



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO RECIFE

BRUNA KETELIN SANTOS AMORIM

**SUBTÂNCIAS HÚMICAS EM SOLOS SOB DIFERENTES USOS DO BIOMA
CAATINGA NO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

RECIFE

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO RECIFE

LICENCIATURA EM GEOGRAFIA

BRUNA KETELIN SANTOS AMORIM

**SUBTÂNCIAS HÚMICAS EM SOLOS SOB DIFERENTES USOS DO BIOMA
CAATINGA NO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

TCC apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Recife, como requisito para a obtenção do título de graduada em Geografia (licenciatura).

Orientador(a): Maria S. B. de Araújo

Coorientador(a): Juscélia da S. Ferreira

RECIFE

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Amorim, Bruna Ketelin Santos.

Substâncias húmicas em solos sob diferentes usos do bioma Caatinga no
Agreste de Pernambuco / Bruna Ketelin Santos Amorim. - Recife, 2024.
52 p. : il., tab.

Orientador(a): Maria do Socorro Bezerra de Araújo

Coorientador(a): Juscélia da Silva Ferreira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Geografia -
Licenciatura, 2024.

Inclui referências, apêndices.

1. Semiárido. 2. Manejo sustentável. 3. Estoque de carbono. 4. Matéria
orgânica . I. Araújo, Maria do Socorro Bezerra de. (Orientação). II. Ferreira,
Juscélia da Silva. (Coorientação). IV. Título.

910 CDD (22.ed.)

BRUNA KETELIN SANTOS AMORIM

**SUBTÂNCIAS HÚMICAS EM SOLOS SOB DIFERENTES USOS DO BIOMA
CAATINGA NO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

TCC apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Recife, como requisito para a obtenção do título de graduada em Geografia (licenciatura).

Aprovado em: 15 julho de 2024 (Média Final: 9,6)

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARIA DO SOCORRO BEZERRA DE ARAUJO**
Data: 23/07/2024 23:14:32-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^a. Dra. Maria de Socorro Bezerra de Araujo (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Cybelle Souza de Oliveira (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dra. Jéssica Rafaella de Sousa Oliveira (Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, por todo o apoio, investimento e incentivo aos estudos durante a minha jornada.

Agradeço a Universidade Federal de Pernambuco por tudo que me proporcionou durante minha jornada na graduação, através do ensino, pesquisa e extensão universitária.

Gostaria de agradecer ao Departamento de Ciências Geográfica (DCG), à coordenadora do curso de licenciatura em geografia Talitha Lusena de Vasconcelos e a todos os professores do departamento.

Gostaria de agradecer imensamente à minha orientadora do trabalho de conclusão de curso, Maria do Socorro Bezerra de Araújo, à minha coorientadora, Juscélia da Silva Ferreira e à minha orientadora da iniciação científica Ana Dolores, por todos os conselhos, ensinamentos e orientações que foram fundamentais para o meu desenvolvimento pessoal, científico e profissional.

Agradeço por fazer parte do INCT Observatório Nacional da Dinâmica da Água e do Carbono no Bioma Caatinga (ONDACBC), ao Grupo de Fixação Biológica de Nitrogênio (GFBN) pela oportunidade da iniciação científica e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (CNPq) pelo fomento da bolsa.

Por fim, agradeço a doutoranda do Proten Regina Maria pelos auxílios na parte laboratorial do projeto e a todos os amigos e amigas da graduação e do grupo de pesquisa que fizeram parte da minha jornada acadêmica durante meu curso.

Epígrafe

“O medo dá origem ao mal. O homem coletivo sente a necessidade de lutar. O orgulho, a arrogância, a glória, enche a imaginação de domínio.” (Chico Science, 1994).

RESUMO

O bioma Caatinga abrange uma das regiões semiáridas mais populosas do mundo, o que, conseqüentemente, faz com que esse bioma arque com conseqüências negativas advindas das ações antrópicas. Devido a várias décadas de uso impróprio e insustentável da Caatinga como suporte forrageiro, sobrepastejo e às condições edafoclimáticas, essa região encontra-se num estágio de degradação ecológica muito elevado. A alteração do ambiente afeta a matéria orgânica (MO), que exerce influência direta sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo. Assim, esse trabalho tem como objetivo avaliar as frações estáveis da matéria orgânica do solo de áreas sob diferentes usos do bioma caatinga no agreste de Pernambuco. Para tanto, foram realizadas coletas em duas estações experimentais instaladas no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), nos municípios de Caruaru e São Bento do Una, sob os tratamentos de Caatinga aberta, Caatinga fechada e pastagem com inclusão e exclusão de animais. As amostras de solo foram analisadas quanto aos teores de carbono orgânico total (COT) e substâncias húmicas: ácido húmico, fúlvico e humina. Os teores de COT variaram entre 18,8 g.kg⁻¹ e 5,9 g.kg⁻¹ em Caruaru e entre 15,4 g.kg⁻¹ e 8,2 g.kg⁻¹ em São Bento do Una, com maior aporte para as áreas de caatinga fechada e menor aporte em pastagem. No carbono das frações, a fração humina obteve maior teor de carbono em todos os usos do solo nos dois municípios, seguindo da fração ácido fúlvico e, com menor aporte, a fração do ácido húmico. O grau de COT foi maior nas áreas de caatinga fechada em função do maior aporte de serapilheira. A maior concentração do carbono na fração humina se deve ao fato dessa fração ser a de maior estabilidade e insolubilidade em relação às demais.

Palavras-chave: Semiárido; manejo sustentável; estoque de carbono.

ABSTRACT

The Caatinga biome covers one of the most populous semi-arid regions in the world, which consequently means that this biome suffers from anthropogenic actions. Due to several decades of improper and unsustainable use of the Caatinga as a forage support, overgrazing and climate conditions, this region is at a very high stage of ecological degradation. Changes in the environment affect organic matter (OM), which has a direct influence on the soil's physical, chemical and biological characteristics. The aim of this study was to evaluate the stable fractions of soil organic matter in areas under different uses in the caatinga biome in the Agreste region of Pernambuco. For this purpose, samples were collected from two experimental stations installed at the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA), in the municipalities of Caruaru and São Bento do Una, under the treatments of open Caatinga, closed Caatinga and pasture with the inclusion and exclusion of animals. The soil samples were analyzed for total organic carbon (TOC) and humic substances: humic acid, fulvic acid and humin. TOC contents varied between 18,8 g.kg and 5,9 g.kg in Caruaru and between 15,4 g.kg and 8,2 g.kg in São Bento do Una, with a higher contribution in the closed caatinga areas and a lower contribution in the pasture. In terms of carbon fractions, the humin fraction had the highest carbon content in all soil uses in both municipalities, followed by the fulvic acid fraction and, with a lower contribution, the humic acid fraction. The degree of TOC was higher in the closed Caatinga areas due to the greater contribution of leaf litter. The higher concentration of carbon in the humin fraction is due to the fact that this fraction is more stable and insoluble than the others.

Keywords: Semi-arid; sustainable management; carbon stock.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Distribuição das unidades de pesquisa de longo prazo da Caatinga em Caruaru e São Bento do Una.....	21
Figura 2: Delimitação das parcelas para fins de estudo.....	22
Figura 3: Diferentes tipos de coberturas vegetais nas parcelas.....	23
Figura 4: Preparo das amostras.....	23
Figura 5: Pesagem de TFSA e aplicação de 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH) + pirofosfato de sódio (Na ₄ P ₂ O ₇) 0,1 M.....	24
Figura 6: Centrifugação e transferência das amostras para erlemeyers de 125 ml..	25
Figura 7: Regulagem do pH para 2,0 (à esquerda) e dissolução do precipitado retido nos tubos (fração húmica) com 20 ml de NaOH 0,1 M (à direita).....	26
Figura 8: Titulação das amostras.....	27
Figura 9: Etapas da análise de carbono orgânico total (COT).....	28

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Teor de carbono orgânico total (COT) em parcelas sob diferentes coberturas vegetais, com inclusão e exclusão de animais no município de Caruaru, Agreste de Pernambuco.....32
- Tabela 2** - Teor de carbono orgânico total (COT) em parcelas sob diferentes coberturas vegetais, com inclusão e exclusão de animais no município de São Bento do Una, Agreste de Pernambuco.....33
- Tabela 3** - Teor de carbono nas frações de ácido fúlvico, ácido húmico e humina em parcelas sob diferentes coberturas vegetais, com inclusão e exclusão de animais no município de Caruaru, Agreste de Pernambuco.....35
- Tabela 4** - Teor de carbono nas frações de ácido fúlvico, ácido húmico e humina em parcelas sob diferentes coberturas vegetais, com inclusão e exclusão de animais no município de São Bento do Una, Agreste de Pernambuco.....37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 <i>Matéria orgânica e seus efeitos na qualidade do solo.....</i>	15
2.2 <i>Substâncias húmicas</i>	16
2.3 <i>Caatinga.....</i>	18
3 OBJETIVOS.....	20
3.1 <i>Objetivo Geral</i>	20
3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	20
4 METODOLOGIA	21
4.1 <i>Áreas de estudo e protocolo de implantação das parcelas.....</i>	21
4.2 <i>Amostragem do solo.....</i>	23
4.3 <i>Análises laboratoriais.....</i>	24
4.4 <i>Análise estatística.....</i>	31
5 RESULTADOS.....	32
5.1 <i>Carbono orgânico total (COT).....</i>	32
5.2 <i>Teor de carbono na fração ácido fúlvico, ácido húmico e humina.....</i>	35
6 CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS.....	42
APÊNDICE A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA	47
APÊNDICE B - VISITA NO LOCAL DE ESTUDO: CARUARU.....	51
APÊNDICE C - VISITA NO LOCAL DE ESTUDO: SÃO BENTO DO UNA.....	52

1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica (MO) é composta por resíduos vegetais e animais em diferentes estados de decomposição (Nanzer et al, 2019; Smith e Elliott, 1990), considerada heterogênea, ela responde de forma diferenciada ao manejo do solo e às mudanças no uso da terra, sendo dividida em fração lábil e recalcitrante. A fração recalcitrante, que é considerada de maior estabilidade, é representada pelas substâncias húmicas e está diretamente ligada aos processos químicos, físicos e biológicos (Moreira; Siqueira, 2006), sendo, portanto, considerada ótima indicadora das mudanças causadas pelo manejo do solo.

As frações recalcitrantes correspondem aos microrganismos mortos da MOS, compondo cerca de 96% do carbono orgânico total (COT) do solo, subdivido em matéria macrorrgânica e húmus. A matéria macrorrgânica totaliza cerca de 10% a 30% do carbono orgânico total, composta por resíduos de plantas em diferentes estágios de decomposição, sendo considerada uma fração mais leve. Já o húmus (substâncias húmicas) constitui um peso molecular relativamente mais alto, dividido em ácido fúlvico (AF) – fração solúvel em meio ácido e alcalino, ácido húmico (AH) – fração solúvel em meio alcalino e não solúvel em meio ácido e humina (HUM) – fração insolúvel em meio alcalino e ácido (Araújo et al., 2008). As substâncias húmicas tem a função de reserva de nutrientes para as plantas e são de grande importância a longo prazo para a saúde do solo (Stevenson, 1994).

O Bioma Caatinga constitui uma grande parcela das florestas tropicais sazonalmente secas no mundo. Inserida na região Nordeste do Brasil, esse bioma compreende mais de 860 mil km² (Lima et al, 2023; IBGE, 2019). Sendo uma das regiões semiáridas mais populosas do mundo (Coe e Souza, 2014), essa área é caracterizada historicamente por uma grande exploração de uso do solo, com práticas rudimentares de agricultura e pecuária que, ao longo do tempo, comprometeram tanto a biodiversidade quanto a sustentabilidade das regiões semiáridas (De Paula et al., 2023).

Acredita-se que devido às várias décadas de uso insustentável, este bioma se encontra num estado de degradação ecológica muito elevado (Santos et al., 2014), o que interfere diretamente na dinâmica da MOS e o ciclo do carbono orgânico nessas áreas.

De acordo com Carvalho et al. (2009), existe uma preocupação mundial atrelada às mudanças climáticas, decorrentes, principalmente, da emissão de dióxido de carbono na atmosfera terrestre. A MOS faz parte do ciclo de carbono da terra, o que a torna de grande interesse em decorrência do fenômeno do aquecimento global, pois existe uma perspectiva de utilizar o solo como reservatório de carbono (C) liberado da atmosfera (Araújo et al., 2008). O carbono (C) presente no solo é um elemento importante, que está relacionado diretamente com a emissão de gases do efeito estufa e mitigação do aquecimento global (Melo et al., 2023).

Ademais, a disponibilidade e a taxa de acumulação da MOS desempenham um papel crucial na manutenção da qualidade do solo e na sustentabilidade dos ecossistemas em áreas caracterizadas pela escassez de água, como o bioma Caatinga, onde a gestão adequada da MOS é fundamental para a conservação e a produtividade do solo (Smith e Elliott, 1990).

Nesse contexto, o conhecimento sobre a qualidade da matéria orgânica do solo é de grande importância para entender o atual estado de degradação daquele ambiente, além de consolidar estratégias de manejo sustentável dessas regiões e produzir uma boa base de dados para a compreensão das relações que ocorrem nessas áreas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Matéria orgânica e seus efeitos na qualidade do solo

Os restos de origem animal e vegetal depositados sobre o solo dão início ao processo de construção da MOS. Esses resíduos são decompostos inicialmente por animais intermediários e, posteriormente, pelos microrganismos. O carbono presente nesses resíduos tem uma parte liberada para a atmosfera como CO₂, e a outra parte para a matéria orgânica, como componente de suma importância para a qualidade do solo (Araújo, 2008).

A fauna que atua no solo é dividida entre microfauna, mesofauna e macrofauna. Ambos os grupos trabalham em conjunto preservando as propriedades do solo, por meio da ciclagem de nutrientes, conservação da biodiversidade, das trocas de gases entre atmosfera e o solo, além de outros diversos benefícios ao solo e as plantas (Veloso; Sergat, 2017). A biomassa microbiana corresponde à parte viva da MOS e representa uma maior diversidade biológica e fisiológica do solo, além de ter um maior poder de decomposição (Araújo, 2008). Sendo assim, a microfauna é a classe mais importante para muitas das funções do solo (Brito, 2023).

Todavia, as intervenções humanas podem impactar de forma negativa nas atividades dos organismos do solo. Práticas de manejo a longo prazo alteram a dinâmica dos organismos, resultando na degradação do seu microambiente, tendo como consequências a diminuição da taxa de biomassa, a diminuição de suprimento da matéria orgânica do solo e o aumento das taxas de decomposição. Sendo assim, faz-se necessário pensar em práticas (como culturas de cobertura ou sistemas agroflorestais) que aumentem a atividade da MOS (Araújo, 2008).

O carbono no solo, em sua forma orgânica, está relacionado aos compostos da MOS, em que as substâncias húmicas são os componentes mais abundantes, e também está presente nos organismos e seus metabólitos, restos vegetais e animais em vários estágios de decomposição (Bettioli et al., 2023). Os maiores estoques terrestres de carbono do mundo estão na MOS, que têm mais carbono do que a vegetação e a atmosfera juntas (Liang et al., 2019). O COT está presente em diferentes profundidades do solo devido ao ciclo do carbono ter parte de sua existência no mesmo (Melo et al., 2023). Sua concentração pode ser determinada através da quantidade de serrapilheira. Todavia, o uso do solo para fins agrícolas

rompe esse equilíbrio, reduzindo os teores de carbono orgânico, principalmente se houver retirada da cobertura vegetal, dentre outros fatores que podem acarretar na diminuição das propriedades físicas da matéria orgânica no solo (Araújo et al., 2008).

2.2 Substâncias húmicas

Reconhecidas durante muito tempo como o componente orgânico mais amplamente distribuído no planeta, as substâncias húmicas são formadas a partir da degradação dos restos mortais animais e vegetais, juntamente com a interação dos microrganismos (Santos e Paes, 2016). Essas substâncias são formadas a partir do processo denominado humificação. Dentre as várias possibilidades, encontra-se desde a clássica teoria que considera que são formadas a partir da lignina modificada até a teoria mais aceita na atualidade, a chamada de rota dos polifenóis (Primo; Menezes; Silva, 2011).

Considerando a solubilidade em meio aquoso, essas substâncias são compostas pelos ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM) (Filho; Silva, 2016). A humina (HUM) é a fração mais estável, insolúvel em meio alcalino e meio ácido, possui insensibilidade em meio aquoso, elevada hidrofobicidade e intensa interação com os componentes inorgânicos (Silva, 2021). Contudo, é importante ressaltar que o AF e o AH são as frações mais importantes, visto que são consideradas os componentes dominantes, além de serem as principais responsáveis pelos processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem na MO do solo (Cardoso, 2021). Segundo Gomes (2002), as frações podem ser classificadas como:

“Humina: Fração da matéria orgânica do solo que não é dissolvida na extração do solo com substâncias alcalinas diluídas; Ácido húmico: Fração do húmus do solo de cor escura, que pode ser extraída com solução diluída de álcali e após, precipitada por acidificação; Ácido fúlvico: Mistura de substâncias orgânicas que permanece em solução após acidificação de um extrato do solo, usando álcali diluído” (Gomes, 2002, p. 76-77).

Para a caracterização dessas frações, faz-se necessário as análises da sua composição química e do número de agrupamentos acídicos funcionais, grau de polimerização (Araújo, 2008). No meio ambiente, essas substâncias desempenham um importante papel, podendo reter calor (em detrimento da coloração escura no solo), além de atuar contra a erosão, evitando o escoamento do solo (Santos; Paes, 2016). Há evidências na literatura afirmando que o aumento do teor da MOS melhora a estrutura física do solo, estabilizando os agregados e, conseqüentemente, outras características como a aeração, porosidade e capacidades de infiltração (Cunha, 2015). De acordo com Kiehl, 1985:

“As influências na estrutura física ocorrem através da maior retenção de água, melhoria da aeração e, por consequência, maior resistência à erosão devido às suas partículas coloidais, que são capazes de formar uma emulsão em contato com a água” (Kiehl, 1985, p.492).

Já com relação à estrutura química, os benefícios ocorrem em função da atuação como agentes complexantes, o que desfavorece a manutenção de íons metálicos na solução do solo e, assim, promovem redução da toxidez destes elementos (Santos; Paes, 2016). A disponibilidade de nutrientes para as culturas e a capacidade de troca de cátions (CTC) também se destacam entre os atributos químicos do solo afetados pela MOS humificada. Dessa maneira, a MO é essencial para a nutrição das plantas, disponibilizando elementos como N, P e S para o solo (Cunha, 2015).

Através da caracterização química, as substâncias húmicas podem ser identificadas dos diferentes compostos húmicos (FAH, FAF e HU) empregados na avaliação das alterações qualitativas e no grau de humificação, que auxiliam na avaliação da qualidade do solo (Araújo, 2019).

No que diz respeito à influência das substâncias húmicas nas propriedades biológicas do solo, a presença dessas substâncias pode ser observada em mudanças atreladas ao metabolismo e crescimento das plantas, seja alterando o processo de enraizamento ou atuando como efeito estimulante ao desenvolvimento das partes aéreas das plantas (Sá, 2020).

Em um estudo realizado por Dobbss (2011), foi possível verificar a atividade biológica dos materiais húmicos por meio dos resultados obtidos por meio do

crescimento de plântulas (pequena planta resultante do desenvolvimento inicial do embrião) de milho associado às substâncias húmicas, sendo observado que nos tratamentos das plântulas com ácido húmico, constatou-se um aumento de até 395% na massa seca de raízes, e até 108% nas raízes laterais. Ou seja, ficou evidente o potencial bioativo dos ácidos húmicos, uma vez que, promoveu o alongamento e aumento das raízes laterais, melhorando a área radicular em até 378%.

2.3 Caatinga

O Bioma Caatinga ocupa cerca de 10% do território do país (Cavalcante et al., 2020; Pereira, Teixeira, De Medeiros, 2021), com uma densidade populacional de aproximadamente 28 milhões de habitantes, cerca de 15% da população brasileira (MMA, 2011). O adensamento demográfico nessa região ocasionou numa maior demanda de recursos naturais. Dentre as atividades mais consumidoras de recursos naturais, se encontra a agricultura de subsistência, agricultura comercial e agropecuária extensiva (Ribeiro, 2017).

Esse bioma tem um regime de chuvas torrenciais, variando entre 500 e 750 mm num período específico de 4 meses (De Jesus et al., 2021). As chuvas costumam ser bastante irregulares, podendo cair cerca de 60% da precipitação prevista para o ano todo em apenas um mês (Sampaio et al., 1995). Além da variação climática, essa área conta com temperaturas oscilando entre 23 a 27 °C. Esse bioma tem um aspecto muito importante ligado à disponibilidade hídrica, tendo em vista que a vegetação tem pouca umidade disponível durante a maior parte do tempo (Sampaio et al., 1995).

Além dos longos períodos de seca, as atividades humanas com o uso da terra tem sido o palco do desequilíbrio ambiental do Bioma Caatinga nas últimas décadas. Desmatamento, extrativismo, agricultura, pecuária, mineração e construção de barragens estão entre as principais atividades que causaram danos maiores danos à Caatinga (Embrapa, 2007). A degradação do ambiente altera os componentes do solo, principalmente a matéria orgânica do solo (MOS), cuja qualidade e quantidade influenciam diretamente nas características físicas, químicas e biológicas do solo (Moreira e Siqueira, 2006).

A caatinga possui o tipo de vegetação que cobre a maior parte da área com clima semiárido da região Nordeste do Brasil (Freire, 2017). Sua vegetação é bem

adaptada à variação de precipitações, incluindo secas periódicas (Dantas et al., 2020).

Esse bioma vem sofrendo com a derrubada de sua vegetação nativa para o uso da pastagem desde o período colonial. Poucos estudos tratam sobre o estado de conservação deste bioma, todavia, sabe-se que a proporção do estado de preservação é bem baixa (Salazar et al., 2021).

A vegetação nativa tem um excelente sistema de adaptação às condições climáticas de seca da Caatinga, são plantas classificadas como xeromórficas, com caules que geralmente possuem cor clara, com baixo crescimento e caducifólias. Características como essas permitem a sobrevivência e o desenvolvimento das plantas em ambientes extremos (Santos et al., 2014). Dentre a variedade de espécies, se destacam os cactos (xique-xique, mandacaru e facheiro), as bromélias (macambiras) e as leguminosas (catingueiras, juremas e angicos) (Embrapa, 2017). Essa cobertura vegetal nativa se torna de grande importância para o solo, pois ela reduz a degradação, tendo como principais funções a retenção de umidade e a proteção contra a erosão (Da Silva; Santos; Dos Santos, 2018).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar as frações estáveis da matéria orgânica do solo de áreas sob diferentes usos do bioma caatinga no agreste de Pernambuco.

3.2 Objetivos Específicos

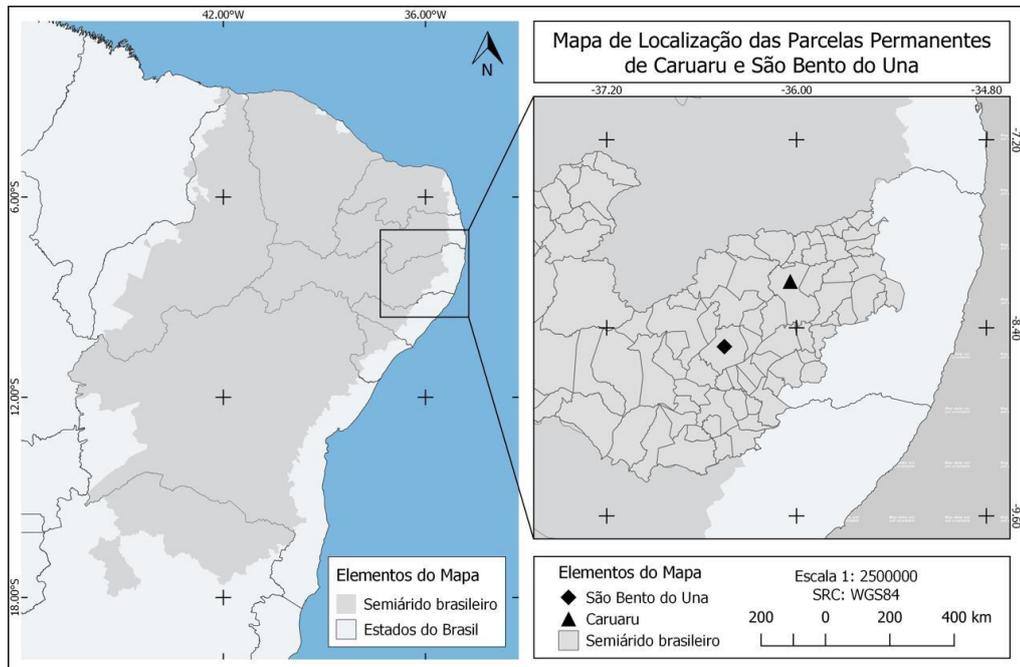
- Determinar as frações estáveis da MOS nas parcelas permanentes dos municípios de Caruaru e São Bento do Una;
- Avaliar o teor do carbono orgânico total (COT) e das frações estáveis da MOS entre os diferentes sistemas de uso do solo no semiárido.

4 METODOLOGIA

4.1 Áreas de estudo e protocolo de implantação das parcelas

As coletas dos solos foram realizadas em parcelas que compõem a primeira rede de pesquisas ecológicas para estudos em áreas de uso pecuário no bioma Caatinga, instaladas desde 2018. Essas parcelas fazem parte da Rede de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração no Nordeste (PERENE), uma sub-rede associada ao grupo Observatório Nacional da Dinâmica da Água e Carbono no Bioma Caatinga (ONDACBC), grupo este que faz parte do programa INCT, um dos maiores e mais relevantes programas de ciência e tecnologia no Brasil. Essas áreas foram desenhadas com o intuito de serem unidades de estudo de baixa manutenção e de acompanhamento rápido e prático. As parcelas deste estudo estão instaladas nas estações experimentais do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), nos municípios de Caruaru e São Bento do Una (figura 1).

Figura 1: Distribuição das unidades de pesquisa de longo prazo da Caatinga em Caruaru e São Bento do Una.

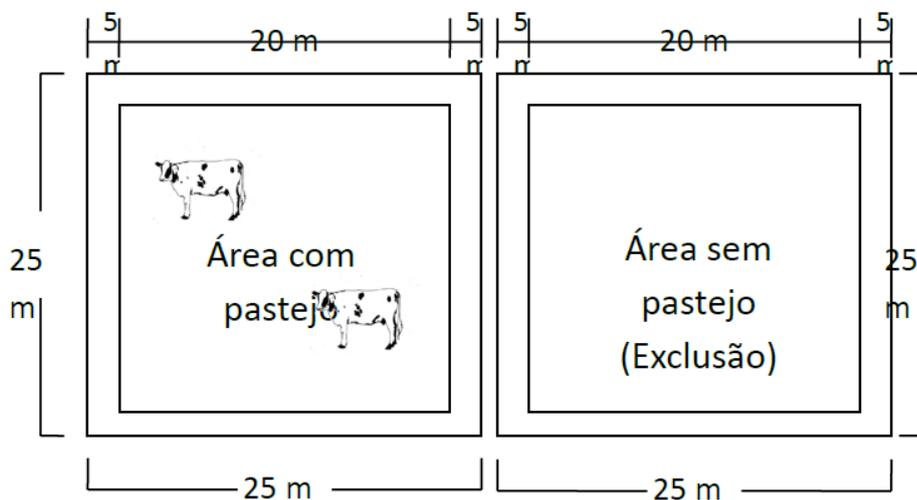


Fonte: Autora, 2024.

As áreas são compostas parcelas com e sem pastejo (com exclusão de animais, por meio de cercamento), delimitadas com cerca de arame, com área útil de 20 x 20 m, possuindo uma bordadura de 5 m de largura em todo o perímetro. Como essas parcelas não podem sofrer interferência, as amostragens de solo são realizadas na bordadura.

Ademais, as parcelas são estabelecidas em três tipos de cobertura vegetal, com uso da terra para fins pecuários: 1) Caatinga fechada, área com vegetação em avançado estado de crescimento e regeneração, com árvores com copas bem estabelecidas, que permitem apenas que cerca de 20% da luz solar atinja o solo; 2) Caatinga aberta, área com vegetação com estado inicial/intermediário de regeneração e sucessão ecológica, com baixa densidade de árvores e arbustos; 3) Herbácea, área com vegetação predominantemente de herbáceas e arbustos. É a área mais afetada por ações antrópicas (conforme as figuras 2 e 3).

Figura 2: Delimitação das parcelas para fins de estudo.



Fonte: Autora, 2023

Figura 3: Diferentes tipos de coberturas vegetais nas parcelas.



Fonte: Autora, 2023.

4.2 Amostragem do solo

Foram coletadas amostras simples por parcela, na camada superficial (0-0,20 m), em 6 pontos determinados de maneira aleatória na bordadura da parcela. Para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), as subamostras são secas ao ar, homogêneas, peneiradas em peneira de malha de 2 mm e armazenadas para a análise em laboratório (figura 4).

Figura 4: Preparo das amostras.



Fonte: Autora, 2023.

4.3 Análises Laboratoriais

O fracionamento químico das amostras foi realizado segundo o método sugerido pela International Humic Substances Society (SWIFT, 1996). A metodologia fundamenta-se na diferente solubilidade das frações das substâncias húmicas de ácido fúlvico (FAF) e ácido húmico (FAH) em função do pH, enquanto a humina (FH) é determinada a partir da diferença das frações fúlvicas e húmicas com o carbono orgânico total (COT). O primeiro passo consiste na pesagem de 2g de TFSA em tubos de centrífuga de 50 ml, nos quais foram pipetados 10 mL da solução extratora hidróxido de sódio (NaOH) + pirofosfato de sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) 0,1 M (solução de meio alcalino), seguido de agitação por 1 hora em agitador vertical a 12 rpm. Após essa etapa, as amostras ficaram em repouso por 16 horas (figura 5).

Figura 5: Pesagem de TFSA e aplicação de 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH) + pirofosfato de sódio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) 0,1 M.



Fonte: Autora, 2023.

Após o material ficar em repouso por 24 horas, ele foi centrifugado a 2000 rpm por aproximadamente 10 minutos e depois o sobrenadante transferido para erlemeyers de 125 mL (figura 6).

Figura 6: Centrifugação e transferência das amostras para erlenmeyers de 125 ml.

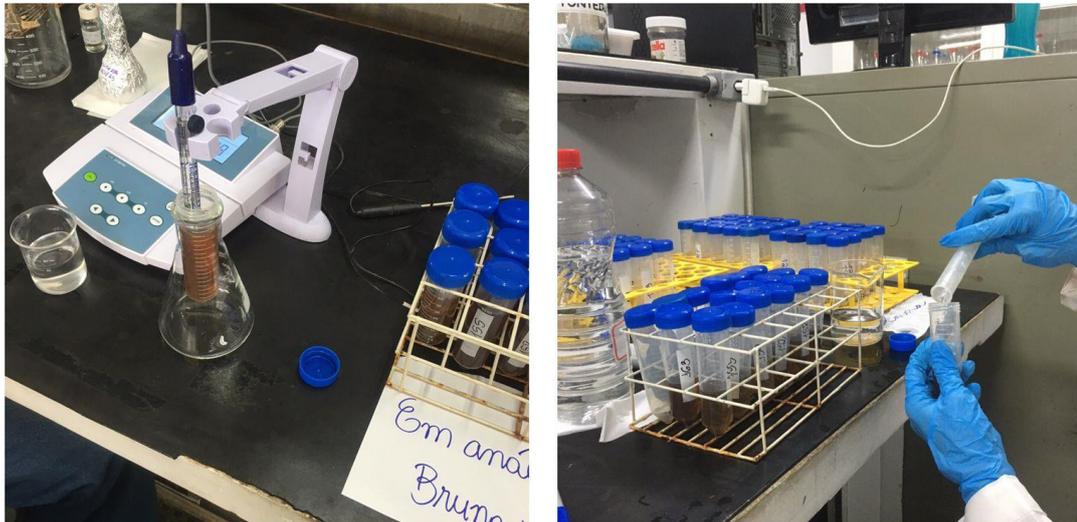


Fonte: Autora, 2023.

Após esse processo, foi adicionado ao precipitado mais 40 ml da solução extratora no mesmo tubo de centrífuga, misturado manualmente e levado ao agitador vertical por aproximadamente 30 minutos. Posteriormente, as amostras descansaram por 1 hora, foram novamente para a centrífuga por 10 minutos a 3000 rpm, o sobrenadante transferido para o mesmo erlenmeyer de 125 ml (figura 6) e o precipitado descartado.

O extrato alcalino presente no erlenmeyer de 125 ml corresponde às frações ácidos húmicos e fúlvicos misturados que tiveram o pH alterado para 2,0 com H_2SO_4 a 25% (Teixeira et al., 2017). Para isso, foi necessário pipetar 40 ml do sobrenadante (metade do que havia no erlenmeyer) para novos tubos de centrífuga. O pH desses extratos oscilavam entre 12,75 à 13,0 (alcalino) e tinham de ser alterados para aproximadamente 2,0 (ácido) para a retirada do precipitado das frações húmicas, visto que essas são insolúveis em meio ácido (Araújo et al., 2008). Após o repouso de 4 horas para a precipitação das frações húmicas, as amostras foram para a centrífuga a 3000 rpm por 10 minutos, o sobrenadante foi descartado e adicionada 20 ml da solução NaOH 0,1 M para dissolver o precipitado retido nos tubos (fração húmica), conforme a figura 7.

Figura 7: Regulagem do pH para 2,0 (à esquerda) e dissolução do precipitado retido nos tubos (fração húmica) com 20 ml de NaOH 0,1 M (à direita).



Fonte: Autora, 2023.

Na etapa seguinte foi pipetado 10 ml do sobrenadante dos tubos de centrifuga (ácido húmico) em tubos de digestão, mais 10 ml do sobrenadante reservado nos erlenmeyers (ácido húmico e ácido fúlvico misturados) em outros tubos de digestão, indentificados e levados para capela. Em seguida, foram pipetados 2ml de dicromato de potássio e 10ml de ácido sulfúrico puro em cada tubo de digestão, as amostras foram para o bloco à 170°C por 30 minutos. Por fim, depois do resfriamento das amostras, as mesmas foram para novos erlenmeyers diluídas com 50ml de água destilada para a titulação (figura 8).

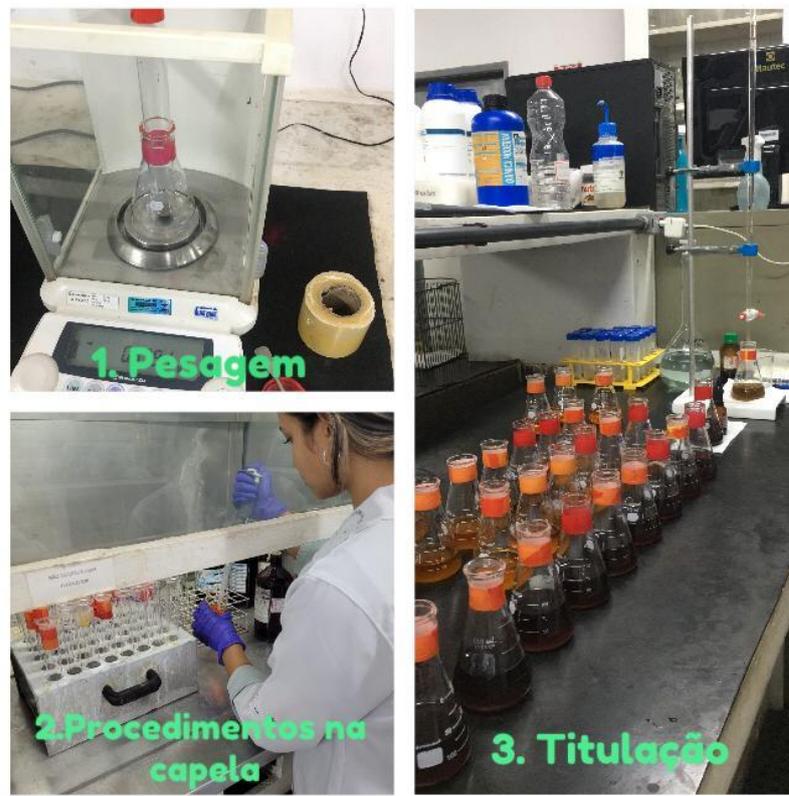
Figura 8: Titulação das amostras.



Fonte: Autora, 2023.

Por conseguinte, foi realizada a análise de Carbono Orgânico Total (COT). As análises foram feitas de acordo com a metodologia de Yeomans e Bremner (1988) adaptado por Mendonça & Matos (2005). Foram pesados entre 0,2g a 0,5g de TFSA diretamente nos tubos de digestão, levados à capela e adicionado 5ml de dicromato de potássio e 7,5ml de ácido sulfúrico puro. A temperatura foi ajustada para 170°C e as amostras submetidas à digestão por 30 minutos. Posteriormente, as amostras foram resfriadas e diluídas com 50ml de água destilada em erlenmeyers de 125ml para a titulação (figura 9).

Figura 9: Etapas da análise de carbono orgânico total (COT).



Fonte: Autora, 2023.

Após a finalização da etapa laboratorial, os resultados das titulações das frações húmicas e do carbono orgânico total foram para planilhas das quais foram submetidas a alguns cálculos. Para determinar os valores das frações húmicas, são necessários os cálculos levando em consideração a quantidade de sal de mohr gastos na titulação das amostras e a equação do teor de carbono orgânico das frações conforme as equações a seguir.

Equação 1: Cálculo das frações húmicas levando em consideração os volumes de Sal mohr gastos na titulação das amostras e dos brancos aquecidos e não aquecidos (A).

$$A = \frac{[(Vba - Vam) \cdot (Vbn - Vba)]}{Vbn} + (Vba - Vam), \quad \text{Onde :}$$

- **Vba** = volume gasto na titulação do branco controle **com** aquecimento ;
- **Vbn** = volume gasto na titulação do branco controle **sem** aquecimento ;
- **Vam** = volume gasto na titulação da amostra ;

Fonte: Autora, 2024.

Equação 2: Equação do teor de carbono orgânico das frações.

$$CO_{FAH,FAF} (\text{dag.Kg}^{-1}) = \frac{(A) \times (\text{Conc. Sulfato Ferroso}) \times (3) \times (100) \times VT(\text{ml})}{VA (\text{ml}) \times \text{Massa da Amostra} (\text{mg})}$$

Onde :

A = Correção dos valores de volume dos testes em branco;

Conc. Sulfato Ferroso - **0,03**

3 = resultado da relação entre o número de mols de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ que reage com Fe^{2+} (1/6), multiplicado pelo número de mols de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ que reage com C^0 (3/2), multiplicado pela massa atômica do C (12);

100 = fator de converção de unidade (mg.mg^{-1} para dag.Kg^{-1})

VT(ml) = Volume total do extrato de cada amostra: **80 ml** – para a fração FAF + FAH (duas lavagens de 40 ml) e **20 ml** – para a fração FAH;

VA (ml) = Volume da alíquota de extrato de cada fração (10 ml)

Massa da Amostra (mg) = massa de solo utilizada na extração das substâncias húmicas, expressa em miligrama.

Fonte: Autora, 2024.

Para determinar os valores do COT, deve ser levado em consideração os cálculos de volume de sal mohr gastos na titulação das amostras e dos brancos aquecidos e não aquecidos e a equação do teor de COT de acordo com as equações a seguir.

Equação 3: Cálculo do carbono orgânico total levando em consideração volume de sal mohr gastos na titulação das amostras e dos brancos aquecidos e não aquecidos (A).

$$A = \frac{[(Vba - Vam) - (Vbn - Vba)]}{Vbn} + (Vba - Vam)$$

Onde :

Vba = volume gasto na titulação do branco controle **com** aquecimento ;

Vbn = volume gasto na titulação do branco controle **sem** aquecimento ;

Vam = volume gasto na titulação da amostra ;

Fonte: Autora, 2024.

Equação 4: Equação do teor de carbono orgânico total (COT).

$$COT (dag.Kg^{-1}) = \frac{(A) \times (Conc. Sulfato Ferroso) \times (3) \times (100)}{Massa da Amostra (mg)}$$

Onde :

3 = resultado da relação entre o número de mols de $Cr_2O_7^{2-}$ que reage com Fe^{2+} (1/6), multiplicado pelo número de mols de $Cr_2O_7^{2-}$ que reage com C^0 (3/2), multiplicado pela massa atômica do C (12) ;

100 = fator de converção de unidade ($mg.mg^{-1}$ para $dag.Kg^{-1}$)

Fonte: Autora, 2024.

4.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos a ANOVA e teste de Tukey a 5% de significância.

5 RESULTADOS

5.1 Carbono orgânico total (COT)

Houve diferença significativa entre os sistemas de uso para a variável COT no município de Caruaru (Tabela 1).

Tabela 1 - Teor de carbono orgânico total (COT) em parcelas sob diferentes coberturas vegetais, com inclusão e exclusão de animais no município de Caruaru, Agreste de Pernambuco.

Uso do solo	COT (g/kg)
CF (exclusão)	15,0 ab
PA (exclusão)	6,20 c
CF (inclusão)	18,8 a
CA (inclusão)	10,7 bc
PA (inclusão)	5,90 c
CV%	30.62

Caatinga aberta (CA), Caatinga fechada (CF) Pastagem (PA). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Em Caruaru, na parcela de caatinga fechada com inclusão de animais (CF inclusão) foi onde ocorreu o maior acúmulo de carbono orgânico total, com 18,8 g.kg⁻¹, seguida da parcela de caatinga fechada com exclusão de animais (CF exclusão) com 15,0 g.kg⁻¹, não havendo diferença significativa entre elas. Esses teores podem ser justificados pela alta deposição de serapilheira no solo e conseguinte maiores níveis de COT, se compararmos com as parcelas de caatinga aberta e pastagem, que possuem uma menor variedade de espécies. Ademais,

nota-se que não houve diferença estatística entre as parcelas com inclusão e exclusão de animais.

Segundo Bettiol (2023), a concentração de carbono orgânico total varia em função da quantidade de restos de animais e material vegetal em estado de decomposição. Sendo assim, é esperado que as áreas de caatinga fechada incorporem mais carbono que as demais áreas, pois identificam-se vegetações em distintos estágios de sucessão, apresentando uma ampla variedade de espécies de médio e grande porte. De acordo com Araújo et al. (2008), a ausência ou a retirada de cobertura vegetal é um dos principais fatores que rompem o equilíbrio da dinâmica do carbono orgânico total no solo.

Segundo Salazar (2021), o bioma caatinga vem sofrendo com a derrubada da sua vegetação nativa há várias décadas, e, apesar de haver poucos estudos sobre o atual estado de conservação desse bioma, sabe-se que a proporção do estado de preservação é bem baixa. Deste modo, é importante a preservação e restauração de áreas com espécies nativas que adicionem altos teores de matéria orgânica ao solo e favoreçam maior permanência de carbono no solo.

Foi observada diferença significativa para COT entre os diferentes sistemas de uso (Tabela 2).

Tabela 2 - Teor de carbono orgânico total (COT) em parcelas sob diferentes coberturas vegetais, com inclusão e exclusão de animais no município de São Bento do Una, Agreste de Pernambuco.

Uso do solo	COT (g/kg)
CF (exclusão)	15,4 a
CA (exclusão)	11,8 ab
PA (exclusão)	8,20 b
CF (inclusão)	14,7 a

CA (inclusão)	9,80 b
PA (inclusão)	9,70 b
CV%	21,12

Caatinga aberta (CA), Caatinga fechada (CF) Pastagem (PA). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Assim como em Caruaru, em São Bento do Una os maiores teores de COT foram encontrados nas áreas de caatinga fechada com exclusão e inclusão de animais (CF exclusão; CF inclusão), não ocorrendo diferença significativa entre elas, com teores de 15,4 e 14,7 g.kg⁻¹, respectivamente. Logo em seguida, a caatinga aberta com exclusão de animais (CA exclusão) com 11,8 g.kg⁻¹, pastagem com animais (PA inclusão), caatinga aberta com animais (CA inclusão) e pastagem sem animais (PA exclusão) com 8,20, 9,80 e 9,70 g.kg⁻¹, respectivamente. Mais uma vez observa-se a importância de uma vegetação diversificada, que proporciona alto aporte de material vegetativo ao solo e, conseqüentemente, maior acúmulo de carbono ao solo. Nota-se também que não houve diferença expressiva entre os sistemas de uso com e sem animais.

De acordo com Araújo (2008) e Veloso e Sergat (2017), o carbono orgânico está diretamente associado à quantidade de MO no solo e esse aumento do COT nas parcelas da CF seja com inclusão ou exclusão de animais é resultado do maior aporte de matéria orgânica advinda da vegetação densa e diversificada destas áreas. Da Silva et al. (2018) ressalta a importância da diversidade da cobertura vegetal nativa para a manutenção da qualidade do solo. O teor de COT está diretamente associado aos restos dessas coberturas vegetais e ao acúmulo de material orgânico vivo em diferentes estágios de decomposição. Esse cenário é diferente se compararmos com as áreas de caatinga aberta e pastagem, onde observou-se menores teores de COT, que incorporam menor aporte de resíduos, visto que são compostas por estrato herbáceo e arbustivo, respectivamente.

Baseado em De Paula et al. (2023), a região semiárida é historicamente marcada pelo manejo insustentável do solo e degradação do bioma, o que acarretou numa grande perda da biodiversidade e da sustentabilidade dessas regiões. É importante frisar este fato, pois, apesar dos dados se comportarem com coerência em função dos tipos de cobertura vegetal, os resultados como um todo apresentaram baixa concentração carbono orgânico no solo

Olandini (2021) avaliou o teor de carbono orgânico total (COT) nos sistemas de manejo de caatinga sob pastejo, monocultivo de palma forrageira e sistema silviagrícola no município de Boqueirão (PB). Com 21,30 g.kg⁻¹, a área de sistema silviagrícola obteve maior aporte de COT, seguida do sistema monocultivo de palma forrageira, com 13,93 g.kg⁻¹ de teor e área de pastagem com 4,86 g.kg⁻¹. A autora relata que os maiores resultados do sistema silviagrícola e sistema de monocultivo em relação ao sistema de pastejo se devem ao fato de que as duas primeiras áreas integram cultivo de palma forrageira e outras espécies arbóreas que propiciam maior aporte de serrapilheira, quando comparado com um sistema convencional composto por uma menor diversidade vegetal. Tais resultados colaboram com os teores encontrados neste trabalho.

5.2 Teor de carbono na fração ácido fúlvico, ácido húmico e humina

As áreas avaliadas apresentaram diferenças estatísticas consideráveis entre as variáveis de substâncias húmicas (Tabela 3 e Tabela 4).

Tabela 3 - Teor de carbono nas frações de ácido fúlvico, ácido húmico e humina em parcelas sob diferentes coberturas vegetais, com inclusão e exclusão de animais no município de Caruaru, Agreste de Pernambuco.

Uso do solo	COFAF (g/kg)	COFAH (g/kg)	COFHUMINA (g/kg)
CF (exclusão)	3,7 ab	0,7 a	10,5 ab

PA (exclusão)	1,6 b	0,3 a	4,3 c
CF (inclusão)	4,1 a	1,0 a	13,6 a
CA (inclusão)	3,0 ab	1,0 a	6,7 bc
PA (inclusão)	1,7 b	0,9 a	3,2 c
CV%	45,99	52,55	29,39

Caatinga aberta (CA), Caatinga fechada (CF) Pastagem (PA). Carbono orgânico da fração ácido fúlvico (COFAF), Carbono orgânico da fração ácido húmico (COFAH) e Carbono orgânico da fração humina (COFHUMINA). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

A humina (COFHUMINA) representou a maior parte do carbono em todas as formas de uso do solo, o que já era esperado. Segundo Silva (2021) a predominância da fração humina, em relação às demais frações, está interligada às suas características de alta massa molecular e, também, devido à interação com a fração mineral do solo, conferindo resistência à degradação microbiana. A caatinga fechada com inclusão de animais (CF inclusão) com 13,6 g.kg⁻¹, apresentou a maior concentração de carbono, seguindo da caatinga fechada sem animais (CF exclusão) com 10,5 g.kg⁻¹, não ocorrendo diferença significativa entre as mesmas.

Na fração ácido fúlvico, a área de caatinga fechada com animais (CF inclusão) com 4,1 g.kg⁻¹, obteve maior concentração de carbono em relação às demais. Os menores teores foram encontrados nas áreas de pastagem com animais (PA inclusão) com 1,7 g.kg⁻¹ e na área sem animais (PA exclusão) com 1,6 g.kg⁻¹.

Baseado em Silva (2021) e Stevenson (1994), a fração do ácido fúlvico (COFAF) é a fração menos polimerizada, ou seja, são frações de menor massa molecular, o que conseqüentemente a torna mais solúvel e com maior mobilidade no solo. Isso torna a fração mais sensível a depender do tipo de manejo do solo, visto que ela pode ser deslocada para camadas mais profundas do solo com facilidade

Não houve diferença significativa entre os sistemas de uso para a fração ácido húmico. Os teores encontrados foram $1,0 \text{ g.kg}^{-1}$ na caatinga fechada com animais (CF inclusão) e $0,7 \text{ g.kg}^{-1}$ na caatinga fechada sem animais (CF exclusão), já na caatinga aberta com animais (CA inclusão) $1,0 \text{ g.kg}^{-1}$ e nas áreas de pastagem com animais (PA inclusão) e sem animais (PA exclusão) $0,9$ e $0,3 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente.

As frações de ácido húmico (COFAH), assim como COFAF, são mais sensíveis a depender do manejo do solo adotado em função de sua solubilidade (Silva, 2019). Esse fator ganha ainda mais relevância pois a fração AF possui menor estabilidade e maior solubilidade que a fração humina, por exemplo (Gomes, 2002).

Um trabalho realizado por Santana (2019) avaliou a concentração de carbono do solo nas frações húmicas na região semiárida do Rio Grande do Norte. Bem como no presente trabalho, a autora declarou que os maiores valores atrelados à humina podem ser correlacionados ao tamanho das moléculas e ao maior grau de estabilidade comparado aos ácidos fúlvicos e húmicos, que podem ser translocadas para camadas mais profundas, reafirmando assim, os resultados encontrados.

Além do mais, houve índices um pouco maiores na Caatinga fechada e na Caatinga aberta com inclusão de animais. Segundo Veloso e Sergat, 2017, a fauna trabalha em conjunto trazendo diversos benefícios ao solo, preservando as propriedades do solo, por meio da ciclagem de nutrientes e conservação da biodiversidade.

Tabela 4 - Teor de carbono nas frações de ácido fúlvico, ácido húmico e humina em parcelas sob diferentes coberturas vegetais, com inclusão e exclusão de animais no município de São Bento do Una, Agreste de Pernambuco.

Uso do solo	COFAF (g/kg)	COFAH (g/kg)	COFHUMINA (g/kg)
CF (exclusão)	3,9 a	0,9 a	10,5 ab

CA (exclusão)	3,5 ab	0,8 a	7,4 bc
PA (exclusão)	1,4 c	0,5 a	6,2 c
CF (inclusão)	3,1 ab	0,8 a	10,7 a
CA (inclusão)	2,2 bc	0,5 a	7,0 c
PA (inclusão)	2,2 bc	0,4 a	7,0 c
CV%	33,74	55,57	22,30

Caatinga aberta (CA), Caatinga fechada (CF) Pastagem (PA). Carbono orgânico da fração ácido fúlvico (COFAF), Carbono orgânico da fração ácido húmico (COFAH) e Carbono orgânico da fração humina (COFHUMINA). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

A fração humina (COHUMINA) obteve as maiores concentrações de carbono em todos os usos do solo. A parcela de caatinga fechada com inclusão de animais (CF inclusão) foi a que obteve maior aporte de carbono com 10,7 g.kg⁻¹, seguida da caatinga fechada sem animais (CF exclusão) com 10,5 g.kg⁻¹, sem diferença estatística entre as duas áreas. Já a área de caatinga aberta sem animais (CA exclusão) deteve 7,4 g.kg⁻¹ do teor de carbono, sem diferença de CF exclusão. As parcelas de pastagem com animais (PA inclusão) e sem animais (PA exclusão) obtiveram os menores índices, com 7,0 e 6,2 g.kg⁻¹, respectivamente, sem diferença estatística de CA exclusão. Não foi observada diferença estatística entre as parcelas de inclusão e exclusão de animais.

Dentre todas as frações húmicas, a humina é a fração de maior estabilidade, insolúvel em meio alcalino e meio ácido, possui insensibilidade em meio aquoso (Silva, 2021). Ademais, em termos de sequestro de carbono, a fração humina é considerada a fração de maior estabilidade e mais significativa como reserva de carbono orgânico total (Ferreira et al., 2019). Em detrimento de tais características, é compreensível que a humina seja a fração mais concentrada nas camadas

superficiais do solo em comparação a COFAF e COFAH em todos os sistemas de uso estudados.

Na fração ácido fúlvico (COFAF), a parcela de caatinga fechada sem animais (CF exclusão) deteve o maior teor de carbono, com $3,9 \text{ g.kg}^{-1}$. Em seguida, destacam-se as parcelas de caatinga aberta sem animais (CA exclusão) e caatinga fechada com animais (CF inclusão), com $3,5$ e $3,1 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente, sem diferença estatística de CF exclusão. Por fim, as parcelas de pastagem com animais (PA inclusão) e sem animais (PA exclusão) obtiveram o menor aporte de carbono, com $2,2$ e $1,4 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente.

As frações de ácido fúlvico (COFAF), por apresentarem menor estabilidade, podem ser translocadas para camadas mais profundas, serem polimerizadas ou mineralizadas, e diminuir, assim, seu teor residual no solo (Fontana, 2009; Silva, 2021). Tendo em vista que a análise foi realizada em amostras da camada superficial (0-20 cm), existe a possibilidade desta fração estar concentrada em maiores profundidades do solo.

A fração do ácido húmico (COFAH) deteve o menor aporte de carbono dentre todas as frações. Não houve diferença estatística entre os diferentes usos do solo. A parcela de caatinga fechada com animais (CF inclusão) e sem animais (CF exclusão) alcançaram $0,8$ e $0,9 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente. A parcela de caatinga aberta com animais (CA inclusão) e sem animais (CA exclusão) obtiveram $0,5$ e $0,8 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente. Ademais, as áreas de pastagem com animais (PA inclusão) e sem animais (PA exclusão), com as menores médias, chegaram a $0,4$ e $0,5 \text{ g.kg}^{-1}$.

A fração do ácido húmico (COFAH) representa a fração intermediária no processo de estabilização dos compostos húmicos, portanto, esses ácidos são um marcador natural do processo de humificação e refletem o uso e o manejo do solo baseado nos seus índices (Santos, 2021). Portanto, a menor proporção das frações húmicas em relação às demais pode indicar redução de aporte de carbono jovem, com reflexos negativos em relação ao húmus e a atividade microbiana (Silva, 2021).

Estudos desenvolvidos por Santos (2022), ao contrário do presente trabalho, relataram um maior aporte de carbono na fração ácido húmico (COFAH) em relação à fração ácido fúlvico (COFAF) em diferentes usos do solo. Segundo a autora, a

manutenção de maiores teores de carbono na fração ácido húmico sobre a fração ácido fúlvico é um indicador de solos mais preservados, com um manejo mais conservacionista.

6 CONCLUSÕES

As parcelas caatinga fechada (CF) apresentaram maior concentração de carbono orgânico total (COT). Já as parcelas de caatinga aberta (CA) e pastagem (PA) obtiveram, respectivamente, acúmulos de COT um pouco mais baixos comparados a CF.

Já com relação às substâncias húmicas, a humina (COHUMINA) foi a fração que apresentou maior aporte de carbono em todos os tipos de usos solo. Já a fração do ácido fúlvico (COFAF) e ácido do húmico (COFAH), de modo geral, alcançaram um menor aporte de carbono em todas as parcelas.

Esse trabalho destaca a importância da diversidade vegetal e de práticas de manejo sustentável, sendo crucial para a compreensão das relações que ocorrem nessas áreas, além de enfatizar a necessidade de preservar e reflorestar áreas com vegetação nativa do bioma Caatinga.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira et al. Matéria orgânica e organismos do solo. Editora EDUFPI, 2008, p.12-30.
- ARAÚJO, Katharine Vinholte. Qualidade da matéria orgânica e atividade biológica das substâncias húmicas de solos de áreas do bioma cerrado com diferentes níveis de preservação. Dissertação de mestrado. Universidade Federal dos Vales Jequetinhonha Mucuri, p.17-21, 2019.
- BETTIOL, Wagner et al. Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. 1° ed. Editora EMBRAPA, 2023. 36p.
- BRITO, Isabel. A importância dos microrganismos do solo. In: BRITO, Isabel. Blog: Ciência e Sociedade. MED - Instituto mediterrâneo para a agricultura, 2023. Disponível em: <https://www.med.uevora.pt/>. Acesso em: 16 de abr. de 2024.
- CARDOSO, Teidiane Santos. Estudo e caracterização dos ácidos húmicos e fúlvicos em perfil sedimentar e sua interação com metais pesados. Dissertação. UFSB, 2021.
- CARVALHO, JLN et al. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. Soil and Tillage Research, v. 103, n. 2, p. 342-349, 5// 2009. ISSN 0167-1987.
- CAVALCANTE, W. F. et al. Enzymatic activity of caatinga biome with and without anthropic action. Revista Caatinga, v. 33, p. 142-150, 2020.
- COE, Heloisa Helena Gomes; SOUSA, L. O. F. The Brazilian " Caatinga": ecology and vegetal biodiversity of a semiarid region. Dry forests: Ecology, species diversity and sustainable management, v. 1, p. 81-103, 2014.
- CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE). Capítulo 9. [S. l.]: In: NUNES, RR; REZENDE, MOO (Org.). Recurso solo: propriedades e usos. São ..., p. 282-284, 2015.
- DA SILVA, Richarde Marques; SANTOS, Celso Augusto Guimarães; DOS SANTOS, José Yure Gomes. Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil. International Journal of Sediment Research, v. 33, n. 2, p. 117-125, 2018.
- DANTAS, Barbara F. et al. Rainfall, not soil temperature, will limit the seed germination of dry forest species with climate change. Oecologia, v. 192, n. 2, p. 529-541, 2020.

DE JESUS, Janisson Batista et al. Temporal and phenological profiles of open and dense Caatinga using remote sensing: response to precipitation and its irregularities. *Journal of Forestry Research*, v. 32, n. 3, p. 1067-1076, 2021.

DE PAULA, Alexandre Souza et al. The role of seed rain and soil seed bank in the regeneration of a Caatinga dry forest following slash-and-burn agriculture. *Journal of Arid Environments*, v. 211, p. 104948, 2023.

DOBBSS, L. B. Características químicas e promoção do crescimento radicular de substâncias húmicas. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes/RJ, 2011.

Embrapa. Preservação e uso da caatinga. 1º ed. Embrapa SemiÁrido. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

FERREIRA; ALVES, S. J.; DE OLIVEIRA, P. S. R.; DA COSTA, A. C. T.; NOLLA, A. Carbono orgânico e nitrogênio do solo sob alturas de pastejo da *Urochloa ruziziensis* em sistema agropastoril. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 18, n. 3, p. 352–360, 2019.

FILHO, A. V.; SILVA, M. I. V. *Importância das substâncias húmicas para a agricultura*. Disponível em: <http://audienciapublica.ana.gov.br>. Acesso em 16. abr. 2024.

FONTANA, A. Fracionamento da matéria orgânica e caracterização dos ácidos húmicos e sua utilização no sistema brasileiro de classificação de solos. 2009. 82 f. Tese de doutorado – UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, Seropédica, RJ, 2009.

FREIRE, Neison Cabral Ferreira; PACHECO, Admilson da Penha. Uma abordagem geoespacial e espectro-temporal da degradação ambiental no Bioma Caatinga na região de Xingó, Brasil.

GOMES, Tâmara Cláudia de Araújo. Matéria orgânica. In: SEMINÁRIO CODA DE NUTRIÇÃO VEGETAL, 1., 2002, Petrolina. Anais... Petrolina: CODA, 2002.

IBGE, Coordenação de Recursos Naturais; IBGE. Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1: 250 000. Série Relatórios Metodológicos. v. 45, 2019.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

LIMA, Rafael Dantas et al. Disparate biomes within the Caatinga region are not part of the same evolutionary community: A reply to Araújo et al (, 2022). *Journal of Arid Environments*, v. 209, p. 104901, 2023.

MELO, Bianca Feliciano et al. Estoque de carbono em solos do Parque Estadual Pico do Jabre (PB). *Revista Valore*, 2023. Edição especial, v.8, p. 213.

MENDONÇA, Eduardo de Sá; MATOS, Eduardo da Silva. *Matéria orgânica do solo: métodos de análises*. Editora UFV, 2005.

MMA. *Manejo Sustentável dos Recursos Florestais da Caatinga*. Natal, RN: Ministério do Meio Ambiente, 2008.

MOREIRA, F.M.S. SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2ª ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

NANZER, Marina Chiquito et al. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019.

OLANDINI, É.; NASCIMENTO, M. M. B.; MACEDO, R. S.; SOUZA, R. F. S.; SOUZA, S. L.; SOUSA, C. S.; LAMBAIS, G. R.; BAKKER, A. P. Atividade microbiana e carbono orgânico do solo em agroecossistemas sob diferentes manejos no semiárido paraibano. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.8, p.412-427, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0035>.

PEREIRA, F. O.; TEIXEIRA, A. P. C.; DE MEDEIROS, F. D. Do essential oils from plants occurring in the Brazilian Caatinga biome present antifungal potential against dermatophytosis? A systematic review. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 105, n. 18, p. 6559-6578, 2021.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. *Scientia Plena*, v. 7, n. 5, p. 7, 2011. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/342>. Acesso em: 22 de maio. 2024.

RENNER, Larissa Meine; VELOSO, Jessica Jaïne; SEGAT, Julia Corá. *A importância da fauna no solo*. UDESC, ed. 205°, 2017.

RIBEIRO, Jonathan Ramos. *Densidade populacional e índices acústicos: efeitos do manejo florestal em duas diferentes escalas em uma comunidade de aves na caatinga*. Dissertação. Editora: Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

SÁ, Mônica Carvalho. Qualidade e bioatividade das substâncias húmicas de solos cultivados com plantas de cobertura. Dissertação de mestrado. Universidade Federal dos Vales Jequetinhonha Mucuri, p.19-23, 2020.

SALAZAR, Andrés A. et al. Restoration and conservation of priority areas of Caatinga's semi-arid forest remnants can support connectivity within an agricultural landscape. *Land*, v. 10, n. 6, p. 550, 2021.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. Overview of the Brazilian caatinga. *Seasonally dry tropical forests*, v. 1, p. 35-63, 1995.

SANTANA, Josineide Cláudia Araújo. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo da região Semiárida Potiguar. Monografia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), 2019, 32-33p.

SANTOS, G. G. dos. Emissão de gases de efeito estufa da mudança de uso do solo e potencial de sequestro de C-CO₂ pela recuperação de pastagens degradadas para o estado do Pará, 2008 a 2019. 2021. 47 f. Trabalho de Conclusão 62 de Curso (Agronomia). Universidade Federal de São Carlos, ARARAS, 2021.

SANTOS, Joceline Ailine Cruz Estevão. Estudo da Quantidade e Qualidade da Matéria Orgânica sob Diferentes Usos do Solo. Dissertação de mestrado. Instituto Politécnico Escola Superior Agrária de Bragança (IPB), 2022, 44-47p.

SANTOS, Mauro G. et al. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, v. 26, n. 1, p. 83-99, 2014.

SANTOS, Thainá Louzada; PAES, Lilian Weitzel Coelho. Substâncias húmicas: um breve relato sobre sua importância e suas interações. *Revista: Educação Pública*, ISSN: 1984-6290, 2016.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *Afr. J. Agric. Res*, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522.

SILVA, Hamanda Candido. Carbono orgânico total e substâncias húmicas nos solos sob diferentes usos em perímetro irrigado em Barreiras - BA. Trabalho de conclusão de curso. Universidade do Estado da Bahia (UNEB), 2021, p.25-46.

SILVA. Uso de geotecnologias para estimativas das emissões e remoções de gases de efeito estufa no Bioma Caatinga. 2019. 75 f. Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Recife, 2019. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/handle/123456789/34047>.

SMITH, J. L.; ELLIOTT, L. F. Tillage and residue management effects on soil organic matter dynamics in semiarid regions. In: *Advances in soil science*. Springer, New York, NY, 1990. p. 69-88.

STEVENSON, F. J. *Humus Chemistry: genesis, composition and reactions*. 2. ed. New York: John Wiley, 1994.

SWIFT, R. S. Method for extraction of IHSS soil fulvic and humic acids. In: SPARK, K. M.; WELLS, J. D.; JOHNSON, B. B. *Methods of soil analysis*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 1018-1020.

WANG, Jun-Jian et al. Long-term nitrogen addition suppresses microbial degradation, enhances soil carbon storage, and alters the molecular composition of soil organic matter. *Biogeochemistry*, v. 142, n. 2, p. 299-313, 2019.

YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Department of Agronomy, Iowa State University. 1988.

APÊNDICE A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA

SEQUÊNCIA DIDÁTICA: PLANO DE AULA 1
SÉRIE: 6° ano/ Ensino Fundamental
DURAÇÃO DA AULA: 08:00 às 09:20
TEMA
<ul style="list-style-type: none"> • Os solos: a importância de sua conservação
HABILIDADES BNCC
(EF06GE10) Explicar as diferentes formas de uso do solo (rotação de terras, terraceamento, aterros etc.) e de apropriação dos recursos hídricos (sistema de irrigação, tratamento e redes de distribuição), bem como suas vantagens e desvantagens em diferentes épocas e lugares.
OBJETIVO GERAL
<ul style="list-style-type: none"> • Introduzir aos estudantes a importância do solo para a manutenção dos ecossistemas.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar aos alunos os fatores de formação dos solos; • Falar da importância da matéria orgânica no solo (MOS).
METODOLOGIA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Aula expositiva dialogada: Em primeiro momento, os alunos terão uma aula expositiva dialogada no quadro sobre o processo de formação do solo, a influência da matéria orgânica nos atributos do solo e sobre formas de manejo sustentável (aprox. 40 Min); 2. Reprodução de slides: Num segundo momento, serão mostrados diferentes tipos de solo, além de características visuais que podem indicar

solos com alta ou baixa quantidade de matéria orgânica baseados na sua coloração e textura (aprox. 10 min);

- 3. Atividade prática:** Para fixação dos conteúdos, será preparada uma atividade com uma caixa com fotos de diferentes tipos de solos e folhas com perguntas de fácil compreensão (ex: quais as características de um solo fértil?). A turma será separada em equipes, em cada rodada as equipes vão tirar um item da caixa. Se for uma imagem, a equipe deve responder em conjunto que tipo de solo é o da imagem e se pode ter baixa ou fertilidade baseado na sua cor e textura. Se for uma pergunta, a equipe deve responder em consenso (aprox. 30 min).

CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS

- A importância do solo;
- Fatores de formação do solo;
- Matéria orgânica do solo.

RECURSOS DIDÁTICOS

- Quadro, piloto, slides, caixa de papelão, fotos impressas e perguntas de fácil nível de compreensão.

AValiação DO CONTEÚDO

Engajamento dos estudantes na atividade prática.

BIBLIOGRAFIA

- BARROS, Elizabete Maria da Silva. Metodologias ativas no ensino sobre solos: relato de práticas aplicadas na Escola Devaldo Borges, Gravatá - PE. VIII Congresso Nacional da Educação, 2023.
- Base Nacional Comum Curricular - BNCC. Geografia no Ensino Fundamental - Anos Finais: unidades temáticas, objetos de conhecimento e habilidades. 2017, 28 p.

<ul style="list-style-type: none"> SAMPAIO, Fernando dos Santos. Geografia. Organizadora: SM Educação. São Paulo, 2º edição, 2018.
SEQUÊNCIA DIDÁTICA: PLANO DE AULA 2
SÉRIE: 6º ano/ Ensino Fundamental
DURAÇÃO DA AULA: 08:00 às 09:20
TEMA
Os solos: a importância de sua conservação
HABILIDADES BNCC
(EF06GE10) Explicar as diferentes formas de uso do solo (rotação de terras, terraceamento, aterros etc.) e de apropriação dos recursos hídricos (sistema de irrigação, tratamento e redes de distribuição), bem como suas vantagens e desvantagens em diferentes épocas e lugares.
OBJETIVO GERAL
<ul style="list-style-type: none"> Reconhecer a importância do solo e as características que o tornam propício para o plantio.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS
<ul style="list-style-type: none"> Identificar através do experimento a diferença do comportamento da planta de acordo com os diferentes tipos de solo; Aprimorar as habilidades de trabalho em equipe dos alunos através da criação e manutenção do experimento.
METODOLOGIA
<ol style="list-style-type: none"> Orientações para atividade prática: Será reservado um primeiro momento da aula (aprox. 20 minutos) para formar 6 equipes e explicar o desenvolvimento da atividade prática. Atividade prática: Os grupos plantarão mudas de cebolinha (por ter um caule mais resistente) em copinhos de plástico reutilizáveis. Para cada grupo serão designados dois copinhos e dois sacos com diferentes tipos de

<p>solo (um com as condições adequadas de terra, húmus, adubo e umidade, e outro com predominância de areia seca). Cada grupo deve plantar as mudas, irrigá-las e identificar a equipe nos copinhos (aprox. 1h). Posteriormente, a atividade será exposta em ambiente aberto da escola para que, com o passar das semanas sob irrigação e sol, os alunos notem a diferença do desenvolvimento da planta nos dois tipos de solo.</p>
<p>CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Matéria orgânica do solo.
<p>RECURSOS DIDÁTICOS</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Quadro, piloto, copinhos de iogurte com furos no fundo, colheres de plástico, prato descartável, dois tipos de solo, água, 12 mudas de cebolinha, papel, lápis e fita adesiva.
<p>AValiação DO CONTEÚDO</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Participação dos alunos na atividade prática.
<p>BIBLIOGRAFIA</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Base Nacional Comum Curricular - BNCC. Geografia no Ensino Fundamental - Anos Finais: unidades temáticas, objetos de conhecimento e habilidades. 2017, 28 p. • GHIDELLI, Natália Maria. Plano de aula: solos e plantio. Site: Associação Nova Escola. Disponível em: https://novaescola.org.br/planos-de-aula/fundamental/2ano/geografia/solos-e-o-plantio/5762. Acesso em: 28 de jun de 2024. • SAMPAIO, Fernando dos Santos. Geografia. Organizadora: SM Educação. São Paulo, 2ª edição, 2018.

APÊNDICE B – VISITA NA ÁREA DE ESTUDO: CARUARU



APÊNDICE C – VISITA NA ÁREA DE ESTUDO: SÃO BENTO DO UNA



