vegetais, processos de degradação e estabilização da matéria orgânica (BELLÉ *et al.*, 2022) assim, as alterações no ambiente do solo como resultado de perturbações, afetam a atividade microbiana, o que afeta as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo (TORIYAMA *et al.*, 2015). Alguns estudos apontam o impacto da perturbação antrópica no solo da Caatinga (GIONGO *et al.*, 2010; SCHULZ *et al.*, 2016), portanto, recuperação dos estoques de carbono em solos de FTSS em sucessão secundária requer pelo menos 60 anos (ARAÚJO *et al.*, 2018).

O estoque de carbono da área II foi próximo ao encontrado na área I. Segundo Schulz *et al.*, (2016) o pastoreio pode afetar o estoque de carbono nos solos de diferentes maneiras. Herbívoros como bovinos, ovinos e caprinos reduzem a quantidade de matéria orgânica disponível para a formação de estoque de C no solo ao consumir a biomassa acima do solo.

4.3.4 Estoque de carbono total (árvores vivas, solos, necromassa arbórea e de serrapilheiras)

Para todos os compartimentos estudados (árvores vivas, necromassa e solo) o C total estocado na área I foi de 118,79 Mg ha⁻¹ e 102,68 Mg ha⁻¹ na área II. Uma diferença de 13,5% entre as duas áreas no ano de 2022. Independentemente das áreas, o maior estoque de C está armazenado no solo. A serrapilheira apresentou menor estoque de C, seguida da necromassa de caules (Figura 25).

Figura 25 – Estoque de carbono em diferentes compartimentos em dois fragmentos de Caatinga, Ceará, Brasil. Área I que está sob estágio de sucessão secundária há 37 anos e Área II sob pastejo.



Os solos desempenham um papel fundamental no funcionamento dos ecossistemas e normalmente detêm os maiores estoques de C orgânico terrestres (ADUAN; VILELA; KLINK, 2003; WANG, 2019; MENEZES *et al.*, 2021). O estoque de C da necromassa da área II é menor que o da área I, possivelmente pela estrutura e porte das árvores (MENEZES *et al.*, 2021); a área I possui espécies com diâmetro maiores, não obstante, a área II possui uma abundância de espécies pequenas e esporadicamente é pisoteada por animais.

Menezes *et al.* (2021) estimaram o estoque de carbono total dividindo os estoques em profundidade de solo de 0 a 100 cm, biomassa arbórea viva e morta, herbáceas, serrapilheira, biomassa de raízes finas e grossas, e propuseram estoques médios para Caatinga Densa (124,76 Mg ha⁻¹), Caatinga Aberta (85,50 Mg ha⁻¹), campos de pastagem (71,87 Mg ha⁻¹) e lavouras (60,24 Mg ha⁻¹).

4.4 Conclusão

A área I e II obtiveram valores de deposição e estoque de C na serrapilheira muito próximos; embora apresentem picos de deposição no fim da quadra chuvosa e início do período seco, as áreas têm composição de espécies com características decíduas e semidecíduas e, com isso, durante todo o ano alimentam o solo com folhas, galhos, sementes, frutos, flores e inflorescências.

Embora exista diferença entre os usos das áreas, os estoques de C tiveram valores próximos entre as áreas, principalmente no compartimento solo, evidenciando assim a capacidade dos solos das FTTS em estocar C.

REFERÊNCIAS

- ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. 2003.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, M. J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ALVES, G. S.; ALVES, G. M. F.; MARTINS, L. R. A.; SOUSA, J. da S.; SOUTO, J. S. Contribuição do *Croton blanchetianus* Baill na produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes em área do Seridó da Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 51–57, 2014.
- BARBOSA, R.; SILVA, A.; NEVES, M.; GALVÃO, A.; NETO, C. O. Produção e sequestro de carbono na atmosfera. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, 2013.
- BELLE, S. L.; RIOTTE, J.; SEKHAR, M.; RUIZ, L.; SCHIEDUNG, M.; ABIVEN, S. Soil organic carbon stocks and quality in small-scale tropical, sub-humid and semi-arid watersheds under shrubland and dry deciduous forest in southwestern India. **Geoderma**, v. 409, p. 115606, 2022.
- BROWN, S.; LUGO, A.; CHAPMAN, J. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. **Canadian Journal of Forestry Research**, v.16, p.390-394, 1986.
- CALONEGO, J. C.; DOS SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S.; JÚNIOR, J. R. C. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 128-135, 2012.
- CAMPOS, D. A.; ANDRADE, E. M.; CASTANHO, A. D. A.; FEITOSA, R. C.; PALÁCIO, H. Q. A. Biomass Dynamics in a Fragment of Brazilian Tropical Forest (Caatinga) over Consecutive Dry Years. **Applied Sciences**. v.10, n.21, p.1-12, 2020.
- COSTA, J. P. M.; SOUTO, L. S.; LUNA, R. G.; DUTRA FILHO, J. A.; SOUZA, A. S.; GONDIM, A. R. O.; DANTAS, J. A. P. Importância da estrutura vegetacional para a produção e decomposição da serrapilheira. **Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent**, vol. 9, n. 21, p. 171-183. 2022.
- CPRM – COMPANHIA DE PRODUÇÃO DE RECURSOS MINERAIS. (2003) Atlas de Geologia e Recursos Minerais do Ceará: Sistema de Informações Geográficas SIG e mapa na escala 1:500.000. In: Cavalcante, J. C.; Vasconcelos, A. M.; Gomes F. E. M. Serviço Geológico do Brasil/ Secretária dos Recursos Hídricos do Ceará. Fortaleza: CPRM Serviço Geológico do Brasil, 1 CD ROM.
- DE ANDRADE, R. L.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; BEZERRA, D. M. Deposição de serrapilheira em área de caatinga na RPPN" fazenda tamanduá", Santa Terezinha-PB. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 2, p. 223-230, 2008.

DICK, D. P., NOVOTNY, E. H., DIECKOW, J., & BAYER, C.V. Química da matéria orgânica do solo. **Química e mineralogia do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 1-67, 2009.

HENRIQUES, Í. G. N.; SOUTO, J.S.; SOUTO, P.C.; SANTOS, W.S.; HENRIQUES, I.G.N.; LIMA, TS Acúmulo, deposição e instalação de serrapilheira sob a dinâmica vegetacional da Caatinga em Unidade de Conservação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S. l.], v. 1, pág. 84–89, 2016.

FAGUNDES, M. V.; SOUZA, A. F.; OLIVEIRA, R. S.; GANADE, G. Functional traits above and below ground allow species with distinct ecological strategies to coexist in the largest seasonally dry tropical forest in the Americas. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, p. 930099, 2022.

FAGUNDES, M.; WEISSER, W.; GANADE, G. The role of nurse successional stages on species-specific facilitation in drylands: Nurse traits and facilitation skills. **Ecology and evolution**, v. 8, n. 10, p. 5173-5184, 2018.

FEITOSA, Ramon Costa. **Estoque de carbono em floresta tropical sazonalmente seca no nordeste do brasil: uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FERREIRA, C. D.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; SALES, F. C. V.; BARROSO, R. F.; SOUZA JUNIOR, C. M. P. Deposição, acúmulo e decomposição de serapilheira em área preservada de caatinga. **Agrarian**, [s.l.], v. 12, n. 44, p. 174-181, 12 out. 2019. Universidade Federal de Grande Dourados.

GIONGO, V.; DA SILVA GALVÃO, S. R.; MENDES, A. S.; FERREIRA, T. J. Estoque de carbono no sistema solo em uma área referência do semiárido. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**. 2010.

GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. S. M.; GAVA, C. A. T. Carbono no sistema solo-planta no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1233-1253, 2011.

GOMES, Francisco Emanuel Firmino. **Processos hidrossedimentológicos em uma bacia experimental do Semiárido brasileiro**. 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

HENRIQUES, Í. G. N.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; SANTOS, W. S.; HENRIQUES, I. G. N.; LIMA, T. S.. Acúmulo, deposição e decomposição de serrapilheira sob a dinâmica vegetacional da Caatinga em Unidade de Conservação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 84, 31 out. 2016.

JESUS, K. N.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; SALES, A. T.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Estoques de carbono em solos de Pernambuco, Brasil (Carbon stocks in soil of Pernambuco state, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 714-721, 2019.

LEONARDO, F. de AP; MEDEIROS NETO, PH; SOUTO, JS; PEREIRA FILHO, JV; SOUTO, PC; AVES, AU Ciclagem de nutrientes e macrofauna do solo em áreas de caatinga. **Contribuciones a las ciencias sociales**, [S. l.], v. 9, pág. 16733–16752, 2023.

LIRA, Daniely Lidiany Costa. **Assoreamento em densas redes de reservatórios: o caso da bacia hidrográfica da barragem Pereira de Miranda, CE**. 2012. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

LOPES, J. F. B.; DE ANDRADE, E. M.; DE OLIVEIRA LOBATO, F. A.; DE QUEIROZ PALÁCIO, H. A.; ARRAES, F. D. D. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 3, n. 2, p. 72-79, 2009.

MAGALHÃES, T. M. Carbon stocks in necromass and soil pools of a Mozambican tropical dry forest under different disturbance regimes. **Biomass and Bioenergy**, v. 105, p. 373-380, 2017.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil— past, present, and future. **Theor Appl Climatol**, [s.l.], p. 1–12. 2016.

MENEZES, R. S. C., SALES, A. T., PRIMO, D. C., DE ALBUQUERQUE, E. R. G. M., DE JESUS, K. N., PAREYN, F. G. C., SAMPAIO, E. V. D. S. B. Soil and vegetation carbon stocks after land-use changes in a seasonally dry tropical forest. **Geoderma**, v.390, 114943. 2021.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 181-186, 2010.

MORFFI-MESTRE, H.; ÁNGELES-PÉREZ, G.; POWERS, J. S.; ANDRADE, J. L.; FELDMAN, R. E.; MAY-PAT, F.; DUPUY-RADA, J. M. Leaf litter decomposition rates: influence of successional age, topography and microenvironment on six dominant tree species in a tropical dry forest. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 6, p. 1082233, 2023.

OLIVEIRA, C. C.; ZANDEVALLI, R. B.; DE LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N. Functional groups of woody species in semi-arid regions at low latitudes. **Austral Ecology**, v. 40, n. 1, p. 40-49, 2015.

OLIVEIRA, C. L.; DE SOUSA LIMA, J. R.; SOUZA, R. M. S.; DANTAS, A. C.; DE SOUZA, E. S.; FERREIRA, R. C. A Caatinga Emite ou Sequestra Carbono?. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 02, p. 791-804, 2023.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**. [s.l.], v.44, n.2, p.322-331, 1963.

PARTEKA, L. A.; DA SILVA, É. N.; SERVILHERI, J. G.; PEREIRA, V.; DE OLIVEIRA, A. A. P.; DE PAIVA AFFONSO, I. Mudanças climáticas na atualidade—discutindo o aquecimento global. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v. 8, n. 3, 2013.

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; RAYMER, P. C. L.; RIBEIRO FILHO, J. C.; PEREIRA, F. J. S. Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**. [s.l.], v. 47, p. 32-40, 2016.

PEREIRA, R. M. A.; ARAUJO FILHO, J. A.; LIMA, R. V.; LIMA, A. O. N.; ARAUJO, Z. B. Estudos fenológicos de algumas espécies lenhosas e herbáceas da caatinga. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 20, n. 1, p. 11-20, 1989.

PETRITAN, I. C.; MIHĂILĂ, V. V.; YUSTE, J. C.; BOURIAUD, O.; PETRITAN, A. M. Deadwood density, C stocks and their controlling factors in a beech-silver fir mixed virgin European forest. **Forest Ecology and Management**, v. 539, p. 121007, 2023.

RITO, K. F.; ARROYO-RODRIGUEZ, V.; CAVENDER-BARES, J.; SANTO-SILVA, E. E.; SOUZA, G.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Unraveling the drivers of plant taxonomic and phylogenetic β -diversity in a human-modified tropical dry forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 30, p. 1049-1065, 2021.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FIGUEIREDO, M. A. Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico: ecossistema caatinga. **Sociedade Botânica do Brasil**. v. 24, 2013.

SALES L. D.; PEREIRA, O. D. M.; SOARES, A. A.; CHURKA BLUM, S.; SGOBARO ZANETTE, L. R.; ZANDAVALLI, B. R. Evidence of facilitation between early-successional tree species and the regenerating plant community in a tropical seasonally dry environment. **Austral Ecology**, v. 47, n. 3, p. 541-556, 2022.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, G. C. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botânica Brasílica**, n. 19, v. 4, p. 935-943. 2005.

SALINAS, A.V. M.; MUÑOZ, E. A. A.; CAMACHO, R. L. Litterfall and nutrient transfer dynamics in a successional gradient of tropical dry forest in Colombia. **Revista de Biología Tropical**, v. 71, n. 1, 2023.

SHANKS, R.; OLSON, J. S. First year breakdown of leaf litter in Southern Appalachian Forest. **Science**. [s.l.], v.134, p. 194-195, 1961.

SCHULZ, K.; VOIGT, K.; BEUSCH, C.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; KOWARIK, I.; WALZ, A.; CIERJACKS, A. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 367, p. 62-70, 2016.

TORIYAMA, J.; HAK, M.; IMAYA, A.; HIRAI, K.; KIYONO, Y. Effects of forest type and environmental factors on the soil organic carbon pool and its density fractions in a seasonally dry tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 335, p. 147-155, 2015.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Commun. in Soil Sci.Plant Anal**, v. 19, 1467-1476, 1988.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**. [s.l.], v. 58, 175-180, 1994.

WANG, H.; JIANG, F.; WANG, J.; JU, W. E.; CHEN, J.M. Terrestrial ecosystem carbon flux estimated using GOSAT and OCO-2 XCO₂ retrievals. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 19, n. 18, p. 12067-12082, 2019.

ZHU, X.; JIANG, X.; SINGH, A. K.; ZENG, H.; CHEN, C.; LU, E.; LIU, W. Reduced litterfall and decomposition alters nutrient cycling following conversion of tropical natural forests to rubber plantations. **Ecological Indicators**, v. 138, p. 108819, 2022.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diferentes compartimentos estudados possuem estoque de C relativamente médio quando comparado com outras áreas de Caatinga. A área I que está em sucessão secundária a 37 anos possui um estoque de carbono maior que a área II sob pastejo, ou seja, a substituição de áreas com vegetação nativa para uso de pasto pode levar a uma perda considerável nos estoques de C.

A maior parte desse C da área I está estocada no solo 65,8%, seguida da biomassa de árvores 26%, necromassa de árvores 6,3% e serrapilheira 1,7%; igualmente na área II o solo foi o compartimento com maior estoque de C 76,9%, seguida da biomassa de árvores 19,5%, serrapilheira 1,8% e necromassa de árvores 1,8%.

As FTSS foram intensamente alteradas nos últimos anos em decorrência principalmente do uso intensivo de atividades antrópicas e pelo desmatamento, provocando enormes perdas de carbono. Estes resultados proporcionam uma melhor compreensão não só dos padrões espaciais do estoque de carbono acima do solo e do solo de FTSS, como também na compreensão do ciclo do carbono frente às alterações climáticas em regiões semiáridas.

REFERÊNCIAS

- ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro. 2003.
- AGUIAR, M. I.; OLIVEIRA PINTO, O. R., LOPES, E. C.; SENA, E. S.; MORAES, J. G. L.; SILVA, F. D. B. Composição florística, estrutura e biomassa de plantas arbóreas/arbustivas da Caatinga. **Nature and Conservation**, v. 14. n.1 p. 71-82. 2021.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, M. J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ALVES, J. B.; SILVA, E. M. DA; RICKES, C. P. Downscaling dinâmico de precipitação e veranicos no estado do Ceará. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.4, 385–393. 2017.
- AMARAL, R.; COSTA, S. de A. P.; MUZZI, M. R. S. O sequestro de carbono em trechos da floresta urbana de Belo Horizonte: por um sistema de espaços livres mais eficiente no provimento de serviços ecossistêmicos urbanos. **Paisagem e Ambiente**, n. 39, p. 163-179, 2017.
- ARAÚJO FILHO, J. Manejo pastoril sustentável da caatinga. IICA, Brasília (Brasil) Projeto Dom Helder Camara, Recife (Brasil) Projeto SEMEAR, Brasília (Brasil) Associação Brasileira de Agroecologia, Rio Grande do Sul (Brasil), 2013.
- ARAÚJO, Isailma da Silva. **Identificação e valoração de serviços ecossistêmicos no Parque das Dunas, Natal-RN**. 2018. 98f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- ARSLAN, A. K.; YAĞAR, Y. ; ÇOLAK, C.; YOLOĞLU, S. R Shiny Paketi ile Kruskal Wallis H Testi için İnteraktif Bir Web Uygulamas. **İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi**, v.7, n.2, p.49-55. 2018.
- ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; CORDEIRO, L. A. M.; EVANGELISTA, B. A. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa**, p. 153-167, 2019.
- BARROS, M. F.; RIBEIRO, E. M.; VANDERLEI, R. S.; DE PAULA, A. S.; SILVA, A. B.; WIRTH, R.; TABARELLI, M. Resprouting drives successional pathways and the resilience of Caatinga dry forest in human-modified landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118881, 2021.
- BARROS, I. O.; SOARES, A. A. Adaptações anatômicas em folhas de marmeleiro e velame da caatinga brasileira. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 192-198, 2013.
- BATISTA, F. G.; OLIVEIRA, B. T. DE; ALMEIDA, M. E. DE A.; BRITO, M. S. DE; MELO, R. R. DE; ALVES, A. R. Florística e fitossociologia em um remanescente florestal de caatinga no município de Caicó-RN, brasil. Desafios. **Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 6, n. 3, p. 118-128, 2019.

BARBOSA, R.; SILVA, A.; NEVES, M.; GALVÃO, A.; NETO, C. O. Produção e sequestro de carbono na atmosfera. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, 2013.

BELLE, S. L.; RIOTTE, J.; SEKHAR, M.; RUIZ, L.; SCHIEDUNG, M.; ABIVEN, S. Soil organic carbon stocks and quality in small-scale tropical, sub-humid and semi-arid watersheds under shrubland and dry deciduous forest in southwestern India. **Geoderma**, v. 409, p. 115606, 2022.

BEZERRA, J. S.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; DUPUY-RADA, J. M.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Negative impact of slash-and-burn agriculture on the seed rain in a tropical dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 531, p. 120821, 2023.

BÔAS, H. V.; MIRANDA, E. N.; ARAÚJO, L. A.; CARVALHO, M. C.; DA PÁSCOA, K. J. V.; GOMIDE, L. R. Influência de gradientes geográficos na estimativa do estoque de carbono em floresta estacional semidecidual. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 2, p. 137-145, 2019.

BUCHIANERI, Viviane Coelho. **O valor dos serviços ecossistêmicos nas bacias hidrográficas dos rios Itaguapé e Guaratuba em Bertoga, SP**. 2017. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

BLACKIE, R.; BALDAUF, C.; GAUTIER, D.; GUMBO, D. J.; KASSA, H.; PARTHASARATHY, N.; SUNDERLAND, T. C. 2014. As florestas tropicais secas: O estado de conhecimento global e recomendações para futuras pesquisas. Documento para Discussão. Bogor, Indonésia: CIFOR.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de Janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 jan 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de-2021-298899394>.

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**, Brasília, DF, 29 dez. 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm.

BRITO MORAIS, Y. C.; BEZERRA DE ARAÚJO, M. D. S.; DE MOURA, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; DE QUEIROGA MIRANDA, R. Análise do Sequestro de Carbono em áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 585-599, 2017.

BRITO, L. B.M.; DE ARAÚJO, F. S. Banco de sementes de *Cordia oncocalyx* Allemão em uma área de caatinga sobre planossolo. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, 2009.

BROWN, S.; LUGO, A.; CHAPMAN, J. Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. **Canadian Journal of Forestry Research**, v.16, p.390-394, 1986.

CALONEGO, J. C.; DOS SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S.; JÚNIOR, J. R. C. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 128-135, 2012.

CÁRDENAS CAMACHO, L. M.; DÍAZ-C, S. E.; GÓMEZ-ANAYA, W. F. .; ROJAS-ROJAS, J. E. .; LÓPEZ CAMACHO, R. Análisis participativo de servicios ecosistémicos en un área protegida del bosque seco tropical (bs-T), Colombia. **Colombia forestal**, v. 24, n. 1, p. 123–156, 2021.

CARRILHO, Cauê Dias. **Identificação e valoração econômica e sociocultural dos serviços ecossistêmicos da Baía do Araçá, São Sebastião, SP, Brasil**. 2016. 170 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

CABRAL, G. A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Spatial Structure and Aboveground Biomass in Different Caatinga Succession Stages, in Santa Terezinha, Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 566-574, 2013.

CALVO-RODRIGUEZ, S.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; DURÁN, S. M.; DO ESPIRITO SANTO, M. M.; FERREIRA NUNES, Y. R. Dynamics of carbon accumulation in tropical dry forests under climate change extremes. **Forests**, v. 12, n. 1, p. 106, 2021.

CAMPOS, D. A.; ANDRADE, E. M.; CASTANHO, A. D. A.; FEITOSA, R. C.; PALÁCIO, H. Q. A. Biomass Dynamics in a Fragment of Brazilian Tropical Forest (Caatinga) over Consecutive Dry Years. **Applied Sciences**. v.10, n.21, p.1-12, 2020.

CAMPOS, D. A.; DE ANDRADE, E. M. Seasonal trend of climate variables in an area of the Caatinga phytogeographic domain. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 15, 2021.

CASTANHO, A.D.; COE, M.; ANDRADE, E.M.; WALKER, W.; BACCINI, A.; CAMPOS, D.A.; FARINA, M. A close look at above ground biomass of a large and heterogeneous Seasonally Dry Tropical Forest-Caatinga in North East of Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, 2020.

CASTRO-MAGNANI, M.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A.; METTERNICHT, G.; LAAKSO, K. Integration of remote-sensing based metrics and econometric models to assess the socio-economic contributions of carbon sequestration in unmanaged tropical dry forests. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 9, p. 100100, 2021.

COSTANZA, R.; GROOT, R.; BRAAT, L.; KUBISZEWSKI, I.; FIORAMONTI, L.; SUTTON, P.; FARBER, S.; GRASSO, M. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?. **Ecosystem Services**, v. 28, p. 1-16. 2017.

COSTANZA, R.; GROOT, R.; SUTTON, P.; PLOEG, S. van D.; ANDERSON, S. J.; KUBISZEWSKI, I.; FARBER, S.; TURNER, R. K. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, p. 152–158, 2014.

COSTA, T. L.; SAMPAIO, E. V.; SALES, M. F.; ACCIOLY, L. J.; ALTHOFF, T. D.; PAREYN, F. G.; MENEZES, R. S. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and soil**, v. 378, p. 113-123, 2014.

COSTA, G. F. D.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta amazônica**, v. 37, p. 229-234, 2007.

COSTA, J. P. M.; SOUTO, L. S.; LUNA, R. G.; DUTRA FILHO, J. A.; SOUZA, A. S.; GONDIM, A. R. O.; DANTAS, J. A. P. Importância da estrutura vegetacional para a produção e decomposição da serrapilheira. **Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent**, vol. 9, n. 21, p. 171-183. 2022.

CPRM – COMPANHIA DE PRODUÇÃO DE RECURSOS MINERAIS. (2003) Atlas de Geologia e Recursos Minerais do Ceará: Sistema de Informações Geográficas SIG e mapa na escala 1:500.000. In: Cavalcante, J. C.; Vasconcelos, A. M.; Gomes F. E. M. Serviço Geológico do Brasil/ Secretária dos Recursos Hídricos do Ceará. Fortaleza: CPRM Serviço Geológico do Brasil, 1 CD ROM.

DAR, A.A.; BABU, K.N.; DILSHAD, K.; NATH, S.; PARTHASARATHY, N. Temporal changes in tree community structure and carbon stocks in a human-impacted tropical dry evergreen forest, South India. **Acta Ecologica Sinica**, v. 43, n. 4, p. 701-711, 2023.

DE LACERDA, A.V.; DE LIMA, J.P.P.; DE OLIVEIRA NUNES, T.J.; GOMES, A.C.; DORNELAS, C.S.M.; DE ALCÂNTARA, H. M.; BARBOSA, F. M. Population Dynamics of *Croton blanchetianus* Baill. in a Caatinga Area in the Brazilian Semi-Arid. **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, n. 4, p. 920-932, 2018.

DE LIMA, T. L.; FERREIRA, R. L. C.; DA SILVA, J. A. A., ALVES JUNIOR, F. T., DE LIMA, A. L. A., CÉSPEDES, G. G.; LONGHI, R. V. Stump regrowth and estimation of reconstituting Caatinga shrub-tree biomass under forest management. **Scientia Forestalis**, n. 119, p. 449-458, 2018.

DE LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N.; CASTRO, C. C.; ANTONINO, A. C. D.; DE MELO, A. L.; GONÇALVES-SOUZA, T.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Phenology of high-and low-density wood deciduous species responds differently to water supply in tropical semiarid regions. **Journal of Arid Environments**, v. 193, p. 104594, 2021.

DE SOUZA, Danilo Diego. **Adaptações de plantas da Caatinga**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

DE ANDRADE, R. L.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; BEZERRA, D. M. Deposição de serrapilheira em área de caatinga na RPPN "fazenda tamandua", Santa Terezinha-PB. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 2, p. 223-230, 2008.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C.V. Química da matéria orgânica do solo. **Química e mineralogia do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 1-67, 2009.

DIAS-FILHO, M. B. A fotossíntese e o aquecimento global. Belem: Embrapa Amazonia Oriental, 2006. 24p. (Embrapa Amazonia Oriental. Documentos, 234).

DIAS, G. V.; NEFFA, E.; TOSTES, J. G. R. Pagamentos por Serviços Ambientais, Mercado de Crédito de Carbono e as trocas desiguais. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 14, n. 2, p.235-254, 27. 2020.

DOS SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. D. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; PIMENTA, A. S.; PINTO, E. M.; MARINHO, I. V. Estoques de volume, biomassa e carbono

na madeira de espécies da Caatinga em Caicó, RN. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 1-7, 2016.

FAGUNDES, M. V.; SOUZA, A. F.; OLIVEIRA, R. S.; GANADE, G. Functional traits above and below ground allow species with distinct ecological strategies to coexist in the largest seasonally dry tropical forest in the Americas. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, p. 930099, 2022.

FAGUNDES, M. V.; WEISSER, W.; GANADE, G. The role of nurse successional stages on species-specific facilitation in drylands: Nurse traits and facilitation skills. **Ecology and evolution**, v. 8, n. 10, p. 5173-5184, 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Trees, forests and land use in drylands: The first global assessment. **Roma: FAO**, 2016.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Terms and definitions. **Roma: FAO**, 2013.

FAO. Data sets, indicators and methods to assess land degradation in drylands. Roma, 2003. 123 p. (FAO. World Soil Resources Reports, 100), 2011.

FERRAZ, R. P. D.; PRADO, R. B.; PARRON, L. M.; CAMPANHA, M. M. **Marco Referencial em Serviços Ecosistêmicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 121 p.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e flora da Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 51-56, 2018.

FEITOSA, Ramon Costa. **Estoque de carbono em floresta tropical sazonalmente seca no nordeste do Brasil: uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FERREIRA, Maria Beatriz. **Disposição espacial de Mimosa tenuiflora, Piptadenia stipulacea e Cnidocolus quercifolius inermes espontâneas**. 2021. 59f. (Dissertação de Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2021.

FERREIRA, C. D.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; SALES, F. C. V.; BARROSO, R. F.; SOUZA JUNIOR, C. M. P. Deposição, acúmulo e decomposição de serapilheira em área preservada de caatinga. **Agrarian**, [s.l.], v. 12, n. 44, p. 174-181, 12 out. 2019. Universidade Federal de Grande Dourados.

FREITAS, C. V. M.; SILVA, M. L. P.; Mudanças do Clima: Análise das Conferências que trataram do Mercado de Carbono e seus principais resultados. **Braz. J. of Develop**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 75332-75342. 2020.

FREITAS, V. L. B.; SILVA, A. F.; NASCIMENTO, A. F. Quantificação da biomassa das espécies florestais em área de caatinga arbórea. 2019. **Anais.. IV congresso internacional das ciências agrárias**.

GIONGO, V.; DA SILVA GALVÃO, S. R.; MENDES, A. S.; FERREIRA, T. J. Estoque de carbono no sistema solo em uma área referência do semiárido. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**. 2010.

GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. S. M.; GAVA, C. A. T. Carbono no sistema solo-planta no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1233-1253, 2011.

GOMES, S. A.; NETO, J. D.; SILVA, V. F. Serviços ecossistêmicos: conceitos e classificação. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 12-23, 2018.

GOMES, Francisco Emanuel Firmino. **Processos hidrossedimentológicos em uma bacia experimental do Semiárido brasileiro**. 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

GIRÃO, E. G.; DA SILVA ARAÚJO, Í. M.; DOS SANTOS GARRUTI, D.; DA ROCHA, R. F. J.; DE OLIVEIRA, V. P. V.; CARNEIRO, K. L. B. Avaliação dos aspectos de qualidade do pau-branco (*Cordia oncocalyx* allemão) e outras madeiras da caatinga. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 3, p. 228-238, 2022.

GONZAGA, A. P. D.; PINTO, J. R. R.; MACHADO, E. L. M.; FELFILI, J. M. Similaridade florística entre estratos da vegetação em quatro Florestas Estacionais Deciduais na bacia do Rio São Francisco. **Rodriguésia**, v. 64, p. 11-19, 2013.

GROOT, R.; WILSON, M.; BOUMANS, R. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, p. 393-408, 2002.

HIGA, R. C. V.; CARDOSO, D. J.; ANDRADE, G. de C.; ZANATTA, J. A.; ROSSI, L. M. B.; PULROLNIK, K.; NICODEMO, M. L. F.; GARRASTAZU, M. C.; VASCONCELOS, S. S.; SALIS, S. M. Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal [recurso eletrônico]. 1 ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2014.

HENRIQUES, Í. G. N.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; SANTOS, W. S.; HENRIQUES, I. G. N.; LIMA, T. S. Acúmulo, deposição e decomposição de serrapilheira sob a dinâmica vegetacional da Caatinga em Unidade de Conservação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 84, 31 out. 2016.

ISBELL, F.; CALCAGNO, V.; HECTOR, A.; CONNOLLY, J.; HARPOLE, W. S.; REICH, P. B.; LOREAU, M. High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. **Nature**, v. 477, n. 7363, p. 199-202, 2011.

JESUS, K. N.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; SALES, A. T.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Estoques de carbono em solos de Pernambuco, Brasil (Carbon stocks in soil of Pernambuco state, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 714-721, 2019.

JOSHI, R. Kr.; DHYANI, S. Biomass, carbon density and diversity of tree species in tropical dry deciduous forests in Central India. **Acta Ecologica Sinica**, v. 39, n. 4, p. 289-299, 2019.

JACCARD, P. The distribution of the flora in the alpine zone. 1. **New phytologist**, v. 11, n. 2, p. 37-50, 1912.

KOOPMAN, K. R.; STRAATSMA, M. W.; AUGUSTIJN, D. C.; BREURE, A. M.; LENDERS, H. J. R., STAX, S. J.; LEUVEN, R. S. E. W. Quantifying biomass production for assessing ecosystem services of riverine landscapes. **Science of the total environment**, v. 624, p. 1577-1585, 2018.

KOTHANDARAMAN, S.; DAR, JA.; SUNDARAPANDIAN, S.; DAYANANDAN, S.; KHAN, M.L. Ecosystem-level carbon storage and its links to diversity, structural and environmental drivers in tropical forests of Western Ghats, India. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-15, 2020.

KLUGE, R.A.; TEZOTTO-ULIANA, J.V.; DA SILVA, P.P.M. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 56-73, 2015.

LARCHER, W. 2000. *Ecofisiologia vegetal*. RiMa, São Carlos. 531 p.

LEITE, M. B.; ANGUITA, M. P. Classificação das políticas públicas relacionadas com os serviços ecossistêmicos no território brasileiro. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 106–121, 2017.

LEONARDO, F. de AP; MEDEIROS NETO, PH; SOUTO, JS; PEREIRA FILHO, JV; SOUTO, PC; AVES, AU Ciclagem de nutrientes e macrofauna do solo em áreas de caatinga. **Contribuciones a las ciencias sociales**, [S. l.], v. 9, pág. 16733–16752, 2023.

LIRA, Daniely Lidiany Costa. **Assoreamento em densas redes de reservatórios: o caso da bacia hidrográfica da barragem Pereira de Miranda, CE**. 2012. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

LIU, X.; TROGISCH, S.; HE, J. S.; NIKLAUS, P. A.; BRUELHEIDE, H.; TANG, Z.; MA, K. Tree species richness increases ecosystem carbon storage in subtropical forests. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 285, n. 1885, p. 20181240, 2018.

LUNA, M. T. S.; LOPES, S. F. estrutura e regeneração de um fragmento de caatinga no agreste paraibano. *In*. Maria José Lima da Silva, Carlos Henrique Gadelha Meneses, Fabiana Faustino da Cruz (org.). **Rede de Saberes**. v.2, Campina Grande: EDUEPB, 2021, p.85.

LOPES, J. F. B.; DE ANDRADE, E. M.; DE OLIVEIRA LOBATO, F. A.; DE QUEIROZ PALÁCIO, H. A.; ARRAES, F. D. D. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 3, n. 2, p. 72-79, 2009.

MAGALHÃES, T. M. Carbon stocks in necromass and soil pools of a Mozambican tropical dry forest under different disturbance regimes. **Biomass and Bioenergy**, v. 105, p. 373-380, 2017.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil— past, present, and future. **Theor Appl Climatol**, [s.l.], p. 1–12. 2016.

MAGURRAN, A. E. Ecological diversity and its measurement. Croom Helm, London, 178. 1988.

MAGERL, A.; MATEJ, S.; KAUFMANN, L.; LE NOE, J.; ERB, K.; GINGRICH, S. Forest carbon sink in the US (1870–2012) driven by substitution of forest ecosystem service flows. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 176, p. 105927, 2022.

MARKESTEIJN, L.; POORTER, L.; BONGERS, F.; PAZ, H.; SACK, L. Hydraulics and life history of tropical dry forest tree species: coordination of species' drought and shade tolerance. **New phytologist**, v. 191, n. 2, p. 480-495, 2011a.

MARKESTEIJN, L.; POORTER, L.; PAZ, H.; SACK, L.; BONGERS, F. Ecological differentiation in xylem cavitation resistance is associated with stem and leaf structural traits. **Plant, Cell & Environment**, v. 34, n. 1, p. 137-148, 2011b.

MARTINS, C. R.; PEREIRA, P. D. P.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. D. Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre. **Cadernos temáticos de química nova na escola**, v. 5, p. 28-41, 2003.

MATA, M. V. M.; HOELZEMANN, J. J., SOUSA NETO, E. R.; AGUIAR, A. P. D.; MARCIA, R. Emissões de CO2 Provenientes do Uso e Mudanças no Uso da Terra no Bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 08, n. 01, p. 144-15. 2015.

MATTOS, A. D. M. Avaliação ambiental de áreas de preservação permanente da microbateria de ribeirão São Bartolomeu no Município de Viçosa, MG. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 31, n. 2 p. 347-353. 2007.

MEA. AVALIAÇÃO DO ECOSSISTEMA DO MILÊNIO. Ecossistemas e bem-estar humano: síntese. Washington, DC: Island Press: 2005.

MEDEIROS, N. C. G.; SOUSA, S. M. S.; MONTEIRO, M. M.; AZEVEDO, L. K. S.; SALES, F. DAS C. V. Levantamento Florístico e Fitossociológico em Remanescente Florestal em Patos-PB. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 8, n. 1, p. 120-129, 17 mar. 2021.

MENEZES, R. S. C.; SALES, A. T.; PRIMO, D. C., DE ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; DE JESUS, K. N.; PAREYN, F. G. C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Soil and vegetation carbon stocks after land-use changes in a seasonally dry tropical forest. **Geoderma**, v.390, p.114943. 2021.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; LIMA, R. A. F. A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 181-186, 2010.

MOTTA, R. S. Manual para valoração econômica de recursos ambientais. 1998. Brasília: IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 254p.

MORFFI-MESTRE, H.; ÁNGELES-PÉREZ, G.; POWERS, J. S.; ANDRADE, J. L.; FELDMAN, R. E.; MAY-PAT, F.; DUPUY-RADA, J. M. Leaf litter decomposition rates: influence of successional age, topography and microenvironment on six dominant tree species in a tropical dry forest. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 6, p. 1082233, 2023.

NUNES, F. C.; SOUZA FILHO, J. R. Serviços ecossistêmicos e economia: à guisa de introdução. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 30, n. 1, p. 7-13, 2020.

OLIVEIRA, G. A.; SILVA, L. F.; AGOSTINHO, P. R.; SOARES, J. A. C.; SERRANO, M. R.; PEREIRA, Z. V.; NASCIMENTO, J. S.; PADOVAN, M. P. Valoração econômica de sequestro de carbono em sistemas agroflorestais biodiversos no bioma cerrado. **Editora Científica Digital**, v. 31, P. 357-366. 2021.

OLIVEIRA, L. C.; ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G.; FERNANDES, F. B. P. Frequência e distribuição espacial de veranicos no estado do Ceará. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido, 2., 2015, Quixadá. **Anais [...]**. Quixadá: MASSA, 2015.

OLIVEIRA, C. C.; ZANDAVALLI, R. B.; DE LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N. Functional groups of woody species in semi-arid regions at low latitudes. **Austral Ecology**, v. 40, n. 1, p. 40-49, 2015.

OLIVEIRA, C. L.; DE SOUSA LIMA, J. R.; SOUZA, R. M. S.; DANTAS, A. C.; DE SOUZA, E. S.; FERREIRA, R. C. A Caatinga Emite ou Sequestra Carbono?. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 02, p. 791-804, 2023.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**. [s.l.], v.44, n.2, p.322-331, 1963.

OUVERNEY, I. R.; MOTTA, R. S. D.; ORTIZ, R. A.; COELHO, P. S. Condicionantes da disposição de participar e aceitar pagamentos por serviços ambientais: um estudo de caso no brasil. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 21, 2018.

PAIVA, C.D.G.; MORO, M.F.; SOUSA, L.O.F.; BALDAUF, C. Fitossociologia da caatinga na Floresta Nacional de Açu, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e entorno: diversidade e biogeografia do componente lenhoso. **Hoehnea [online]**, v. 48. p. 1-11. 2021.

PARTEKA, L. A.; DA SILVA, É. N.; SERVILHERI, J. G.; PEREIRA, V.; DE OLIVEIRA, A. A. P.; DE PAIVA AFFONSO, I. Mudanças climáticas na atualidade—discutindo o aquecimento global. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v. 8, n. 3, 2013.

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; RAYMER, P. C. L.; RIBEIRO FILHO, J. C.; PEREIRA, F. J. S. Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**. [s.l.], v. 47, p. 32-40. 2016.

PEREIRA, R. M. A.; ARAUJO FILHO, J. A.; LIMA, R. V.; LIMA, A. O. N.; ARAUJO, Z. B. Estudos fenológicos de algumas espécies lenhosas e herbáceas da caatinga. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 20, n. 1, p. 11-20, 1989.

- PETRITAN, I. C.; MIHĂILĂ, V. V.; YUSTE, J. C.; BOURIAUD, O.; PETRITAN, A. M. Deadwood density, C stocks and their controlling factors in a beech-silver fir mixed virgin European forest. **Forest Ecology and Management**, v. 539, p. 121007, 2023.
- POORTER, L., VAN DER SANDE, M. T., THOMPSON, J., ARETS, E. J., ALARCÓN, A., ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, J., PEÑA-CLAROS, M. Diversity enhances carbon storage in tropical forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 11, p. 1314-1328, 2015.
- POTSCHIN, M.; HAINES-YOUNG, R. Ecosystem services: Exploring ageographical perspective. **Progress in Physical Geography**. v. 35, p. 575- 594. 2011.
- PULLA, S.; RAMASWAMI, G.; MONDAL, N.; CHITRA-TARAK, R.; SURESH, H. S., DATTARAJA, H. S.; SUKUMAR, R. Assessing the resilience of global seasonally dry tropical forests. **International Forestry Review**, v. 17, n. 2, p. 91-113, 2015.
- QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M. F.; MORO, M. F. Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. **Caatinga**, [s.l.], p. 23-63, 2017.
- QUIJAS, S.; BOIT, A.; THONICKE, K.; MURRAY-TORTAROLO, G.; MWAMPAMBA, T.; SKUTSCH, M.; BALVANERA, P. Modelling carbon stock and carbon sequestration ecosystem services for policy design: a comprehensive approach using a dynamic vegetation model, **Ecosystems and People**, v.15, n.1, p.42-60, 2019.
- REIS, D. O.; MENDONÇA, D. de A.; FABRICANTE, J. R. Levantamento florístico e fitossociológico do estrato arbustivo-arbóreo de uma área de Caatinga em Pernambuco, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 7, n. 1, p. 041–051, 2022.
- RIBEIRO, Kelly. **Mudança no uso do solo e emissões de gases de efeito estufa (GEE) em diferentes coberturas vegetais na caatinga brasileira**. 2017. Dissertação (Mestrado)– Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2017.
- RITO, K. F.; ARROYO-RODRIGUEZ, V.; CAVENDER-BARES, J.; SANTO-SILVA, E. E.; SOUZA, G.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Unraveling the drivers of plant taxonomic and phylogenetic β -diversity in a human-modified tropical dry forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 30, p. 1049-1065, 2021.
- RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FIGUEIREDO, M. A. Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico: ecossistema caatinga. **Sociedade Botânica do Brasil**. v. 24, 2013.
- ROSÁRIO, R. G. A.; RODRIGUES, M. S.; ALVES, E. S. F.; GOMES, M. A. F.; COSTA, M. V. Estudo comparativo entre conhecimento popular e científico de plantas medicinais de espécies da família fabaceae. **Extensão Rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar** - [s.l.], v.2, p. 206-212, 2021.
- SALES L. D.; PEREIRA, O. D. M.; SOARES, A. A.; CHURKA BLUM, S.; SGOBARO ZANETTE, L. R.; ZANDEVALLI, B. R. Evidence of facilitation between early-successional tree species and the regenerating plant community in a tropical seasonally dry environment. **Austral Ecology**, v. 47, n. 3, p. 541-556, 2022.

SALINAS, A. V. M.; MUÑOZ, E. A. A.; CAMACHO, R. L. Litterfall and nutrient transfer dynamics in a successional gradient of tropical dry forest in Colombia. **Revista de Biología Tropical**, v. 71, n. 1, 2023.

SHANKS, R.; OLSON, J. S. First year breakdown of leaf litter in Southern Appalachian Forest. **Science**. [s.l.], v.134, p. 194-195, 1961.

SCHULZ, K.; VOIGT, K.; BEUSCH, C.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; KOWARIK, I.; WALZ, A.; CIERJACKS, A. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 367, p. 62-70, 2016.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, G. C. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botânica Brasileira**, n. 19, v. 4, p. 935-943. 2005.

SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estoques e fluxos de carbono no semi-árido nordestino: estimativas preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 1275-1291, 2011.

SANTOS, Maiara Pedral dos. **Estimativa de estoques de carbono da biomassa para áreas de Caatinga de Pernambuco**. 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2021.

SA-FILHO, G. F.; SILVA, A. I. B.; OLIVEIRA, L. C.; CAVALCANTE, J. S.; CAVALCANTI, J. R. L. P.; GUZEN, F. P. Levantamento ciênciométrico da presença de potencial terapêutico anti-inflamatório em plantas nativas da caatinga brasileira. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, v. 13 n. 1, p.87-107, 2021.

SANTOS, N. M.; SILVA FILHO, C. R.; GUEDES, J. C. F.; COSTA, D. F. D. S. Identificação dos serviços ecossistêmicos de provisão prestados pela caatinga na microrregião do seridó ocidental, Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v.21, n.2, p.477-490. 2019.

SANTANA, J. A.; ZACCHARIAS, A. F. S.; SILVA, A. B.; FREIRE, A. S. M.; ZACCHARIAS, E. G. Florística, Fitossociologia e Índices de Diversidade da Caatinga em Assentamento Rural no Rio Grande do Norte, Brasil. **Biodiversidade Brasileira - Biobrasil**, v.11, n.1, p. 1-13. 2021.

SILVA, J. V. C. L.; FERRIS, H.; CARES, J. E.; ESTEVES, A. Effect of land use and seasonality on nematode faunal structure and ecosystem functions in the Caatinga dry forest. **European Journal Of Soil Biology**, [s.l.], v. 103, p. 103296, mar. 2021a.

SILVA, M. L. O.; LOPES, K. P.; DE ALMEIDA LEITE, M. I.; CAMPOS, K. W. N.; DE FRANÇA SOARES, A. K. Áreas degradadas no Semiárido: Causas, situação e alternativas de recuperação. **Ciências Rurais em Foco**, v.3, p. 22. 2021b.

SILVA, F. R.; GONÇALVES-SOUZA, T.; PATERNO, G. B.; PROVETE, D. B.; VANCINE, M. H. Análises ecológicas no R. – 1.ed. – Recife, PE : São Paulo : Nupeea : Canal 6, 2022. 640p.

- SILVA, Elizabete Cristina Araújo. **Estequiometria de nitrogênio e fósforo foliar de plantas arbóreas em áreas de Caatinga sob condições distintas**. 2018. 56f. Mestrado Agricultura e Ambiente (PPGAA) UFAL, *Campus Arapiraca*, Unidade Educacional ARAPIRACA.
- SILVA, A. C. F. da; FREIRE, F. J.; BORGES, C. H. A.; ARAUJO, E. C. G.; SANTANA, G. M.; CUNHA NETO, E. M. da; SANQUETTA, C. R. Teores de carbono em espécies florestais da Caatinga. **Ciência Florestal** [s.l.], v. 32, n. 1, p. 71–85, 2022.
- SILVA, M. L. N.; MANSUR, K. L.; NASCIMENTO, M. A. L. Nature Ecosystem Services and its Application on the Studies of Geodiversity: a review. **Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj**, v.41, n.2, p.699-709, 2018.
- SILVA, Diego Araújo Oliveira. **Valoração dos serviços ecossistêmicos na sub-bacia do rio Jacaré, Sergipe**. 2019. 47 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.
- SILVA, Samara Martins. **Serviços ecossistêmicos de carbono e biodiversidade e os projetos de lei sobre pagamento por serviços ambientais no Brasil: uma análise sobre o panorama atual**. 2016. 249 f. Dissertação (Mestrado em Ciências. Programa: Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2016.
- SINISGALLI, P.A.A.; SOUSA, JR.; W.C. Serviços Ecossistêmicos. **Diálogos Socioambientais na Macrometrópole Paulista**, São Bernardo do Campo, v. 3, n. 07, p. 5-7, 2020.
- SOUZA, M. R.; FERREIRA, M. B.; SOUSA, G. G. de; ALVES, A. R.; HOLANDA, A. C. de. Caracterização florística e fitossociológica do componente lenhoso de um fragmento florestal de caatinga em serra do mel, Rio Grande do Norte, Brasil. **Nativa**, v. 8, n. 3, p. 329-335, 2020.
- SOUZA, E. B. D.; NEPOMUCENO, F. Á. A.; SANTOS, F. D. S.; ARAÚJO, F. F. D.; NEPOMUCENO, I. V.; PAULA, A. S. D; MORO, M. F. Flora and physiognomy of Caatinga vegetation over crystalline bedrock in the northern Caatinga domain, Brazil. **Rodriguésia**, v. 73, 2023.
- STEINKE, Ercília Torres. **Climatologia fácil**. Oficina de Textos, 2016.
- TABARELLI, M., FILGUEIRAS, B. K., RIBEIRO, E. M., LOPES, A. V., LEAL, I. R. **Tropical Dry Forests**. 2023.
- TETEMKE, B. A., BIRHANE, E., RANNESTAD, M. M., EID, T. Species diversity and stand structural diversity of woody plants predominantly determine aboveground carbon stock of a dry Afromontane forest in Northern Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, v. 500, p. 119634, 2021.
- TERAKUNPISUT, J.; GAJASENI, N.; RUANKAWE, N. Carbon sequestration potential in aboveground biomass of Thong phaphun national forest, Thailand App. **Ecol. Environ. Res.**, v.5, p.93-102. 2007.

TORIYAMA, J.; HAK, M.; IMAYA, A.; HIRAI, K.; KIYONO, Y. Effects of forest type and environmental factors on the soil organic carbon pool and its density fractions in a seasonally dry tropical forest. **Forest Ecology and Management**, v. 335, p. 147-155, 2015.

TROVÃO, D. M. B. M., FERNANDES, P. D., ANDRANDE, L. A., NETO J. D. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande**, v.11, p. 307-311. 2007.

YU, Chang Man. **Sequestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. Annablume, 2004.

UNFCCC, UNFCCC. Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change. In: **Proceedings of the 3rd Conference of the Parties, FCCC/CP/1997/L.7/Add. 1**. United Nations Framework Convention on Climate Change, 1997. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/cop3/07a01.pdf>.

VASCONCELOS, A.D.M.; RAMOS, G.G.; OLIVEIRA, R.J.; LEITE, M.J. H.; HENRIQUES, I.G.N; RIBEIRO, N.M.A.R.; VASCONCELOS, G. S. Análise Florística e Fitossociologia em Área de Caatinga, Brasil. **Pesquisa e Revisão Anuais em Biologia** , v. 32, n.6, p. 1-8, 2019.

VIEIRA, L. C.S.; SILVA FILHO, P.V.; ALMEIDA D.V.; PRAKKI, S.; SANTOS, S, A. Sazonalidade do Sequestro e Estoque de Carbono na Caatinga, Durante as Estações Seca e Chuvosa. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 31, n. 18, p. 539–564, 2022.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**. [s.l.], v. 58, 175-180, 1994.

VEZZANI, F. M. Solos e os serviços ecossistêmicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, p. 673-684, 2015.

WANG, H.; JIANG, F.; WANG, J.; JU, W. E.; CHEN, J.M. Terrestrial ecosystem carbon flux estimated using GOSAT and OCO-2 XCO₂ retrievals. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 19, n. 18, p. 12067-12082, 2019.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Commun. in Soil Sci.Plant Anal**, v. 19, 1467-1476, 1988.

ZAMBONI, Nadia Selene. **Valoração de serviços ecossistêmicos costeiros em cenários de mudanças climáticas**. 2020. 147f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

ZHOU, P.; ZHANG, H.; HUANG, B.; JI, Y.; PENG, S.; ZHOU, T. Are productivity and biodiversity adequate predictors for rapid assessment of forest ecosystem services values?. **Ecosystem Services**, v. 57, p. 101466, 2022.

ZHU, X.; JIANG, X.; SINGH, A. K.; ZENG, H.; CHEN, C.; LU, E.; LIU, W. Reduced litterfall and decomposition alters nutrient cycling following conversion of tropical natural forests to rubber plantations. **Ecological Indicators**, v. 138, p. 108819, 2022.