



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

PALOMA KÉSSIA SANTOS SILVA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS NA RIZOSFERA DE ESPÉCIES
NATIVAS DA CAATINGA DE UM NEOSSOLO LITÓLICO**

AREIA

2022

PALOMA KÉSSIA SANTOS SILVA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS NA RIZOSFERA DE ESPÉCIES
NATIVAS DA CAATINGA DE UM NEOSSOLO LITÓLICO**

“Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais”.

Prof^a. Dr^a. Vânia da Silva Fraga

Orientadora

Prof. Dr. Tancredo Augusto Feitosa de Souza

Co-Orientador

AREIA

2022

**Catálogo na publicação Seção de
Catálogo e Classificação**

P586a Silva, Paloma Késsia Santos.

Atributos químicos e biológicos na rizosfera de
espécies nativas da Caatinga de um neossolo litólico /
Paloma Késsia Santos Silva. - Areia:UFPB/CCA, 2022.

61 f. : il.

Orientação: Vânia da Silva Fraga.

Coorientação: Tancredo Augusto Feitosa de Souza.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631.4(043.3)

PALOMA KÉSSIA SANTOS SILVA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS NA RIZOSFERA DE ESPÉCIES
NATIVAS DA CAATINGA DE UM NEOSSOLO LITÓLICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ciência do Solo da Universidade
Federal da Paraíba como parte das exigências para
a obtenção do título de Mestre ou Doutor em
Ciência do Solo

Aprovado em 15 de Junho de 2021

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dra^a. Vânia da Silva Fraga (Orientadora)

DESER/CCA/UFPB



Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias

DESER/CCA/UFPB



Pesquisador Dr. George Lambais (Examinador)

INSA/MCT

Primeiramente a Deus, “ser” essencial em minha vida, autor do meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia. Minha amada mãe, Maria dos Santos (Leninha), a minha irmã Priscila Kênia, e aos meus “filhos” de 4 patas, os gatos (Batman, Robin & Nâmi) e minha cadela (Sam). Os amo!

Dedico

AGRADECIMENTOS

Á Deus, a Virgem Maria Santíssima, Santa Rosa de Lima e a todos os seres de luz que me sustentaram durante essa caminhada edificante. Em diversos momentos me veio o desânimo, mas com fé e sabedoria, superei-os.

A minha amada mãe **Leninha**, que é fonte de inspiração pra mim. Obrigada “Mainha”, a senhora é luz em mina vida. Amo você!

Aos amigos de vida: Ana Paula (Raquel), Júnior Buriti, Catarina Silva, que sempre estiveram na torcida por mim, antes, durante e após o mestrado, a amizade de vocês é alicerce em minha caminhada. Obrigada pela sensatez e pelos infinitos momentos vividos.

Aos colegas de Mestrado e de Doutorado, os quais tive o enorme prazer de conhecer durante minha estadia no CCA, os desejo sorte e sucesso na vida. Agradeço aos que me ajudaram de maneira particular: Bruno Soares, Renato Souza (me auxiliou desde as coletas, até a obtenção dos resultados), Júlia Eudócia (a maravilhosa), Gislaine Santos, Joseilton Santos, Rayane Amaral, Talita Kelly (Doutoranda em Agronomia), Maria Roselita, Kalline Carneiro, e ao aluno de PIBIC Ítalo Luiz.

Aos amigos do IFRJ que mesmo longe, sempre estiveram na torcida: Diogo, Danielle, Kamila e Priscila. Os desejo muito sucesso e êxito. Um xero bem grande. Gratidão pela leveza e sintonia. Saudades!

A minha querida e amada orientadora **Vânia Fraga**, que foi mais que uma orientadora, desde o primeiro contato, foi como uma mãe (quem a conhece sabe). Agradeço de coração por tudo. A senhora é admirável.

Ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA) na pessoa de Érica e George Lambais, onde tive todo o apoio técnico, estrutural, ajuda e disponibilidade para efetivação da pesquisa. Obrigada de verdade. Sei que formaremos boas parcerias em outros projetos. Contem, comigo.

As técnicas do INSA, Andressa Nicácio e Válbia Porto pela ajuda com as análises biológicas de minha pesquisa. Obrigada meninas, vocês são fantásticas. Sucesso pra vocês.

Aos técnicos, pesquisadores, e terceirizados do INSA, na pessoa de Paulo e Seu Lúcio, que sempre me atenderam da melhor maneira possível, deixando sempre um guia a postos para me ajudar em campo, em especial ao amigo “Dinha”, que com sua alegria deixava nossa empreitada mais leve. Obrigada!

As “tias” que cuidam da limpeza e do nosso almoço: Maria, Bastinha, Vitória e Ivone. Obrigada pelas conversas, pelo café e por toda atenção. Vocês são mulheres admiráveis. Parabéns pela força de vontade e pelo trabalho de vocês. Enfim, a todos que fazem parte da equipe do INSA, minha eterna gratidão.

Ao ONDACBC: This work is part of the National Observatory of Water and Carbon Dynamics in the Caatinga Biome - NOWCDCB, supported by FACEPE (grants: APQ-0296-5.01/17; APQ-0498-3.07/17 ONDACBC; APQ-0532-5.01/14), CNPq (grants: 441305/2017-2; 465764/2014-2).

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES)/ Brasil, pela bolsa concedida, para a execução e conclusão do presente trabalho. Código de Financiamento 001. Muito Obrigada!

Ao Laboratório de Matéria Orgânica do Solo, (LabMOS) na pessoa de Ramon e Rodolfo, por toda atenção, orientação e ajuda durante minha estadia e pesquisa.

A todo o corpo docente do PPCGS, pelo incentivo e conhecimento.

A todos (as) que de forma direta e indireta me ajudaram no caminhar e na conclusão deste trabalho. Minha eterna gratidão.

Não poderia deixar de mencionar o presente que Areia me concedeu, a cadelinha “Sam”, ela que sempre esteve ao meu lado, nas idas, vindas e estadias no campus, foi adotada por mim. Você me conquistou e através de seus gestos, pude conhecer um amor tão puro e singular. Amo você, menina.

Sem esquecer, agradeço a mim mesma, por ter aguentado firme todas as dificuldades, e por nunca ter deixado de acreditar que os sonhos são possíveis e, o mundo é dos que acreditam e sonham. Mesmo em meio ao caos da pandemia do Covid 19 enfrentada no ano de 2020, persisti e hoje me sinto leve e feliz, pois missão dada é missão cumprida! Mulheres fortes são feitas de superações.

Enfim, MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO!

SILVA, P, K, S. **ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS NA RIZOSFERA DE ESPÉCIES NATIVAS DA CAATINGA DE UM NEOSSOLO LITÓLICO**. Areia, 2021, 63p. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vânia da Silva Fraga.

RESUMO

Diante de tanta riqueza que enfatizam a importância e genuidade do bioma caatinga ainda é muito persistente o mau uso de práticas extrativistas pela população que vive nesta região e que acaba prejudicando esse bioma. Sabendo da importância e manutenção da biodiversidade e fertilidade desse bioma através das plantas nativas, perguntou-se: o cultivo de espécies leguminosas nativas da caatinga e também de não leguminosas arbóreas localizadas em mata preservada sob uma classe de solo específica, poderiam influenciar nas propriedades químicas e biológicas de um Neossolo Litólico e, promover ainda, uma melhoria da fertilidade de uma área de pastagem degradada com ausência de vegetação e da mesma classe de solo? A pesquisa foi desenvolvida em duas áreas distintas, durante dois períodos (chuvoso = julho de 2019 e seco = dezembro de 2020) pertencentes ao bioma Caatinga, sendo uma de Mata Preservada (MP) e outra de Área Degradada (AD), ambas, alocadas na Estação Experimental Prof. Ignácio Salcedo do Instituto Nacional do Semiárido (INSA). As coletas de solo foram realizadas de forma aleatória com auxílio de cilindro de aço próximas a rizosfera das espécies. As amostras foram posteriormente levadas e separadas para as análises físicas, químicas e biológicas. Os resultados apontaram que espécies como pata de vaca (*Bauhinia forficata*) e pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) são espécies a serem consideradas na manutenção da fertilidade e possível uso na recuperação de áreas com índices de degradação para a classe de solo Neossolo Litólico.

Palavras Chave: leguminosas nativas; caatinga; fertilidade do solo.

SILVA, P, K. **CHEMICAL AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES IN THE RIZOPHERE OF NATIVE SPECIES OF THE CAATINGA OF A LITHOLIC NEOSOL**. Areia, 2021, 63p. Dissertation, Soil Science Postgraduate Program, Center for Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba. Research Advisor: Prof. Vânia da Silva Fraga, PhD.

ABSTRACT

In view of the richness that emphasizes the importance and authenticity of the Caatinga biome, the misuse of extractive practices by the population living in this region is still very persistent, which ends up harming their biome. Knowing the importance of maintaining this biome's biodiversity and fertility through native plants, it was questioned whether the cultivation of leguminous species native to the Caatinga, and also non-leguminous trees located in preserved forest, under a specific soil class, could influence the chemical and biological properties of a Litholic Neosol and, furthermore, promote an improvement in the fertility of a degraded pasture area, with no vegetation and belonging to the same soil class. The research was carried out during two periods (the rainy season of July 2019 and the dry season of December 2020) and in two distinct areas belonging to the Caatinga biome, one of Preserved Forest (MP) and the other of Degraded Area (AD), both located at the Professor Ignácio Salcedo Experimental Station, of the Brazilian Semi-Arid National Institute (INSA). Soil samples were collected randomly, with the aid of a steel cylinder, from near the rhizosphere of the species, and later taken and separated for physical, chemical and biological analyses. The results showed that species such as the *Bauhinia forficata* (the Brazilian orchid tree) and the *Aspidosperma pyrifolium* (known locally as "pereiro") are species to be considered in the maintenance of fertility, and possibly in the recovery of areas with degradation rates for the Litholic Neosol soil class.

Key Words: native leguminous plants; caatinga; fertility maintenance.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teores de Glomalina em diversos Ecossistemas	20
Tabela 2. Propriedades físicas e classificação textural do solo utilizado nesta pesquisa	25
Tabela 3. Teores de pH em água, Acidez Trocável – Al^{3+} e Acidez Potencial (H+Al) de quatro ambientes rizosféricos e da área controle (área degradada) em duas estações do ano distintas.	32
Tabela 4. Teores de fósforo (P – Mehlich), Carbono Orgânico do Solo – COS e Nitrogênio – N de quatro ambientes rizosféricos e da área controle (área degradada) em duas estações do ano distintas	33
Tabela 5. Teores Potássio (K^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Sódio (Na^+) de quatro ambientes rizosféricos e da área controle (área degradada) em duas estações do ano distintas	37
Tabela 6. Capacidade de troca catiônica – CTC efetiva (t) e CTC potencial á pH 7 (T) de quatro ambientes rizosféricos e da área controle (área degradada) em duas estações do ano distintas	39
Tabela 7. Parâmetros biológicos de Respiração Basal do Solo – RBS, Carbono da Biomassa Microbiana do Solo – CBMS e Quociente Metabólico – qCO_2 de quatro ambientes rizosféricos e de uma área controle (área degradada) em duas estações do ano distintas	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo	22
Figura 2. Precipitação Pluviométrica referente ao mês de julho de 2019	22
Figura 3. Croqui de coleta das amostras de solo na área de mata nativa	23
Figura 4. Coleta de amostras	24
Figura 5. Fases da titulação para obtenção do CBMS	28
Figura 6. Metodologia de peneiramento úmido	30
Figura 7. Etapas de extração de glomalina do solo	31
Figura 8. Biplot para os escores das propriedades de fertilidade e qualidade biológica do solo	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Número de glomerosporos por estação e por espécie	34
Gráfico 2. Glomalina Total do Solo	36
Gráfico 3. Glomalina Facilmente Extraível do Solo	36

SUMÁRIO

1. Introdução.....	124
2. Revisão de Literatura.....	13
2.1 Bioma Caatinga.....	13
2.2 Áreas de pastagem degradada na Caatinga.....	14
2.3 Espécies Nativas da Caatinga: Plantas Leguminosas vs Não Leguminosas.....	15
2.4 Características químicas do Neossolo: Pastagem degradada vs. área preservada.....	17
2.5 Características biológicas do Neossolo: Pastagem degradada vs. Área preservada.....	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1 Caracterização da Área de Estudo.....	22
3.2 Procedimento de análises.....	25
<i>Análises Físicas</i>	26
<i>Análises Químicas</i>	26
<i>Análises Biológicas</i>	28
3.3 Análise Estatística.....	32
4. Resultados e Discussão.....	32
5. Conclusões.....	45
6. Referências.....	46

1. Introdução

Dentre os biomas brasileiros, a Caatinga tem significativa relevância não apenas por suas características naturais intrínsecas e fortemente marcadas por influências climáticas, mas também pela relevância econômica e social que apresenta em sua área de abrangência, configurando um complexo arranjo espacial. Tal bioma compreende uma área aproximada de 844,5 km², representando cerca de 70% da região Nordeste e 11% do território brasileiro (MMA, 2010) aumentando ainda mais sua importância.

O mosaico entre a associação clima, solo e vegetação, revela um conjunto único de espécies endêmicas de elevado interesse para as mais diferentes áreas de aplicação contando em uma riqueza tamanha que ainda é desconhecida aos olhos de pesquisadores. A vegetação vai de arbórea, com as copas das árvores formando um dossel contínuo, até arbustos xerófilos (vegetação com árvores baixas e esparsas e um estrato arbustivo mais denso), características comuns e visíveis, além das adaptações adquiridas para sobreviver às condições adversas que incluem precipitação irregular e secas recorrente apresentam a deciduidade da maior parte de suas árvores e arbustos. A partir de precipitações mínimas, as folhas aparecem rapidamente e as plantas completam seus ciclos reprodutivos em um curto espaço de tempo. (FERNANDES; QUEIROZ, 2018).

Diante de tanta riqueza que enfatizam sua importância e genuidade, ainda é muito persistente o mau uso de práticas extrativistas pela população que vive nesta região e que acaba prejudicando esse bioma. O descuido e as práticas de manejo do solo incoerentes acontecem de forma acelerada, como desmatamento, queimadas e a conversão de florestas nativas em pastagens, permitindo taxas de lotação que excedam a capacidade do pasto e com isso a recuperação do pasto se torna inviável e tardia provocando alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, culminando em solos mais susceptíveis e expostos, alterando a dinâmica natural ambiental (NIERO et al., 2010; LOURENTE et al., 2011) culminando em solos pobres em sua fertilidade natural, baixa diversidade de organismos e com fortes traços de processos erosivos.

Diante da exploração desenfreada dos recursos edáficos, da conversão de terras nativas em pastagens e da não manutenção destes recursos para minimizar os impactos ambientais causados, torna-se importante a manutenção e reposição da vegetação nativa, porque além de garantir através da fitomassa produzida uma proteção ao solo contra a irradiação solar favorecendo a manutenção de temperatura e umidade, garante um aumento no aporte de carbono do solo, um maior desenvolvimento radicular e das atividades microbianas,

consequentemente melhorando os aspectos de fertilidade (SAMPAIO e ARAÚJO, 2005; TRAVASSOS e SOUZA, 2011). Sendo assim, o cultivo de espécies leguminosas nativas da caatinga e também de não leguminosas como alternativas de melhoramento da fertilidade do solo, além de melhorar o processo de fixar o nitrogênio permitem as associações com fungos micorrízicos e bactérias fixadoras nativas preservando a propagação das espécies além de aportar nutrientes como N e P, além de aumentar os estoques de carbono do solo. A introdução dessas espécies em áreas de pastagem degradadas contribui para preservação das espécies regionais, que de acordo com Gris et al. (2012), além de garantirem a preservação do banco genético autóctone, tornam o ambiente mais próximo do originalmente existente e mais equilibrado ecologicamente.

Desse modo, parte de nós, uma inquietação: plantas nativas arbóreas de caatinga sendo estas leguminosas e não leguminosas localizadas em mata preservada sob uma classe de solo específica, podem influenciar nas propriedades químicas e biológicas de um Neossolo Litólico e, promover ainda, uma melhoria da fertilidade de uma área de pastagem degradada com ausência de vegetação e da mesma classe de solo? Para tentar responder essa questão, escolheu-se quatro espécies nativas, sendo três leguminosas: (1) Catingueira (*Cenostigma pyramidale*), (2), Jucá (*Libidibia ferrea*), (3) Mororó/Pata de vaca (*Bauhinia forficata*), pertencentes à família Fabaceae, e uma quarta espécie, sendo não leguminosa pertencente à família Rosaceae: (4) Pereiro (*Aspidosperma pyriformium*). Para tentar alcançar o objetivo proposto, adotou-se estratégias como: Correlacionar os teores de N, P e C dos três ambientes distintos (rizosfera de espécies leguminosas x rizosfera de espécie não leguminosa x Área de pastagem degradada) em duas estações do ano; Verificar através dos teores de Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e Respiração Basal do Solo (RBS) a resposta das espécies com a sazonalidade em relação a área degradada; Apontar quantidade de Glomerosporos e níveis de Glomalina Total Facilmente Extraível para os três ambientes distintos; Apontar qual (is) das espécies podem servir como possíveis indicadores na manutenção da fertilidade de neossolos litólicos em área de caatinga.

2. Revisão de Literatura

2.1 Bioma Caatinga

O bioma Caatinga apresenta domínio ecogeográfico ocupando uma área de cerca de 750.000 Km² sob as latitudes sub-equatorial compreendidas entre 2° 45' e 17° 21' Latitude Sul

e engloba partes dos territórios pertencentes aos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte de Minas Gerais. Sua área corresponde a 54% da Região Nordeste e a 11% do território brasileiro e constitui o chamado Polígono das Secas que são áreas que sofrem longos períodos de estiagem. A região se caracteriza por apresentar terrenos cristalinos praticamente impermeáveis e terrenos sedimentares que se apresentam com boa reserva de água subterrânea. Os solos, com raras exceções, são pouco desenvolvidos, mineralmente ricos e pedregosos (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009).

Nos últimos 15 (quinze) anos aproximadamente 40.000 Km² se transformaram em deserto devido à interferência do homem na região. Segundo o Sistema Estadual de Informações Ambientais (SISTEMA) da Bahia 100.000 ha são devastados anualmente (SISTEMA, 2007). O que significa que muitas áreas que eram consideradas como primárias são, na verdade, o produto de interação entre o homem nordestino e o seu ambiente, fruto de uma exploração que se estende desde o século XVI.

2.2 Áreas de pastagem degradada na Caatinga

As alterações provocadas pelo desmatamento, a Caatinga é o terceiro Bioma mais degradado do Brasil, perdendo apenas para a Floresta Atlântica e o Cerrado (MYERS et al, 2000). Estima-se que 80% da vegetação encontre-se completamente modificada, devido ao extrativismo e a agropecuária, apresentando-se a maioria dessas áreas em estádios iniciais ou intermediários de sucessão ecológica (ARAÚJO FILHO, 1996).

No Estado da Paraíba, conforme BRASIL (2004), dos 223 municípios existentes, 208 são considerados susceptíveis a degradação (46.004km²), destacando-se a região dos Cariris Velhos (também conhecida como Cariri Paraibano ou Cariri) por apresentar elevados níveis de desertificação, em virtude da rarefação ou ausência completa de cobertura vegetal (SOUZA, et al., 2011). Mas pode-se perguntar, existe uma definição clara, objetiva e exata do termo “pastagem degradada”?

De acordo com Dias-Filho (2011) uma pastagem pode ser considerada degradada dentro de um universo relativamente amplo de condições, no entanto, em condições extremas são conceitualmente denominados “degradação agrícola” e “degradação biológica”, sendo que há

um aumento no número de plantas daninhas e/ou incapacidade do solo na sustentação de espécies vegetais, respectivamente, desse modo, não se trata de um conceito fechado, mas uma definição ampla apresentando condições que são variáveis.

A nível mundial, a degradação de pastagens é um fenômeno sendo mais atuante em regiões semiáridas, já que o clima seco da região permite que fatores físicos como a erosão, principalmente a eólica, atrelada as práticas de subsistência irregular potencialize esse fenômeno. Segundo a FAO (2009), em termos globais, uma das principais causas de degradação de pastagens de influência antrópica direta é o manejo inadequado, em particular o uso sistemático de taxas de lotação que excedam a capacidade do pasto de se recuperar do pastejo e do pisoteio. Outras causas segundo Dias-Filho (2011), são a ausência de adubações periódicas, as falhas no estabelecimento da pastagem e os problemas bióticos, como o ataque de insetos-praga.

Para tanto, desde muito tempo alternativas vem sendo aplicadas para minimizar o estágio extremo de degradação como práticas de reestabelecimento vegetativo e de reposição de nutrientes no solo. Uma alternativa aplicada na região semiárida é o uso de leguminosas, principalmente as nativas arbóreas e arbustivas pois são, em geral, espécies de rápido crescimento e, devido ao aporte de matéria orgânica folhosa que possuem, incrementam as quantidades de carbono e nutrientes no solo (GUARINO et al., 2016; LONGO; RIBEIRO; MELO, 2010).

2.3 Espécies Nativas da Caatinga: Plantas Leguminosas vs Não Leguminosas

As plantas leguminosas principalmente da família Fabaceae, apresentam propriedades de ampla ocorrência e adaptação nos diversos biomas brasileiros. (FRANCO, 2012). Fabaceae consiste em uma das mais representativas do bioma caatinga, sendo constituída por 293 espécies (GIULLIETI et al., 2004). O sucesso dessa família está relacionado aos seus métodos de defesa (acúleos, tanino), à eficiência na reprodução das espécies, obtenção de substâncias essenciais para o crescimento e a sua alta capacidade de distribuição, indispensáveis à manutenção do equilíbrio dos ecossistemas (AMORIM, 2014), sendo muito apontada como possíveis componentes de recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais (FRANCO, 2012), como *Poincianella pyramidalis*, (catingueira) e *Libidibia ferrea* (jucá). Outras famílias também se destacam, a variação de fisionomia e flora possui

elevada diversidade de espécies, predominando representantes de Caesalpinaceae, Mimosaceae, Euphorbiaceae, Cactaceae e Rosaceae (DRUMOND et al. 2000).

Frente a diversidade e particularidade de espécies, uma função realizada pelas raízes das plantas de caatinga é absorção de íons da solução do solo de forma diferenciada, o que pode levar à depleção ou ao acúmulo de determinados íons na rizosfera e ainda, liberam H^+ , HCO_3^- e CO_2 , o que causa mudanças no pH, além das reações químicas, a rizosfera é rica em exsudatos (compostos orgânicos), secreções, mucilagens, mucigel e lisados celulares, provocando alterações quantitativas e qualitativas a depender da espécie.

A exsudação radicular é um processo de difusão dos solutos das raízes até à solução do solo e têm a capacidade de ser rapidamente utilizados pelos microrganismos da rizosfera, devido á sua natureza lábil, promovendo o aumento da sua população e acelerando o processo de decomposição da MO (ALVES, 2009). O processo que influencia na liberação dos exsudados é chamado de rizodeposição, que é variável entre as diversas espécies vegetais e com isso, a quantidade e a classe dos compostos exsudados são determinadas pela idade, pela espécie da planta e pelos fatores externos como estresse biótico e abiótico que influenciam na dinâmica nutricional e populacional do solo e influenciam na regulação da comunidade microbiana da rizosfera, garantindo uma enorme diversidade de espécies. Ainda, os exsudados, favorecem simbioses, servindo como sinalizadores para o estabelecimento das espécies com os rizóbios e fungos micorrízicos, mudando as propriedades químicas e físicas do solo, e inibindo o crescimento de espécies de plantas concorrentes. Podem também diminuir os efeitos de toxidez de alumínio (Al^{3+}) e de outros metais pesados. (BADRI & VIVANCO, 2009).

Outro importante aspecto, além da rizodeposição de exsudados é a produção de serapilheira, que atua diretamente na proteção do solo e nos processos bioquímicos. O aporte e a decomposição da serapilheira são influenciados pela cobertura florestal, que determina a natureza do material formador da serapilheira e a população de organismos decompositores, e pelas condições do ambiente (como disponibilidade de água e temperatura). Além disso, o processo de decomposição pode sofrer interferências das propriedades físico-químicas do solo (BARBORA et al., 2017). A serapilheira acumulada, além de nutrir os solos da Caatinga, adquire mais um papel crucial, que é protegê-los da ação direta das gotas de chuvas, principalmente nas primeiras precipitações, quando quase a totalidade das plantas encontra-se sem folhas devido ao longo período seco (LOPES, et al., 2009). As adaptações fisiológicas das espécies nativas da caatinga se adequam aos severos períodos de estiagem e suas folhas

reaparecem exuberante nas primeiras chuvas, contribuindo para a manutenção das espécies em ambas as estações.

A eliminação da vegetação de aspecto arbóreo, a exposição direta do solo às chuvas e ao pisoteio animal acarreta na alteração da estrutura do solo, na perda de sua fertilidade e diversidade de microrganismos, além do desaparecimento de muitas espécies da fauna local (DANIEL et al., 2000). Além de apresentarem importância de proteção para o solo, as leguminosas contribuem com a ciclagem de nutrientes, atuando principalmente na sua preservação, minimizando os impactos da ação antrópica.

As espécies nativas, tanto leguminosas como as não leguminosas promovem um bioma equilibrado e com microrganismos endêmicos, por isso, é ressaltado o uso de espécies nativas não só pela preservação das espécies regionais, mas também porque torna o ecossistema mais equilibrado e próximo do original, retomando sua funcionalidade é considerado como o princípio da restauração ecológica (LIMA, 2004; CARNAVELI et al., 2016).

2.4 Características químicas do Neossolo: Pastagem degradada vs. área preservada

Os estoques de elementos no solo como C, N e P variam em função do tipo de solo, profundidade, clima, bioma e, principalmente, uso e manejo da terra. A vegetação contribui intensamente com o na adição destes elementos pela síntese de compostos orgânicos se dá através principalmente do processo de fotossíntese (GIONGO et al., 2015; JESUS, 2017).

Em relação aos teores de C, a magnitude da variação destes estoques sob vegetação nativa é bastante dinâmica e significativa: regiões de maior latitude, de climas úmidos e sob florestas apresentam maiores estoques de C, sendo os menores estoques encontrados em regiões de clima árido e semiárido (POST et al., 1982; JESUS, 2017). Em regiões de clima tropical, as condições climáticas favorecem a decomposição da matéria orgânica do solo, armazenando menos C em relação a regiões de clima temperado (CARVALHO et al., 2010; SILVA, 2015).

Para minimizar a perda do elemento C em solos de caatinga, principalmente solos rasos e arenosos usados para fins agropecuários, algumas práticas já vêm sendo adotadas, minimizando o revolvimento do solo, como o uso de plantas que favoreçam o acúmulo de material orgânico sobre o solo, cultivo mínimo, redução da pressão de pastejo, agricultura orgânica, e não menos importante, a preservação e inserção das leguminosas (VERBRUGGEN et al., 2012).

Em relação aos teores de N sob vegetação não perturbada, os mesmos se encontram em equilíbrio com relação ao balanço entre as taxas de adição e perda de N. (SANCHEZ, 1976). Com a manutenção da vegetação nativa, o uso das plantas leguminosas, as mesmas apresentam associação simbiótica e realizam a fixação biológica, porém, em outros casos, as leguminosas, apresentam associações com bactérias de vida livre que também exercem papel na captura do N, apresentando a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico em locais quentes e permanentemente úmidos. De acordo com (Lambais et. al, 2006) bactérias diazotróficas de vida livre (assimbióticas) podem ser encontradas próximas da filosfera, dermosfera e rizosfera das espécies vegetais, contribuindo com a FBN nos ecossistemas tropicais, reforçando ainda mais a importância de preservação da vegetação nativa, que servem como catalisadoras exercendo a função de atrair a fauna dispersora com a utilização de espécies com dispersão zoocórica, e aumentar naturalmente a diversidade vegetal com a chegada de sementes de outras espécies trazidas por dispersores. (SILVA, 2003; MORAES et al., 2013).

Já quando esse sistema tem seu equilíbrio alterado com uso para fins agrícolas e criação de animais, a dinâmica deste elemento é alterada, modificando os seus níveis no solo, decorrente da diminuição da proteção física da matéria orgânica do solo (BAYER, 2000). O uso de espécies da família Fabaceae compensa a baixa radiação incidente sobre as áreas de pasto devido à copa das árvores e favorece o aumento da fertilidade do solo (SANTOS et al., 2011).

O elemento fósforo (P) em ecossistemas nativos e naturais, está intimamente relacionada à ciclagem das formas orgânicas. Os ácidos orgânicos provenientes da decomposição de material vegetal (ácidos húmicos e fúlvicos) persistem por mais tempo no solo e podem ser mais importantes que os ácidos de baixa massa molecular na inibição da adsorção de P no solo (PAVINATO, 2008).

O mesmo ocorre no solo em concentrações totais elevadas, porém as quantidades disponíveis são baixas, onde solo e planta competem acirradamente por esse constituinte (ARAÚJO et al., 2008). Nos solos jovens (Neossolos) ainda ocorre fósforo em minerais primários, mas a maior parte deste elemento se encontra na forma orgânica (Po), ou na forma mineral (Pi), adsorvida fracamente aos minerais secundários, caracterizando as baixas quantidades do elemento encontrado no solo estudado. (SANTOS et al., 2008).

2.5 Características biológicas do Neossolo: Pastagem degradada vs. Área preservada

Os ecossistemas naturais apresentam uma integração harmoniosa entre a cobertura vegetal e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, decorrente de processos essenciais de ciclagem de nutrientes, acumulação e decomposição da matéria orgânica. Entretanto, em áreas que sofram intensa ação antrópica por meio da retirada de espécies vegetais que garantem o equilíbrio ecológico desse ambiente, terminam por causar um impacto ambiental negativo (KAISER et al., 1995). Com toda a riqueza em ecossistema preservados e naturais, a abundância biológica e microbiológica é fascinante, ao ponto de numericamente e taxonomicamente não ser elucidada por completo.

Toda a biodiversidade se estabelece de acordo com as condições químicas e físicas do ambiente, seja do solo ou do clima da região, de modo que se estabelecem os organismos que melhor se adaptarem as condições expostas, isso vale para os ambientes de áreas nativas e também para os mais inóspitos como uma pastagem degradada. De acordo com Will, (2010), Nacke et al. (2011), Leff et al. (2015) existem alguns filos que se sobressaem e são predominantes em solos de pastagem degradada, dentre os quais estão: Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria, Alphaproteobacteria, Deltaproteobacteria, Chloroflexi, Firmicutes, Actinobacteria, Proteobacteria, Acidobacteria, Verrucomicrobia e Bacteroidetes. Desse modo, pode-se imaginar que em floresta nativa a diversidade será ainda maior, pois se trata de ambiente ecologicamente equilibrado e sem interferência antrópica.

Variáveis como: Respiração Basal do Solo (RBS), Carbono da Biomassa (CBM), coeficiente metabólico do solo (qCO_2), número de glomerosporos e níveis de glomalina nas frações totais (GT) e facilmente extraível (GFE) são atributos biológicos que vêm contribuindo de forma integradora nessa relação entre ecologia de ecossistema, fertilidade do solo, bioquímica, microbiologia do solo e têm levantado questionamentos interessantes acerca da relação entre os ecossistemas e da dinâmica de nutrientes.

A respiração basal do solo trata-se do somatório de todas as atividades metabólicas dos organismos vivos que são produzidas no solo, apresentando uma estreita relação com os fatores abióticos (temperatura, umidade e aeração), além de concentração, composição e fornecimento de substratos ricos em C. (IQBAL et al. 2010; TOMAR, 2020). Os fungos e as bactérias são os principais responsáveis pela maior liberação de CO_2 por meio da respiração microbiana (SILVA, 2007). Os índices mais baixos de respiração, são menores em ambientes frios (tundra) e também nos mais secos (desertos e regiões semiáridas). Em contrapartida, os níveis mais altos são em florestas tropicais úmidas onde temperatura e umidade são constantes durante todo o

ano. No entanto, é importante salientar que a interpretação das taxas de respiração podem ser de acordo com o objetivo desejado: altas taxas de respiração podem ser um indicativo de que a decomposição dos resíduos orgânicos disponibilizará nutrientes para as plantas, por outro lado, pode indicar que a microbiota está estressada, pois a decomposição de matéria orgânica mais leve já foi consumada, desse modo, podem indicar uma elevada produtividade no ecossistema quanto um distúrbio (ISLAM, WEIL, 2000).

Outro aspecto biológico integrador é a biomassa microbiana do solo, em que a avaliação dessa variável é importante no que tange o monitoramento de áreas sob influência antrópica, servindo como indicador de alterações da matéria orgânica, permitindo investigar se as práticas de manejo de solo adotadas contribuem ou não para melhorar sua qualidade provocadas no ambiente (EMBRAPA, 2007). O carbono da biomassa microbiana (CBM), é o componente principal da biomassa microbiana do solo, sendo responsável pelo controle dos fluxos de carbono e nutrientes nos sistemas ecológicos (ROSS et al. 1995; SHAO et al. 2015). O carbono de biomassa microbiana viva e a biomassa microbiana morta contribuem com o reservatório de carbono da biomassa microbiana. A necrose de microrganismos mortos representa uma enorme quantidade de carbono no solo e pode atuar como uma fonte de carbono prontamente disponível para microrganismos vivos (XU et al. 2018).

A diferença entre a respiração basal do solo e a biomassa microbiana do solo é chamado de quociente metabólico (qCO_2) que mede o estado ecofisiológico da comunidade microbiana do solo. À medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema, menos CO_2 é perdido pela respiração e maior proporção de C é incorporada aos tecidos microbianos, o que resulta em diminuição do qCO_2 (SILVA et al., 2007) sendo um índice muito importante no que tange a estocagem de C nos ecossistemas naturais.

Além dos indicadores acima mencionados, tem-se o quantitativo de glomerosporos, que são estruturas reprodutivas dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA's) estes proporcionam aumento da resistência vegetal contra patógenos (Liu et al. 2007) e maior tolerância a estresses hídrico (Beltrano & Ronco 2008) e salino (Maia & Yano-Melo 2005), contribuindo ainda para a agregação do solo (Mergulhão et al. 2010). Além do que a quantidade de nutrientes disponíveis para a planta afeta a abundância e a colonização por FMA (He et al. 2002; Panwar e Tarafdar 2006; Mathur et al. 2007). Baixas ou altas concentrações de fósforo no solo podem aumentar ou suprimir a penetração das hifas nas raízes e, conseqüentemente, a colonização micorrízica (Aguilera et al. 1998). Dessa forma, é possível considerar que em áreas mais desérticas, como a área degradada em estudo, a mesma apresentou maiores números desses glomerosporos, enquanto que a mata nativa esteve em desvantagem.

Glomerosporos foram observados com maior abundância em solo/áreas que apresentavam plantas nativas quando relacionado com um solo/área com a presença de plantas exóticas, apontando dessa forma que os solos na presença da sua vegetação nativa apresentam um maior potencial de diversidade de FMA's, conseqüentemente, apresentando maior potencial no uso das espécies nativas na recuperação de áreas degradadas ou que estejam em processo (SOUZA; FREITAS, 2017) indicando a relevância das espécies vegetais nativas para a contribuição e manutenção da diversidade de fungos no ecossistema.

Outro bioindicador de equilíbrio do solo é a glomalina que se trata de uma glicoproteína (proteína) hidrofóbica, recalcitrante e termicamente estável (extração em elevada temperatura). Estudos apontam que o teor de glomalina pode estar relacionado com o valor de pH do solo, de tal modo que em níveis baixos ocorre um acúmulo desta proteína, e em pH mais elevados torna-se mais solúvel (LI, 2019). Apresenta função de adsorver naturalmente carbono, além do nitrogênio, mantendo-os no solo, ajuda na fertilidade do solo, garantindo a adesão de partículas (estabilizando agregados) e com isso resulta em espaços vazios no solo, que culmina na entrada de oxigênio, raízes e água (RILLING, 2004). É variável em diversos ecossistemas do mundo (Tabela 1)

Tabela 1. Teores de Glomalina em diversos Ecossistemas

Ambiente	Teor de Glomalina (mg/g)	Autores
Terra agrícola	0,3–0,7 mg / g	Wright & Anderson 2000; Wuest et al. 2005
Floresta boreal	1,1 mg / g	Treseder et al. 2004
Deserto	0,003–0,13 mg / g	Rillig et al. 2003; Treseder & Turner 2007
Floresta temperada	0,60-5,8 mg / g	Steinberg & Rillig 2003; Nichols & Wright 2005; Treseder e Turner 2007
Pastagens temperadas	0,23–2,5 mg / g	Lutgen et al. 2003; Batten et al. 2005; Nichols & Wright 2005
Floresta tropical	2,6–13,5 mg / g	Lovelock et al. 2004; Treseder & Turner 2007
Região Antártica	0,007-0,15 mg / g	Pohanka & Vlček 2018

Fonte: Adaptado, Pohanka & Vlček, 2020

Campos (2018) afirma que a função exata dessa proteína ainda é desconhecida, como também, praticamente inexitem informações para a combinação do solo com a vegetação da região Semiárida, no entanto a função cimentante, a partir de sua natureza (resistência ao calor,

insolubilidade e hidrofobicidade) garante estabilidade e redução da quebra dos macroagregados durante os eventos de umedecimento e secagem do solo, auxílio na proteção das hifas fúngicas são as principais características apontadas na literatura (PENG, 2013; CAMPOS, 2018).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida em duas áreas distintas, durante dois períodos (chuvoso = julho de 2019 e seco = dezembro de 2020) pertencentes ao bioma Caatinga, sendo uma de Mata Preservada (MP) e outra de Área Degradada (AD), ambas, alocadas na Estação Experimental Prof. Ignácio Salcedo do Instituto Nacional do Semiárido (INSA). A Estação Experimental do Instituto Nacional do Semiárido (Insa/MCTIC), fica localizada entre os sítios Lucas e Salgadinho, na zona rural de Campina Grande (PB), cidade situada na Mesorregião Geográfica do Agreste da Borborema, no estado da Paraíba, entre as coordenadas 7°16'49.57''S e 35°58'35.35''O (Mata Preservada – MP); 7°16'28.73''S e 35°04.75'15''O (Área Degradada - AD), com altitude média de aproximadamente 480 metros acima do nível do mar, clima do tipo As, sendo considerado clima tropical quente e úmido, com estação seca no inverno, segundo a classificação climática de Köppen. **(Figuras 1 e 2).**

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE COLETA

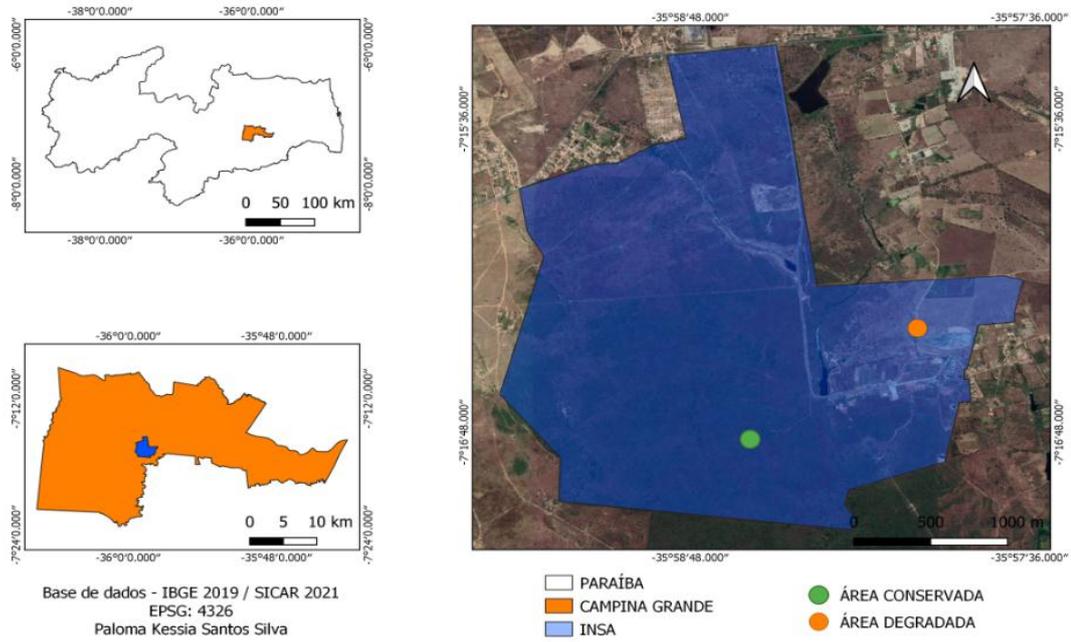


Figura 1. Localização da área de estudo

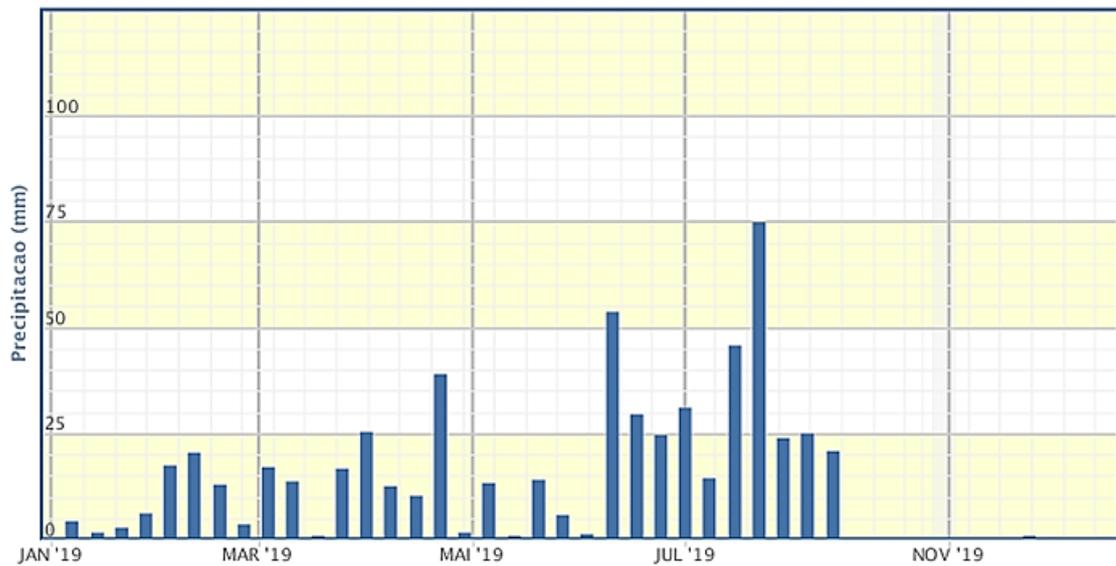


Figura 2. Precipitação Pluviométrica referente ao mês de julho de 2019.

FONTE: INMET, 2020

Foram selecionadas quatro leguminosas nativas típicas de vegetação de caatinga sob Neossolo Litólico, sendo 3 leguminosas e 1 não leguminosa: (1) Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis bracteosa*), (2) Jucá/Pau Ferro (*Casealpinia ferrea*), (3) Mororó/Pata de Vaca (*Bauhinia unguolata*), e (4) Pereiro (*Aspidosperma pyriformium*) respectivamente. Tais espécies foram escolhidas de forma aleatória dentro da área de mata preservada, no entanto, adotou-se o critério de maior representatividade das espécies afim de que estas se repetissem cinco vezes dentro da área, além de obedecerem a um critério de distância mínima entre as espécies da mesma família, de modo que uma não fosse capaz de influenciar na outra a ponto de mascarar os resultados de fertilidade e microbiologia do solo, cada planta devia ter mais de 3 cm de diâmetro próximo a superfície do solo e altura entre 1 e 3 m (**Figura 3**).

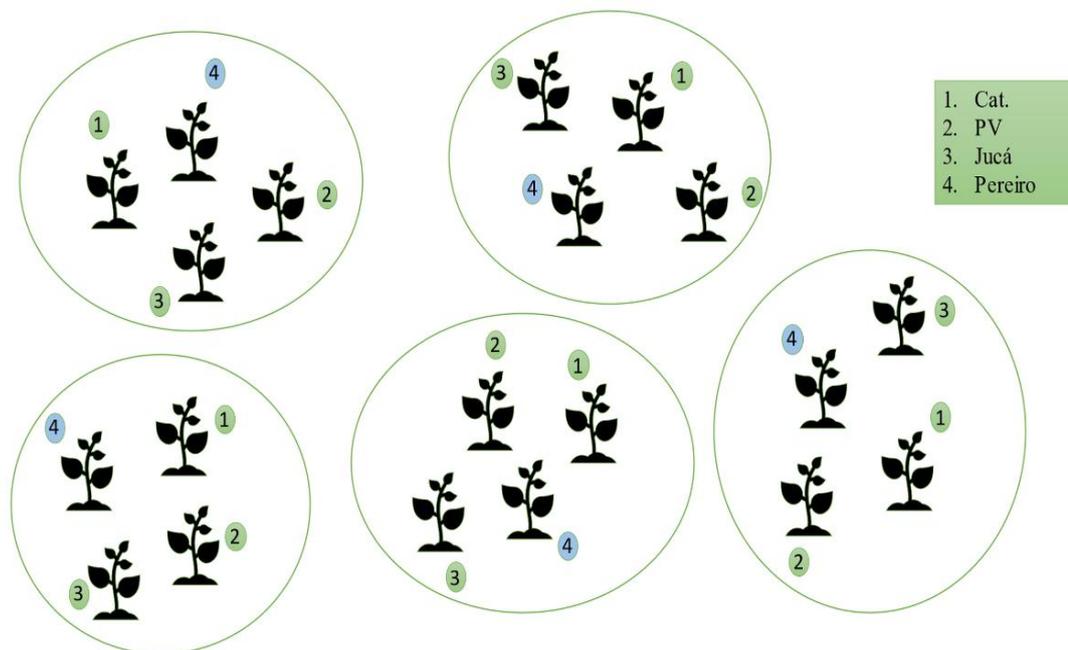


Figura 3. Croqui de coleta das amostras de solo na área de mata nativa

Em área de mata preservada (MP) foram selecionados um total de 20 pontos de coleta divididos entre as quatro espécies, como apresentado no *croqui* (**Figura 3**). O experimento tratou-se de um fatorial: 4 tratamentos (plantas) * 5 repetições = 20 pontos por cada estação * 3 amostras simples por planta, além dos 5 pontos da área controle somando um total de 65 amostras simples por cada período. As coletas foram realizadas usando o cilindro de aço,

transferindo-se o solo para sacos plásticos limpos e sem uso, com a devida identificação externa (local, cultura, data) (**Figura 4**)



Figura 4. Coleta de amostras. FONTE: Autor, 2020

A área controle considerada por nós como degradada foi escolhida usando o critério visual de área antropizada e exposta devido ao pastejo e pisoteio de animais, bem como ausência de espécies vegetais de médio a grande porte que protegessem o solo, observando-se apenas espécies vegetais de porte herbáceo em poucas quantidades e afastadas. A área localizada a cerca de 1km da sede de apoio do INSA, contava com solo semelhante ao da área de mata nativa, ou seja, neossolo litólico, com aspecto arenoso, de coloração clara e com pouquíssima vegetação cobrindo-o. coletou-se 5 amostras aleatórias usando o cilindro de aço, que foram colocadas em sacos plásticos transparentes, identificadas e levadas para o laboratório de microbiologia do solo do INSA.

As amostras foram usadas para análise física (granulometria, densidade), química (COT; P; pH; Ca²⁺; Mg²⁺; K⁺; H⁺⁺Al³⁺) e biológica (Carbono da Biomassa Microbiana do Solo – BMSC; Respiração Microbiana do Solo - RBS, Esporos e Glomalina Total e facilmente extraível). Para a análise biológica as amostras foram mantidas o mais próximo das condições em que foram coletadas até a sua chegada ao laboratório, as análises foram procedidas em até 3 dias ou armazenadas em geladeira a 4°C por até 10 dias (EMBRAPA, 2008).

3.2 Procedimento de análises

Análises Físicas

O solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de malha de 2 mm, obtendo terra fina seca ao ar (TFSA) e com isso, tornando adequado o tamanho das partículas para a maioria das análises químicas, físicas e biológica do solo. Para a determinação do C orgânico do solo a TFSA foi macerada em almofariz e passada por peneira de malha 0,125 mm. Para as análises físicas e textural do solo, foi realizada densidade aparente e a análise granulométrica, com metodologias adaptadas por Embrapa, 2017 (**Tabela 1**)

Tabela 2. Propriedades físicas e classificação textural do solo utilizado nesta pesquisa

Parâmetros	AD	MP
Densidade aparente (g/cm ³)	1,32	1,35
Areia (%)	720,48	772,55
Silte (%)	204,26	126,36
Argila (%)	75,25	101,09
Areia+Silte+Argila (%)	1000	1000
Classe Textural	Franco Argilo Arenoso	Franco arenoso

AD = área degradada; MP = mata preservada.

Na determinação do conteúdo de água no solo (%), as amostras trazidas do campo, foram direcionadas para o Laboratório de Microbiologia do Solo, do INSA, onde pesou-se cerca de 10g de solo e colocou-o em equipamento denominado Analisador de Umidade Ohanus a uma temperatura de 105°C programado por 10 minutos.

Análises Químicas

Para a análise química as variáveis analisadas foram: o pH do solo, que é uma determinação da concentração de íons H⁺ na solução do solo, que tem influência na disponibilidade de nutrientes. Medição do potencial hidrogeniônico por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido (água, KCl ou CaCl₂), na proporção 1:2,5 (SILVA, 1999; EMBRAPA, 2017).

O teor de carbono orgânico do solo (COS) foi determinado pelo método de oxidação via úmida (YEOMANS e BREMNER, 1988), com dicromato de potássio em meio sulfúrico, titulado com sulfato ferroso, com difenilamina como indicador de mudança de coloração. A

determinação do COS ocorre indiretamente em função da reação do carbono presente nos compostos orgânicos com o dicromato de potássio. O cálculo do teor de COS é efetuado pelo volume de dicromato de potássio utilizado na oxidação da matéria orgânica, o qual é obtido pela diferença entre o volume de uma prova em branco e da amostra pela titulação com a solução de sulfato ferroso amoniacal (EMBRAPA, 2017). O teor de matéria orgânica foi obtido por meio da multiplicação dos valores de COS encontrados, pelo fator 1,724 (presumindo que a matéria orgânica do solo contenha 58% de carbono).

Para quantificar os teores de N este foi digerido utilizando-se ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio no bloco digestor (THOMAS et al., 1967) e depois determinado pelo método kjeldahl (TEDESCO, 1995).

O fósforo, sódio e potássio foram extraídos usando o extrator Mehlich 1, sendo P determinado espectrofotometricamente, por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico (MURPHY & RYLEY, 1962) e sódio e potássio foram determinados via fotometria de chama (SILVA, 1999)

Os cátions básicos: $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ trocáveis foram extraídos por KCL 1M e determinados por complexometria com EDTA 0,0125 M, usando-se como indicador o negro-de-eriocromo – T, mudança de cor se dá do róseo para o azul-puro. O teor desses cátions foi determinado pela igualdade:

$$\text{Cmol de Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} / \text{dm}^3 \text{ de TFSA} = \text{L} - \text{Br}$$

Onde: L é o número de mililitros de EDTA gastos na titulação da amostra;

Br é o número de mililitros gastos na amostra branco.

Já o Ca^{2+} trocável de forma isolada seguiu-se a mesma metodologia de extração, porém o indicador usado foi o ácido calcon carbônico, com ponto de viragem vermelho-intenso para o azul-intenso. O teor de cátions foi determinado pela igualdade:

$$\text{Cmol de Ca}^{2+} / \text{dm}^3 \text{ de TFSA} = \text{L} - \text{Br}$$

Onde: L é o número de mililitros de EDTA gastos na titulação da amostra;

Br é o número de mililitros gastos na amostra branco.

Para acidez trocável (Al^{3+}) a extração foi feita por KCl 1 mol. L⁻¹. Como indicador, foi adicionado 3 gotas do indicador azul-de-bromotimol 1g.L⁻¹, titular com solução de NaOH 0,025 mol.L⁻¹, a viragem se dá do amarelo para o verde ou azul. O teor de Al^{3+} da amostra foi determinado pela igualdade:

$$\text{Cmol de Al}^{3+}/\text{dm}^3 \text{ de TFSA} = \text{mL de NaOH gastos na titulação}$$

A Acidez Potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) foi extraída com solução de acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinado volumetricamente com solução de NaOH 0,025 mol.L⁻¹, com presença de fenolftaleína como indicador. A viragem se dá quando o líquido, antes incolor, apresentar cor rósea persistente. O teor de ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) da amostra foi determinado pela igualdade:

$$\text{Cmol de H}^+ + \text{Al}^{3+} / \text{dm}^3 \text{ de TFSA} = (\text{L} - \text{Br}) \times 1,65$$

Onde: L é o número de mililitros de EDTA gastos na titulação da amostra;

Br é o número de mililitros gastos na amostra branco

Análises Biológicas

Para determinação do Carbono da Biomassa Microbiana (CBMS) foi usado 20g de solo de acordo com a metodologia do método de fumigação por extração. Realizando fumigação com adição de clorofórmio diretamente nas amostras, como descrito por Brookes et al (1982) e Witt et al (2000). Onde após 24 horas foi realizada estimativa a partir da extração e quantificação do C das amostras fumigadas e não-fumigadas. (VANCE et al., 1987; EMBRAPA, 2008) (**Figura 5**)

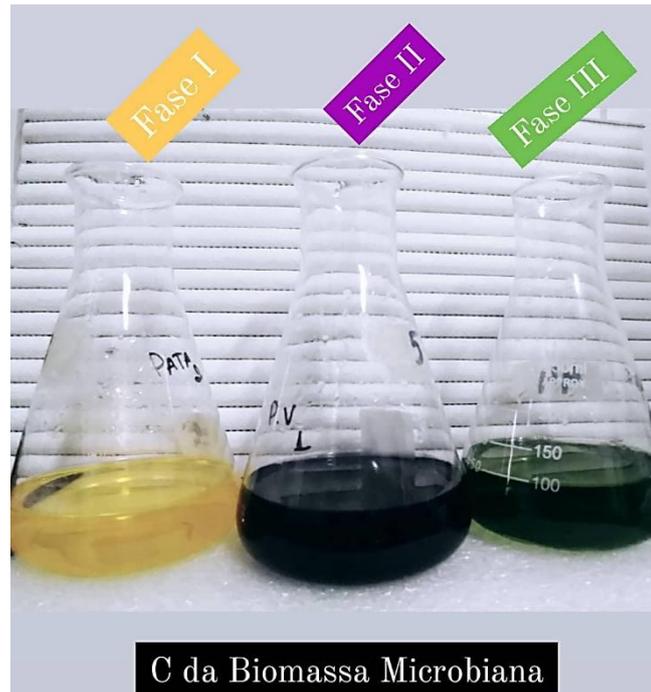


Figura 5. Fases da titulação para obtenção do CBMS.
FONTE: Autor, 2020

Cálculo do teor de C nos extratos fumigados e não fumigados do solo:

$$C \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ solo)} = \frac{(V_b - V_a) \times M \times 0,003 \times V_1 \times 10^3}{P_s \times V_2} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

C = carbono extraído do solo;

V_b = (mL) volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução controle (branco);

V_a = (mL) volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra;

M = molaridade exata do sulfato ferroso amoniacal;

V₁ = volume do extrator (K₂SO₄) utilizado;

V₂ = alíquota pipetada do extrato para a titulação;

0,003 miliequivalente de C;

P_s = (g) massa de solo seco.

$$\text{CBMS (C do solo fumigado - C do solo não fumigado) /Kec} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde: O Kec = fator de correção (0,33), descrito por SPARLING e WEST (1988).

A respiração Basal do Solo (RBS) foi determinada usando metodologia da Embrapa (2008) adaptada e simplificando o procedimento original, proposto por JENKINSON e

POWLSON (1976). Pesou-se 10g de solo e 10mL de NaOH 1M que foram colocados separadamente em béqueres de 50 mL e em seguida acondicionados em frascos de vidro de 2L fechado, para que não houvesse fuga de CO₂ do solo. Após um período de 10 dias, retirou-se esses frascos da incubadora BOD e realizou-se imediatamente a titulação das amostras, seguindo metodologia da Embrapa (2008).

A RBS é determinada pela equação 3:

$$\text{RBS (mg de C-CO}_2 \times \text{kg}^{-1} \text{ solo x h}^{-1}) = (\text{Vb} - \text{Va}) \times \text{M} \times 6 \times 1000 / \text{Ps/T} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

Vb = (mL) volume do ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle (branco);

Va = (mL) volume do ácido clorídrico gasto na titulação da amostra;

M = molaridade exata do HCl;

Ps = (g) massa de solo seco;

T = tempo de incubação da amostra em horas.

O quociente metabólico do solo (qCO₂), é resultado da razão entre RBS, CBMS e tempo, podendo ser utilizado como indicador de estresse quando o CBMS é afetada, sendo ambas instrumentos importantes no entendimento das transformações e perdas nos compartimentos orgânicos do solo. (EMBRAPA, 2008). O cálculo de qCO₂ da respiração basal do solo, é dado pela Eq. 4:

$$q\text{CO}_2 \text{ (mg de C - CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ CBMS - C x h}^{-1}) = \frac{\text{RBS (mg de C-CO}_2 \times \text{kg}^{-1} \text{ solo x h}^{-1})}{\text{CBMS(C do solo fumigado - C do solo não fumigado)/Kec}}$$

Onde:

qCO₂ = Quociente Metabólico do solo;

RBS = Respiração Basal do Solo;

CBMS = Carbono da Biomassa Microbiana do solo.

A determinação de glomerosporos fúngicos que baseado em dados moleculares (Schüssler et al. 2001) mostram um grupo monofilético, e também uma grande diversidade morfológica da estrutura subcelular complexa que apresentava parede única no reino fungi, foi proposto o nome de glomerosporos para os esporos de Glomeromycota, os distinguindo dos demais.

A extração dos glomerosporos se deu pesando-se 50g de solo pelo método de peneiramento úmido (Gerdemann e Nicolson, 1963) e centrifugação em solução de sacarose a 45% (Jenkins, 1964). Em seguida, para recuperar os esporos foram utilizadas duas peneiras sobrepostas com malhas de 250 e 37 μm . A quantificação foi realizada em placa de Petri canelada com auxílio de estereomicroscópio (40x), onde somente esporos viáveis foram considerados (**Figura 6**).

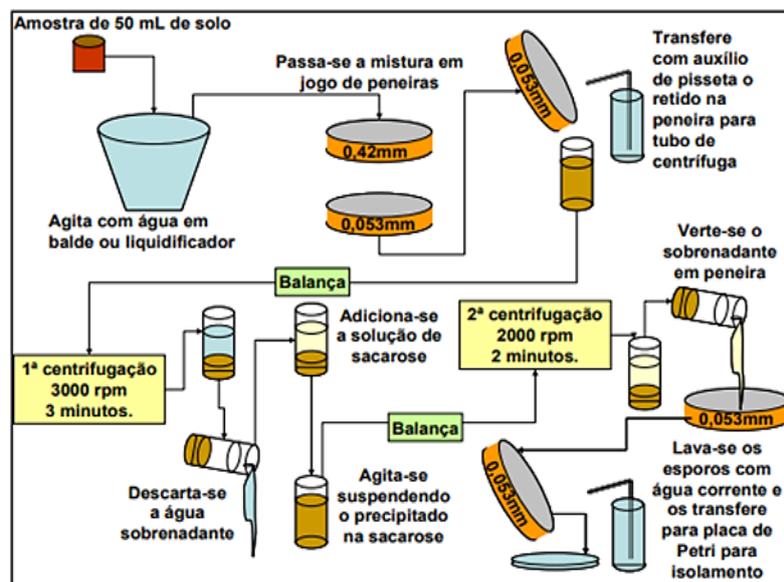


Figura 6. Metodologia de peneiramento úmido.
FONTE: Adaptado Embrapa, 2011

Por fim, realizou-se extração de frações da glomalina (facilmente extraível e glomalina total) que é uma proteína recalcitrante, termoestável e hidrofóbica. As frações da proteína do solo relacionada a glomalina foram determinadas nas três classes de agregados do solo, sua quantificação foi realizada pelo método de Wrigth e Upadhyaya (1996). As duas frações foram determinadas através de condições de extrações distintas. A glomalina facilmente extraível foi obtida a partir da extração em autoclave, utilizando-se 1 g de solo e 8 ml de solução citrato de sódio (20 mM; pH 7,4) a uma temperatura de 121 °C por 30 min, seguido de centrifugação a 5.000 rpm durante 15 min. A glomalina total foi obtida utilizando-se 1 g de solo e 8 ml de citrato de sódio (50 mM; pH 8,0) a 121 °C por 60 min, seguido de centrifugação a 5.000 rpm durante 10 min. Para extração desta fração, foram necessários três ciclos de autoclavagem, até que as amostras atingissem a cor amarelo-claro. A quantificação da PSRG foi realizada pelo método Bradford (1976), usando como padrão albumina de soro bovina. As concentrações da

glomalina, para ambas as frações, foram corrigidas para mg g^{-1} de solo, considerando-se o volume total de sobrenadante e o peso seco do solo (**Figura 7**)

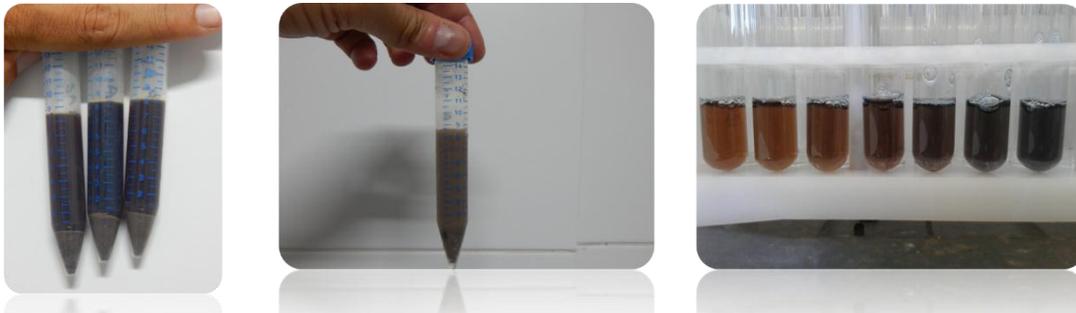


Figura 7. Etapas de extração de glomalina do solo
FONTE: Lambais, 2020

3.3 Análise Estatística

Os dados foram analisados por meio de modelo misto (análise de medidas repetidas) utilizando-se o pacote nlme (Linear and Nonlinear Mixed Effects Models) do software R. As médias dos tratamentos (área/espécies vegetais) foram comparadas pelo teste de Tukey e as médias das estações (chuvosa e seca) foram comparadas pelo teste t. Para ambos os testes, foi adotado o nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Realizou-se ainda análise de Componentes Principais (CP) e de agrupamento. Para selecionar as CP, utilizou-se o critério de Jolliffe (1972) e variância acumulada mínima de 70%. As variáveis participantes em cada CP foram determinadas com base em correlação $\pm 0,6$ do autovetor com o componente em questão, de acordo com Wairegi e van Asten (2011). Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software RStudio (CORE TEAM, 2018).

4. Resultados e Discussão

Os valores de pH em água, do solo próximo a rizosfera tanto das espécies leguminosas como da espécie não leguminosa, não apresentaram diferenças significativas entre si, nem quando comparado com a área degradada (AD), independente da estação do ano avaliada. Para os teores de alumínio (Al^{3+}) o comportamento foi diferente, a variável sazonalidade para todas as plantas leguminosas e também para a não leguminosa, apresentaram diferença significativa

com maiores teores de alumínio em Pereiro durante a estação seca. Para a acidez potencial (H+Al) a sazonalidade influenciou as espécies de leguminosas Catingueira e Pata de Vaca, onde ambas as espécies apresentaram menores teores dessa variável na estação seca. Comparando todas as espécies vegetais com AD, nota-se diferença significativa durante a estação chuvosa (**Tabela 3**)

Tabela 3. Teores de pH em água, Acidez Trocável – Al³⁺ e Acidez Potencial (H+Al) de quatro ambientes rizosféricos e da área controle (área degradada) em duas estações do ano distintas.

Parâmetros	Estação	Área/espécies vegetais				
		AD	Catingueira	Jucá	Pata Vaca	Pereiro
pH em água (1:2,5)	Chuvosa	6,04±0,11 ^{Aa}	5,93±0,30 ^{Aa}	5,92±0,44 ^{Aa}	5,86±0,44 ^{Aa}	5,68±0,48 ^{Aa}
	Seca	5,80±0,29 ^{Aa}	5,74±0,28 ^{Aa}	5,77±0,25 ^{Aa}	5,74±0,31 ^{Aa}	5,64±0,19 ^{Aa}
Al (cmol _c kg ¹)	Chuvosa	0,10±0,10 ^{Aa}	0,36±0,38 ^{Ba}	0,09±0,05 ^{Ba}	0,17±0,06 ^{Ba}	0,20±0,14 ^{Ba}
	Seca	1,46±1,32 ^{Aa}	1,97±1,44 ^{Aa}	2,07±0,99 ^{Aa}	1,88±1,22 ^{Aa}	2,52±1,07 ^{Aa}
H+Al (cmol _c kg ¹)	Chuvosa	2,17±0,26 ^{Ab}	5,39±1,70 ^{Aa}	5,39±1,72 ^{Aa}	5,14±1,90 ^{Aa}	4,69±1,08 ^{Aa}
	Seca	2,17±0,27 ^{Aa}	3,88±0,48 ^{Ba}	3,57±0,60 ^{Aa}	3,45±0,81 ^{Ba}	3,75±0,64 ^{Aa}

Valores são média ± desvio padrão; médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey e t, respectivamente, em até 5% de probabilidade

Sobre os valores de pH, em comparação aos resultados encontrados por Nascimento e colaboradores (2003) espécies leguminosas se mostraram eficientes quanto a diminuição considerável da acidez do solo nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Tal efeito pode ser atribuído à ação das leguminosas: quanto à cobertura vegetal já que são espécies caducifólias; pelo retorno dos seus resíduos ao solo; em relação ao sistema radicular, pela maior concentração de raízes no perfil e, neste caso, favorecendo absorção maior de alguns nutrientes, principalmente dos teores trocáveis de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, o que proporciona melhorias na SB e na CTC dos solos e, desta forma, pode contribuir para uma eficiência maior da reciclagem desses nutrientes.

De acordo com Silva (2018) as reações de troca iônica provocam alteração no pH do solo, pois os íons H⁺ que estão adsorvidas as micelas dos minerais aluminossilicatos do solo por meio de ligações eletrostáticas, são trocados por um íon de Al³⁺. Além do mais, a diminuição dos teores de Al³⁺ durante a estação chuvosa tem relação com efeito da MOS, complexando o alumínio livre em solução (ITAWA et al., 2012)

Os resultados para a acidez potencial, mesmo em mata nativa, duas espécies de leguminosas (catingueira e pata de vaca) apresentaram baixos teores durante a estação seca, quando comparado as demais espécies e ao comportamento destas, durante a estação chuvosa. Neste caso, poderia-se apontar como possível justificativa uma concentração maior de ácidos orgânicos produzidos por estas espécies durante a estação e que teria resultado numa maior complexação de cátions de H^+ e Al^{3+} devido a perda maior de folhas. Resultados semelhantes foram observados por Iwata et al., (2012) afirmando que a MOS possui a função de complexar os cátions H^+ e Al^{3+} livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e adicionar bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) que reduzem a acidez do solo e aumentam o pH (FRANCHINI et al., 2001; PAVINATO, 2008) o que segundo a pesquisa seria uma possível justificativa para os baixos teores de H+Al em sistemas agroflorestais.

Na tabela 4 o efeito da sazonalidade foi percebido apenas durante a estação chuvosa para a área degradada, onde foi a única que apresentou diferença para o nutriente P Mehlich. Ainda na estação chuvosa, dentre as espécies vegetais, nota-se maior valor de P para a rizosfera de catingueira. Notou-se ainda diferenças para COS para os três ambientes (leguminosas, não leguminosa e área controle) de modo que os maiores valores foram na estação seca, com destaque a rizosfera de catingueira. Para a variável N, a área controle apresentou diferença em relação a Catingueira em ambas as estações e em relação a Pata de Vaca durante a estação seca. Essa inferência traz o comportamento dos ambientes em função da condição climática da região, uma vez que os ambientes semiáridos apresentam como principal limitação a deficiência hídrica.

Tabela 4. Teores de fósforo (P – Mehlich), Carbono Orgânico do Solo – COS e Nitrogênio – N de quatro ambientes rizosféricos e da área controle (área degradada) em duas estações do ano distintas

Parâmetros	Estação	Área/espécies vegetais				
		AD	Catingueira	Jucá	Pata Vaca	Pereiro
P Mehlich1 (mg kg ⁻¹ solo)	Chuvosa	1,21±0,02 ^{Ab}	10,11±0,81 ^{Aa}	9,95±1,65 ^{Aa}	9,18±1,49 ^{Aa}	8,39±1,92 ^{Aa}
	Seca	1,24±0,69 ^{Aa}	2,12±1,73 ^{Ba}	1,55±1,95 ^{Ba}	2,96±2,37 ^{Ba}	1,60±0,66 ^{Ba}
COS (g/kg)	Chuvosa	0,49±0,49 ^{Ba}	0,56±0,32 ^{Ba}	0,62±0,21 ^{Ba}	0,45±0,17 ^{Ba}	0,48±0,21 ^{Ba}
	Seca	1,20±0,27 ^{Aa}	1,43±0,23 ^{Aa}	1,28±0,33 ^{Aa}	1,31±0,42 ^{Aa}	1,34±0,41 ^{Aa}
N (g/kg)	Chuvosa	0,083±0,02 ^{Ab}	0,174±0,03 ^{Aa}	0,134±0,01 ^{Aab}	0,130±0,02 ^{Aab}	0,122±0,03 ^{Aab}
	Seca	0,077±0,01 ^{Ab}	0,146±0,03 ^{Aa}	0,124±0,03 ^{Aab}	0,140±0,06 ^{Aa}	0,126±0,01 ^{Aab}

Considerando que os FMA participam de processos importantes para a manutenção dos ambientes terrestres, Silva et al (2014) justifica as quantidades de glomerosporos achados, como sendo influencia da estação, pois maiores quantidades de glomerosporos durante o período seco, principalmente os de menores diâmetros aparados em peneira de 0,037 mm como aponta a presente pesquisa, podem estar relacionadas a restrição da disponibilidade de água no solo, além do baixo teor de P, quando comparado a estação chuvosa. Durante o período de estiagem, adaptações são necessárias e comuns as plantas nativas da caatinga já que as mesmas apresentam menor vigor vegetativo e induzem os microrganismos a elas associados a necessidade de mecanismos de adaptação (**Gráfico 1**)

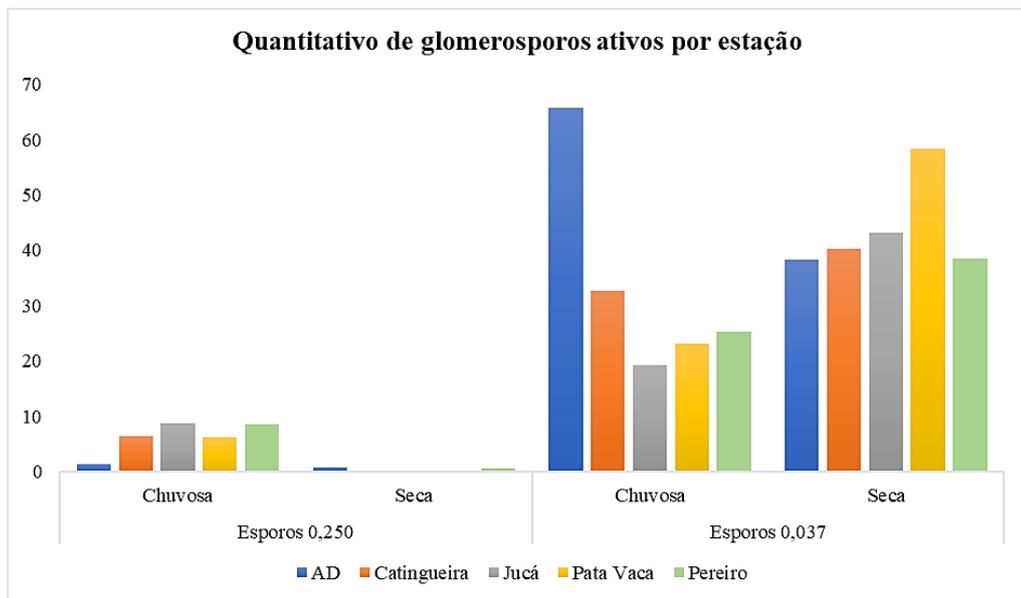


Gráfico 1. Número de glomerosporos por estação e por espécie

Fazendo uma estreita ligação dos níveis de P extraídos e do quantitativo de glomerosporos aponta-se a espécie de Pata de Vaca como a de maior destaque durante a estação seca, sendo considerada uma planta potencial para manutenção da fertilidade natural do solo. nossos resultados sugerem que catingueira é uma espécie potencialmente apta podendo servir como indicadora de melhoria da fertilidade do solo área de pastagem degradada.

Da mesma forma que a sazonalidade influenciou nos resultados de glomerosporos das espécies do presente estudo, independente de micorrização, resultados obtidos por Mergulhão et al. (2007) apresentaram efeito da sazonalidade em área de Caatinga na região semiárida, e

encontraram 3,0 e 0,7 glomerosporos g⁻¹ de solo nos períodos chuvoso e seco, respectivamente. Silva et al. (2001) encontraram maior número de glomerosporos no período seco (1,51 g⁻¹ de solo) do que no chuvoso (1,26 g⁻¹ de solo). Da mesma forma, Souza et al. (2003) obtiveram variação de 3,27 a 3,76 glomerosporos g⁻¹ de solo no período seco e de 1,58 a 1,82 glomerosporos g⁻¹ de solo no período chuvoso, em Piranhas, Alagoas. Essas diferenças no número de glomerosporos podem refletir as variações de pluviosidade dos períodos seco e chuvoso de cada estudo. Silva et al (2014) concluíram em sua pesquisa relacionando diversidade de FMA, sazonalidade, diversidade vegetal e parâmetros do solo que a estação seca é o período de maior produção de esporos de AMF, pois a disponibilidade de água do solo desempenha um papel importante na relação da planta-FMA, ou seja, em termos de composição e funcionamento, além de dizer da forte relação entre a vegetação e os parâmetros do solo influenciarem na produção de glomerosporos.

O teor de COS * 1,725 = MOS (**Tabela 4**) sofreu influência da sazonalidade, onde a rizosfera das espécies estudadas, bem como do solo da área degradada, apresentaram diferença significativamente maior durante a estação seca, sendo que o maior valor foi de 1,43 g kg⁻¹ para a espécie leguminosa catingueira, seguindo-se da espécie não leguminosa Pereiro com valor 1,34 g kg⁻¹ significando dizer que maiores valores de Carbono durante a estação seca de acordo com Davidson e Janssens (2006), podem ser causados devido a redução da disponibilidade de água no solo. A diminuição ou ausência de umidade pode inibir a difusão de enzimas extracelulares e dos substratos orgânicos solúveis de C, reduzindo as reações biológicas de decomposição, bem como a falta de umidade pode controlar a biomassa das populações de microrganismos decompositores, diminuindo sua atividade (BLANKSHIP et al., 2011). Sendo importante salientar que este incremento de C no solo não deve ser tomado como definitivo e sim como um estoque passível a rápida mudança.

Outra importante associação no solo que contribui para o armazenamento e estocagem de C, é a associação de fungos com raízes vegetais. Uma proteína que está diretamente ligada ao teor de C do solo é a glomalina, que é produzida pelos mais diversos fungos, onde a mesma apresenta função de estabilizar partículas do solo, protegendo a MOS.

Os valores de Glomalina Total – GT não apresentaram diferenças entre as estações e nem entre as espécies, porém, os valores da Glomalina Facilmente Extraível - GFE permitiram supor que a mesma foi sintetizada em maior quantidade durante o período chuvoso, possivelmente pela facilidade do fornecimento de energia, alimento e reações bioquímicas, permitindo que esta proteína esteja em destaque e que a mesma atua na agregação do solo,

sendo a proteína mais produzida pelos FMA's durante seu processo de simbiose (NOBRE, 2015). (Gráficos 2 e 3)

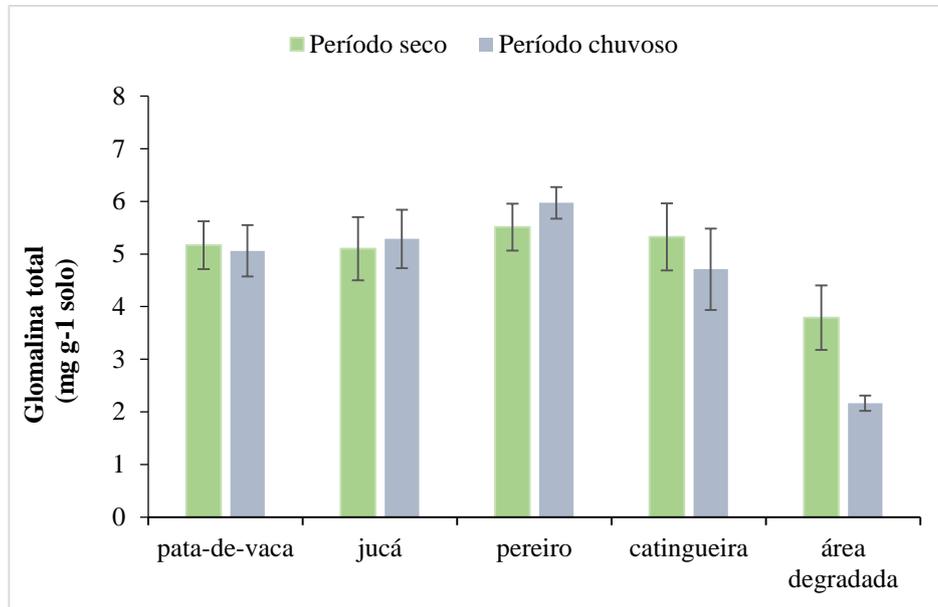


Gráfico 2. Glomalina Total do Solo

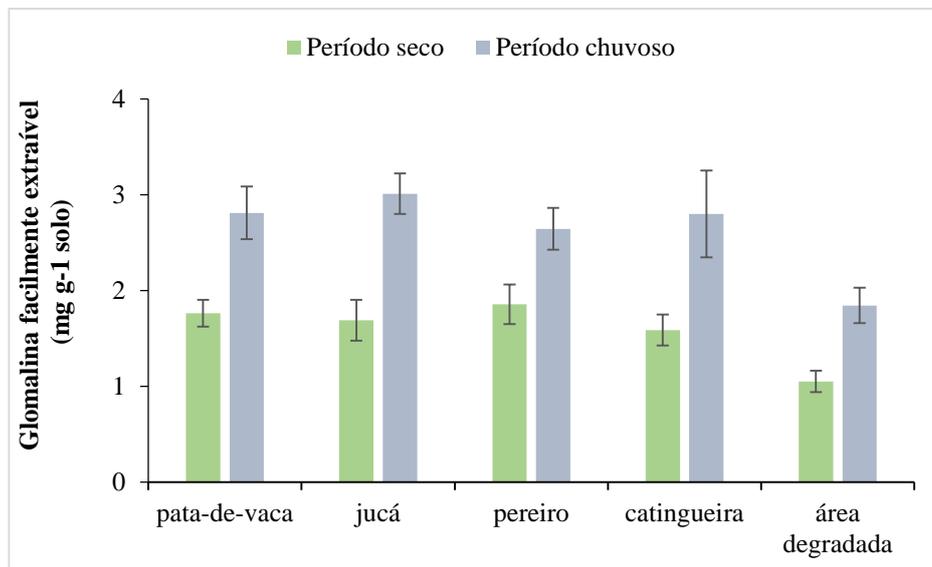


Gráfico 3. Glomalina Facilmente Extraível do Solo

Em estudo realizado na mesma área, valores dessa proteína em sua fração extraível foram encontrados por Gonçalves (2019) durante a estação seca. O autor justifica que essa

maior produção na época seca, seria uma estratégia, onde é possível que essas frações proteicas e hidrofóbicas sejam produzidas para aumentar a proteção de hifas frente a processos de dessecação (BARTO et al., 2010; PENG et al., 2013).

Já em resultados de Mergulhão (2006) o mesmo registrou as maiores concentrações de GFE no período chuvoso na área de catinga nativa e o inverso ocorreu na área de interface entre o depósito de rejeito e uma área de caatinga degradada pela mineração. Sugerindo que o período chuvoso propiciou a formação de raízes novas, necessárias para a proliferação de FMA e, conseqüentemente, maior concentração de GFE no solo. Assim como a presença dessa proteína na área controle (AD) a maior concentração de GFE na área de pasto, já que a vegetação dominante presente nesta área é a gramínea que contribui com uma grande quantidade de raízes, principalmente quando são estimuladas pela água das chuvas no solo e principalmente por terem seu sistema radicular renovado constantemente.

Os cátions básicos sofreram influência da sazonalidade, com destaque a estação seca, que apresentou teores de K^+ superiores para todas as espécies, com maior teor em rizosfera de Jucá. Ainda na estação seca, o Ca^{2+} e Na^+ se mostraram mais responsivos, com destaque a Pata de Vaca, no entanto, esta espécie durante a estação chuvosa foi a que apresentou menor teor de Na^+ . O Mg^{2+} apresentou diferença significativa apenas para a espécie não leguminosa (Tabela 5).

Tabela 5. Teores Potássio (K^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Sódio (Na^+) de quatro ambientes rizosféricos e da área controle (área degradada) em duas estações do ano distintas

Parâmetros	Estação	Área/espécies vegetais				
		AD	Catingueira	Jucá	Pata Vaca	Pereiro
K ($cmol_c kg^{-1}$)	Chuvosa	0,48±0,07 ^{Aa}	0,46±0,25 ^{Ba}	0,54±0,14 ^{Ba}	0,33±0,15 ^{Ba}	0,33±0,06 ^{Ba}
	Seca	0,01±0,00 ^{Ac}	1,72±0,56 ^{Ab}	2,38±0,39 ^{Aa}	1,84±0,44 ^{Aab}	1,28±0,50 ^{Ab}
Ca ($cmol_c kg^{-1}$)	Chuvosa	0,49±0,03 ^{Aa}	0,92±0,47 ^{Aa}	1,00±0,40 ^{Aa}	0,89±0,10 ^{Ba}	0,83±0,13 ^{Aa}
	Seca	0,92±0,12 ^{Aa}	1,29±0,49 ^{Aa}	1,35±0,35 ^{Aa}	1,45±0,35 ^{Aa}	1,14±0,65 ^{Aa}
Mg ($cmol_c kg^{-1}$)	Chuvosa	0,43±0,05 ^{Aa}	0,57±0,31 ^{Aa}	0,59±0,15 ^{Aa}	0,58±0,18 ^{Aa}	0,61±0,27 ^{Ba}
	Seca	0,64±0,29 ^{Aa}	0,80±0,18 ^{Aa}	0,72±0,14 ^{Aa}	0,68±0,10 ^{Aa}	0,96±0,13 ^{Aa}
Na ($cmol_c kg^{-1}$)	Chuvosa	0,03±0,01 ^{Bb}	0,12±0,04 ^{Aa}	0,14±0,03 ^{Aa}	0,02±0,00 ^{Bb}	0,12±0,01 ^{Aa}
	Seca	0,11±0,02 ^{Aa}	0,15±0,04 ^{Aa}	0,10±0,02 ^{Aa}	0,13±0,03 ^{Aa}	0,11±0,05 ^{Aa}

Valores são média ± desvio padrão; médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey e t, respectivamente, em até 5% de probabilidade

As espécies da caatinga dentre as diversas adaptações que possuem frente as condições áridas da região, pode-se destacar o sistema radicular, onde em sua grande maioria as raízes são profundas e grossas, em busca de água. Desse modo, uma maior concentração de bases trocáveis durante a estação seca, possivelmente se trate das diferentes composições florísticas, com presença de espécies com demandas nutricionais distintas, resultando em absorção, translocação e deposição ao solo diferenciadas. Rossatto et al. (2013) encontraram resultados diferentes dos observados no presente estudo, com as maiores concentrações observadas na época chuvosa, para K, Ca, Mg.

Em casos isolados como os mencionados sobre os teores de Mg^{2+} em relação a espécie não leguminosa, de acordo com a variação da eficiência de utilização dos nutrientes pelas plantas pode ser atribuída às características genéticas intrínsecas de cada espécie, a não obtenção do equilíbrio nutricional entre solo, planta e todos os nutrientes e, por fim, às relações hídricas. Dessa forma, o uso de plantas mais eficientes na utilização nutricional e cujo ciclo de crescimento seja longo o suficiente para permitir a máxima eficiência da ciclagem desses nutrientes, pode acarretar em uma maior conservação do ecossistema (SANTANA, BARROS e NEVES, 2002).

Os cátions básicos (Cálcio, Magnésio, Potássio, Sódio e Alumínio) formam a CTC efetiva (t) e também a potencial (T) que neste caso os íons Al^{3+} não entram no cálculo de soma. Para a CTC (t), de acordo com a (Tabela 6) notou-se influencia sazonal, onde os teores foram maiores durante a estação seca, para todas as espécies e também para AD, que mesmo sofrendo influência da estação seca, apresentou os menores teores em relação as demais espécies.

Tabela 6. Capacidade de troca catiônica – CTC efetiva (t) e CTC potencial á pH 7 (T) de quatro ambientes rizosféricos e da área controle (área degradada) em duas estações do ano distintas.

Parâmetros	Estação	Área/espécies vegetais				
		AD	Catingueira	Jucá	Pata Vaca	Pereiro
CTC efetiva (t) (cmol _c kg ⁻¹)	Chuvosa	1,53±0,16 ^{Ba}	2,43±0,99 ^{Ba}	2,36±0,45 ^{Ba}	1,99±0,33 ^{Ba}	2,09±0,36 ^{Ba}
	Seca	3,14±1,33 ^{Ab}	5,94±0,67 ^{Aa}	6,61±0,92 ^{Aa}	6,00±0,69 ^{Aa}	6,08±0,69 ^{Aa}
CTC a pH 7 (T) (cmol _c kg ⁻¹)	Chuvosa	3,60±0,23 ^{Ab}	7,46±1,94 ^{Aa}	7,66±1,98 ^{Aa}	6,96±1,85 ^{Aa}	6,59±1,20 ^{Aab}
	Seca	3,85±0,29 ^{Ab}	7,85±1,36 ^{Aa}	8,11±0,55 ^{Aa}	7,56±1,02 ^{Aa}	7,25±1,36 ^{Aa}

Sat. Bases (V%)	Chuvosa	45,29±7,40 Aa	31,89±12,04 Aa	32,61±7,28 Ba	27,70±9,06 Ba	29,14±6,07 Aa
	Seca	27,18±3,28 Bb	39,49±8,07 Aab	47,06±7,30 Aa	45,32±7,02 Aab	34,03±10,24 Aab
Sat. Al (m%)	Chuvosa	5,93±5,92 Ba	15,35±15,20 Aa	4,21±2,73 Ba	8,95±3,63 Ba	10,13±8,09 Ba
	Seca	37,25±32,96 Aa	32,44±20,74 Aa	31,01±13,22 Aa	36,51±9,20 Aa	42,37±15,64 Aa
Soma de Bases (cmolc kg ¹)	Chuvosa	1,43±0,06 Aa	2,07±0,85 Ba	2,27±0,48 Ba	1,82±0,34 Ba	1,89±0,44 Ba
	Seca	1,68±0,18 Ab	3,96±1,22 Aa	4,54±0,76 Aa	4,11±0,67 Aa	3,50±1,02 Aa
PST (%)	Chuvosa	13,67±1,65 Ba	12,71±7,18 Aa	13,56±5,27 Aa	13,39±3,23 Ba	12,70±1,19 Aa
	Seca	23,81±2,77 Aa	15,95±3,81 Aa	16,50±3,46 Aa	19,28±4,66 Aa	15,24±6,20 Aa

Valores são média ± desvio padrão; médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey e t, respectivamente, em até 5% de probabilidade

A CTC (T), em AD apresentou os menores teores para ambos os períodos, quando comparado as espécies leguminosas, com exceção da não leguminosa pereiro durante a estação chuvosa, se mostrando dessa forma uma alternativa eficiente para manutenção da fertilidade natural e também fornecer os nutrientes necessários ao solo, de acordo com suas especificidades.

A saturação de bases (V%) apresentou valor inferior a 50%, que de acordo com manual da Embrapa (2013) significa dizer que se trata de um solo com caráter distrófico. Possivelmente durante a estação chuvosa os solos em estudo sofreram forte influência dos processos de lixiviação e hidrólise, sofrendo maiores perdas e conseqüentemente apresentando menores teores quando comparado a estação seca, com destaque para as rizosferas de jucá e pata de vaca, sendo jucá, a espécie que mais se destacou.

A saturação de alumínio (m%) apresentou porcentagem superior durante a estação seca para todas as espécies, com exceção de catingueira, esta não apresentou diferença entre as estações. Entre as espécies, o solo rizosférico da espécie não leguminosa, pereiro foi a que apresentou maior porcentagem de m%. A soma de bases (SB) apresentou valores superiores durante a estação seca para todas as espécies, exceto para área controle.

Os valores de SB para estação chuvosa foram inferiores para todas as espécies, exceto para AD que não teve variação alguma. Segundo KLEIN (2010) e GRIGOLON, (2013), a

textura do solo, principalmente o teor de argila, define em boa parte a distribuição do diâmetro dos poros do solo, determinando assim a área de contato entre as partículas sólidas e a água, sendo por isso responsável pela força de retenção de água dos solos, pois tem influência direta na taxa de infiltração de água, na aeração e na capacidade de retenção de água (ARAÚJO et al., 2003). O solo em questão trata-se de um neossolo litólico de caráter distrófico e arenoso, desse modo, de acordo com o intenso nível de chuvas do período chuvoso durante o mês de julho, as bases trocáveis foram “perdidas”, acumulando-se em maiores teores na estação seca.

Santos et al (2012) em caracterização física, química e mineralógica em solos semiáridos de Pernambuco, obteve resultados de SB para cinco perfis de Neossolos Regolíticos variando entre 1,1 até 3,7 cmolc kg⁻¹. Se assemelhando ao da presente pesquisa. Os baixos teores dos cátions trocáveis estão relacionados à natureza do material de origem e à constituição essencialmente arenosa desses solos, que em comparação aos solos com maior teor de argila adsorvem com maior eficiência as bases trocáveis. A aplicação de grandes quantidades de nutrientes por meio dos resíduos vegetais das diferentes espécies demonstra a capacidade dos resíduos de disponibilizarem nutrientes para o solo. Desse modo, a decomposição desses resíduos deve ser considerada um importante processo de entrada de nutrientes para o solo, pois, resulta da mineralização dos elementos dos tecidos das plantas (PAVINATO & ROSOLEM, 2008).

Para a percentagem de sódio (PST) dentre as espécies, a pata de vaca foi a que apresentou diferença significativa, com maiores teores na estação seca. A área controle também apresentou diferença, com maior percentagem também na estação seca, que provavelmente pela intensa evapotranspiração e evaporação se houve um acúmulo maior nestes ambientes, a considerar também a posição do relevo, que talvez tenha contribuído para este acúmulo. Santos (2012) realizando a caracterização química, física e mineralógica de solos no semiárido de Pernambuco, obteve resultados semelhantes ao de nossa pesquisa, o autor obteve valores de sódio trocável (N⁺) variando entre 0,05 e 0,43 cmolc kg⁻¹ e percentuais de sódio trocável (PST) relativamente altos, chegando até 34% no perfil de solo e nas camadas mais profundas variação de 10 á 14%. O autor justifica os resultados obtidos dizendo que esse caráter solódico não se apresenta como limitação devido ao baixo teor de argila dos horizontes, desse modo torna-se facilmente lixiviável em épocas chuvosas, diminuindo o teor de saturação. (SANTOS, 2012).

Assim como as variáveis químicas acima discutidas, as variáveis biológicas como a respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) e o quociente metabólico do solo (qCO₂) são o ponto chave da relação entre a química do solo e a biologia,

pois juntos envolvem os processos bioquímicos e permitem o entendimento do funcionamento das relações ecológicas. A tabela 7 apresenta valores destas variáveis, em que a RBS sofreu influência sazonal para a leguminosa pata de vaca e a não leguminosa pereiro, ambas com maiores teores durante a estação chuvosa e entre as espécies, a espécie jucá foi a apresentou alta taxa de RBS. Os valores de CBMS também sofreram influência da estação chuvosa, com destaque as espécies de catingueira e pereiro. Em relação ao qCO_2 não houve variação, porém vale destacar os valores mais baixos dessa variável durante a estação seca para a espécie pata de vaca, porém permaneceu invariável em relação aos níveis de CBMS em ambas as estações, recebendo destaque como uma planta destaque para manutenção da fertilidade natural, pois houve uma relação de equilíbrio entre RBS e CBMS.

Tabela 7. Parâmetros biológicos de Respiração Basal do Solo – RBS, Carbono da Biomassa Microbiana do Solo – CBMS e Quociente Metabólico – qCO_2 de quatro ambientes rizosféricos e de uma área controle (área degradada) em duas estações do ano distintas.

Parâmetros	Estação	Área/espécies vegetais				
		AD	Catingueira	Jucá	Pata Vaca	Pereiro
RBS (mg C m ⁻² kg solo)	Chuvosa	0,333±0,12 ^{Ab}	0,736±0,20 ^{Aab}	0,772±0,16 ^{Aa}	0,602±0,17 ^{Aab}	0,752±0,24 ^{Aab}
	Seca	0,413±0,09 ^{Aa}	0,454±0,14 ^{Aa}	0,500±0,22 ^{Aa}	0,240±0,25 ^{Ba}	0,364±0,19 ^{Ba}
CBMS (mg C m ⁻² kg solo)	Chuvosa	37,86±3,71 ^{Aab}	45,41±8,71 ^{Aab}	34,22±4,43 ^{Ab}	30,19±13,90 ^{Ab}	56,51±20,56 ^{Aa}
	Seca	16,30±1,38 ^{Ba}	23,43±8,76 ^{Ba}	23,99±6,39 ^{Aa}	25,25±1,10 ^{Aa}	18,58±5,53 ^{Ba}
qCO_2	Chuvosa	0,010±0,00 ^{Aa}	0,014±0,01 ^{Aa}	0,024±0,01 ^{Aa}	0,022±0,02 ^{Aa}	0,014±0,01 ^{Aa}
	Seca	0,023±0,01 ^{Aa}	0,022±0,00 ^{Aa}	0,023±0,02 ^{Aa}	0,010±0,01 ^{Aa}	0,022±0,02 ^{Aa}

Valores são média ± desvio padrão; médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey e t, respectivamente, em até 5% de probabilidade

De acordo com os valores de RBS é importante salientar que, uma alta ou baixa taxa de respiração do solo pode ser interpretada como sendo positiva ou negativa, considerando a finalidade dos resíduos vegetais, podendo indicar distúrbios ou produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000). Uma elevada taxa de RBS pode ser considerada positiva quando a finalidade da decomposição da MOS é disponibilidade de nutrientes para as culturas. Por outro lado, a elevada taxa de RBS pode indicar a decomposição de partes mais estáveis da MOS, comprometendo dessa forma processos químicos, físicos desempenhados pela MOS (agregação, capacidade de troca catiônica, retenção de água) acarretando na perda de nutrientes (JÚNIOR e MENDES, 2007). Para o presente trabalho a taxa de RBS foi considerada positiva pois a decomposição da MOS em sistema aberto de mata nativa permite que a ciclagem de

nutrientes aconteça, permitindo a manutenção do meio e das espécies tanto vegetais quanto microbiológicas.

No que tange a variável biológica CBMS, em estudos feitos por Leptcha e Devi (2020) os resultados de CBMS entre as estações apresentaram maiores valores para essa variável durante a estação chuvosa. Para os autores, a variação sazonal é um indicador de imobilização e mineralização do carbono do solo, e um aumento na biomassa microbiana do solo indica imobilização, enquanto uma diminuição denota a mineralização dos nutrientes (YANG et al, 2010). Para Júnior e Mendes (2007) uma biomassa microbiana eficiente, seria a que menor perdesse C através da respiração e a que incorporasse mais C aos tecidos microbianos. Já para as amostras que apresentassem biomassa semelhantes/iguais, a eficiência seria avaliada pelo menor coeficiente qCO_2 . Dentre as espécies estudadas, as que menor apresentaram taxa RBS e qCO_2 foram: pata de vaca e pereiro na estação seca, sendo desse modo, as plantas mais indicadas na manutenção de ecossistemas nativos, para essa variável. A elevada fonte de C da biomassa, de acordo com Carneiro et al (2008) acontece pelos processos de rizodeposição e decomposição da fitomassa, que ocorrem intensamente nas espécies vegetais.

Plotando-se o CP2 em relação ao CP1, podemos observar, simultaneamente, as correlações entre as variáveis originais e os PCs (**Figura 8**). As correlações com o PC1 são plotadas no eixo horizontal; as correlações com o PC2 são plotadas no eixo vertical. Também podemos observar a relação de cada CP com os fatores em estudo. O CP1 separa as estações seca e chuvosa, independentemente das espécies vegetais, indicando que o efeito do fator 'estação do ano' se sobressai em relação ao efeito do fator 'espécies vegetais' quando foi avaliada a variação na qualidade química e biológica do solo. A maior influência da estação do ano sobre a qualidade química e biológica do solo pode ser justificada porque as reações físicas, químicas e biológicas que ocorrem nos solos, bem como as interações entre as propriedades bio-físico-químicas do solo e as plantas, dependem da presença de água no solo para se estabelecerem (LI et al., 2020).

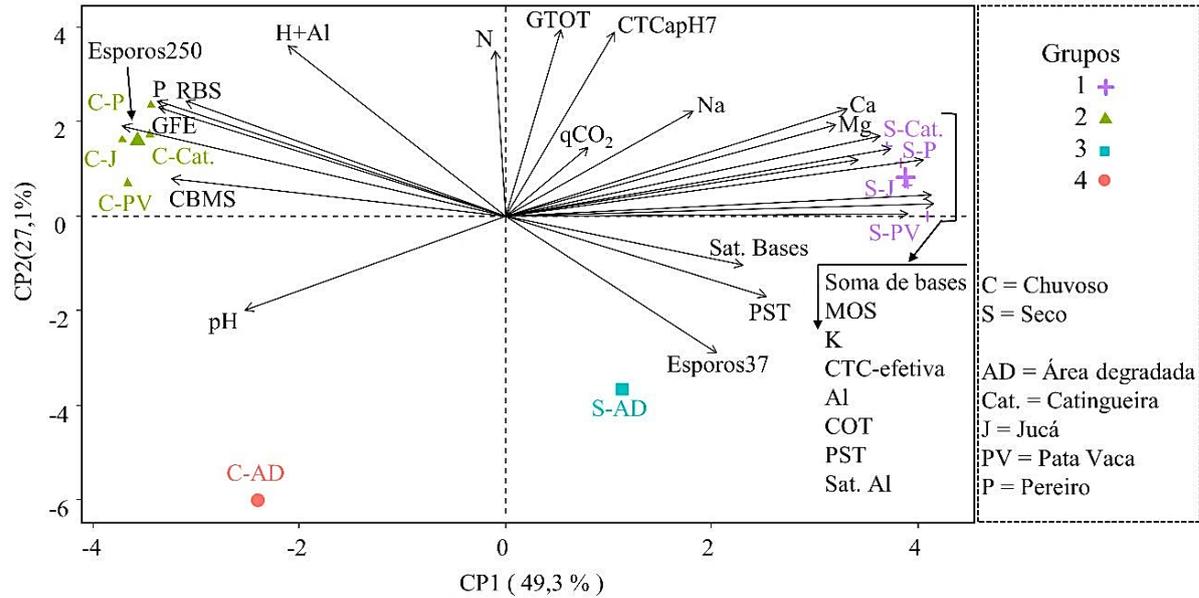


Figura 8. Biplot para os escores das propriedades de fertilidade e qualidade biológica do solo

Variáveis com valores elevados em CP1, negativos ou positivos, foram mais responsivas aos eventos sazonais de precipitação e seca. A disponibilidade de água na estação chuvosa pode ter favorecido a atividade enzimática do solo, de enzimas como α -glucosidase, β -D-celubiosidase, β -xilosidase, β -1,4-N-acetilglucosaminidase (LI et al., 2020), bem como a atividade microbiana (SILVA et al., 2019), influenciando a disponibilidade dos nutrientes. Por sua vez, variáveis com valores de correlação baixos com o CP1, como é o caso do N, foram insensíveis às diferenças entre os eventos sazonais de precipitação e, em vez disso, acumularam-se ao longo do tempo (ESPINOSA et al., 2020).

É importante mencionar que a AD, tanto na estação seca quanto na estação chuvosa, se apresentou em grupos separados de áreas com espécies vegetais (Figura 8). Este resultado demonstra que, apesar do maior efeito da estação do ano sobre as mudanças na qualidade do solo, a presença de espécies vegetais arbóreas nativas é de fundamental importância na manutenção/equilíbrio da fertilidade do solo, incluindo atributos químicos e biológicos (SATTLE et al., 2019; SILVA et al., 2019).

O grupo G1 apresentou escore positivo e elevado no CP1, indicando valores elevados de Ca, Mg, K, Al, CTC efetiva, Saturação por Al, Soma de bases, PST, MOS e COT e valores baixos de P, RBS, CBMS, Esporos 250 e GFE na rizosfera das espécies vegetais durante a estação seca. Por outro lado, o grupo G2 apresentou escore negativo e elevado no CP1, indicando valores elevados de H+Al, CTC a pH 7, N e GTOT e baixos níveis de Esporos 37 na rizosfera das espécies vegetais durante a estação chuvosa.

Os resultados aqui observados sugerem que em ambas estações as espécies estudadas são promissoras para uso na recuperação da qualidade do solo, independentemente das variações relacionadas com a precipitação já que se tratam de espécies vegetais nativas e estas são bem adaptadas às condições ambientais locais, principalmente aos longos períodos de seca que ocorrem em algumas regiões do Brasil. Dessa forma, são espécies mais indicadas para integrar medidas de combate à degradação do solo e restauração de áreas degradadas (SATTLEER et al., 2019).

5. Conclusões

De acordo com os resultados obtidos, os teores de N, P e C dos três ambientes distintos (rizosfera de espécies leguminosas x rizosfera de espécie não leguminosa x Área de pastagem degradada) em duas estações do ano, foram responsivos na estação chuvosa para N e P na espécie leguminosa Catingueira. Já para o nutriente C, este se mostrou mais responsivo durante a estação seca, com destaque também a espécie Catingueira.

No que tange a verificar através dos teores de Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e Respiração Basal do Solo (RBS) a resposta das espécies com a sazonalidade em relação a área degradada, a que melhor apresentou teores dessas variáveis foi pata de vaca e pereiro durante a estação seca. Para a variável CBMS o maior teor foi da espécie não leguminosa pereiro, durante a estação chuvosa.

Para os três ambientes avaliados, foram mais responsivos para catingueira e jucá na estação seca para os níveis de glomalina facilmente extraível. Para os níveis de glomalina total a espécie não leguminosa pereiro foi a que mais se destacou para ambas as estações. O quantitativo de glomerosporos foi maior para a AD na estação chuvosa e para pata de vaca na estação seca.

Diante dos resultados obtidos, aponta-se as espécies pata de vaca (*Bauhinia forficata*) e pereiro (*Aspidosperma pyriformium*) como espécies a serem consideradas na manutenção da fertilidade e possível uso na recuperação de áreas com índices de degradação para a classe de solo Neossolo Litólico. No entanto, estudos mais específicos sobre as propriedades bioquímicas destas espécies são necessários.

6. Referências

- AB'SABER, A. N. Os domínios de Natureza do Brasil. São Paulo, Ateliê Editorial, 4ªed. p.154. 2003
- ALBUQUERQUE, S. G; BANDEIRA, G. R. L. Effect of thinning and slashing on forage phytomass from a caatinga of Petrolina, Pernambuco, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 30: 885-891. 1995
- ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5.Aproximação. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. p.26-2
- ALVES, J. J. A. Geocologia da caatinga no Semi-Árido do Nordeste brasileiro. *Climatologia e Estudos da Paisagem*, Rio Claro, v. 02, n. 01, p. 58, 2007.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.1, p.179-189, 2000.
Ambiente, Seropédica, v. 22, n. 1, p. 42-49, 2015.
- AMORIM, L.D.M. Fabaceae Lindl. da Floresta nacional de Assú, semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Natal. 2014
- ANDERSON, TH; DOMSCH, K. H. THE METABOLIC QUOTIENT FOR CO₂ (qC₀₂) AS A SPECIFIC ACTIVITY PARAMETER TO ASSESS THE EFFECTS OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS, SUCH AS pH, ON THE MICROBIAL BIOMASS OF FOREST SOILS. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 25, No. 3, pp. 393-395, 2000
- ANDRADE, A. P. et al., Produção animal no semiárido: o desafio de disponibilizar forragem, em quantidade e com qualidade, na estação seca. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*, v. 4, n. 4, p.01-14, 2010.
- ANDRADE, L.A.; PEREIRA, I.M.; DORNELAS, G.V. Análise da vegetação arbóreo-arbustiva espontânea, ocorrente em taludes íngremes no município de Areia - estado da Paraíba. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.2, p. 165-172, 2002.
- ARAÚJO FILHO, J. A. Avaliação de leguminosas arbóreas para recuperação de solos e repovoamento em áreas degradadas, Irauçuba - CE. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Cruz Alta, v. 2, n. 2, p. 1698- 1701, 2007.
- ARAÚJO, F. S.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V.; MARTINS, F. R. Repartição da flora lenhosa no domínio da Caatinga. In: ARAÚJO, F. S.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V. (orgs.). Análise das variações da biodiversidade do Bioma Caatinga. Suporte a estratégias regionais de conservação. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente, p. 15-33, 2005.
- ATTIWILL, P. M.; ADAMS, M. A. Nutrient cycling in forests. *New Phytologist*, 1993.

AUSTIN, A., VIVANCO, L. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. *Nature* **442**, 555–558 (2006).

BARBOSA, M. A. S. Potencial de Mineralização de Carbono e Nitrogênio no Semiárido Paraibano. 44f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba. 2016.

BARROS, J. D. S. et al., ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO EM SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO, NOS TABULEIROS COSTEIROS PARAIBANOS. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 26, n. 1, p. 35-42, jan.-mar., 2013

BENNETT, E. M.; PETERSON, G. D.; GORDON, L. J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, Oxford, v. 12, p. 1394–1404, 2009.

BONFIM, J.A.; MATSUMOTO, S.N.; SANTOS, M.A.F.; ARAÚJO, G.S. Determinação da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol, no município de Vitória da Conquista. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Bahia, p.727-729, 2007.

BRADFORD, J.M. & PETERSON, G.A. Conservation tillage. In: SUMNER, M.E., ed. *Handbook of soil science*. Boca Raton, CRC Press, 2000. p.247-266.

BRASIL. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca/ PAN-Brasil. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, p. 214, 2004.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen-total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R. H. & KEENEY, D. R., eds. *Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties*. Madison, **Soil Science Society of America**, Part 2. p. 595-624, 1982.

CALDEIRA, M. V. W. et al., CRESCIMENTO DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS EM RESPOSTAS A INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES. *R. Ciência Florestal*, Santa Maria, v.7, n.1, p. 1-10, 1997.

CÂMARA, et al. Atributos morfológicos de Luvisolo no Núcleo de Desertificação de Cabrobó no estado de Pernambuco. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo – 35, Natal, RN. Anais (on-line), 2015.

CARDOSO, E. J. B. N.; TASAI, S. M.; NEVES, M. C. P., coord. *Microbiologia do solo*. Campinas, SBCS, 360p, 1992.

CARNEIRO, C.E.A.; JÚNIOR, N.J.M.; AZEVEDO, M.C.B.; ANDRADE, E.A.; KOGUSHI, M.C.; DIEHL, R.C.; RICCE, W; PASSARIN, A.L.; VAZ, R.H.M.; STELMACHUK, T.L.L.; GUIMARÃES, M.F. & RALISCH, R. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo Vermelho eutroférrico. *Semina*, 30:5-10, 2009

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F., PEREIRA, H.S. & AZEVEDO, W.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:147-157, 2009

CARVALHO, J. L. N. et al. POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO EM DIFERENTES BIOMAS DO BRASIL. *R. Bras. Ci. Solo*, v.34, p. 277-289, 2010

CARVALHO, J. N. Espécies nativas da caatinga para recuperação de áreas degradadas: prospecção, ecofisiologia da germinação e crescimento de plantas, f. 96. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2016.

CHAER, G. M. et al. Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. *Tree Physiology*, Oxford, v. 31, n. 2, p. 139 -149, 2011

CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 16 p 70-75. 2005

CÓRDULA, et al. CHECKLIST DA FLORA DE MIRANDIBA, PERNAMBUCO: LEGUMINOSAE. *Rodriguésia* v.59, p. 597-602. 2008

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, dezembro, 2004.

CORREA, R. M. et al., ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS SOB DIFERENTES USOS
CORRÊA, R.M.; FREIRE, M.B.G. dos S.; FERREIRA, R.L.C.; FREIRE, F.J.; PESSOA, L.G.M.; MIRANDA, M.A.; MELO, D.V.M. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol.33 n.2, p.305-314, 2009.

CORRÊA, R.M.; FREIRE, M.B.G. dos S.; FERREIRA, R.L.C.; FREIRE, F.J.; PESSOA, CORREIA, K. G. et al. Atividade Microbiana E Matéria Orgânica Leve Em Áreas De Caatinga De Diferentes Estágios Sucessionais No Semiárido Paraibano. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 196 –202, jan. –mar., 2015

COSTA, C. R. G. da. DINÂMICA TEMPORAL DO EFLUXO DE CO₂ E PRODUÇÃO DE GLOMALINA EM ÁREA DE CAATINGA SOB NEOSSOLO LITÓLICO. 83 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2019.

CUNHA, G. O. de M. et al. Formas de Alumínio em Solos Ácidos Brasileiros com Teores Excepcionalmente Altos de Al³⁺ Extraível com KCl. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 39, n. 5, p. 1362-1377, Oct. 2015

DAKER, A. 1988. A água na agricultura: Irrigação e drenagem. 7 ed. Rio de Janeiro, RJ: Freitas Bastos, 543p.

DANIEL, O.; PASSOS, C. A. M.; COUT, L. Sistemas agroflorestais silvipastoris e agrissilvipastoris) na região Centro-Oeste do Brasil: Potencialidades, estado atual da pesquisa e da adoção de tecnologia. In: Simpósio Internacional sobre Sistemas Agroflorestais Pecuários na América do Sul. 18-20 de setembro de 2000.

DE FARIAS, Daise Ribeiro et al. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba: II-Disponibilidade de fósforo para plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 633-646, 2009.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos Requeridos á Nutrição das Plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 991p. 2007.

DE-POLLI, H; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília: Embrapa-SCT**, p. 17-28, 2005.

DIAS, M. A. F. S. Efeito Estufa e mudanças climáticas regionais. *Revista Usp*, São Paulo, n.71, p. 44-51, set/nov, 2006.

DIONÍSIO, et al. Guia prático de biologia do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Curitiba, PR, 2016.

DOI, R.; RANAMUKHAARACHCHI, S. L. Soil dehydrogenase in a land degradation rehabilitation gradient: observations from a savana site with a wet/dry seasonal cycle; *Revista Biologia Tropical*, v. 57, p.223-234. 2009

DONAGEMMA et al. Manual de métodos de análise de solo (2 ed.), Embrapa Solos, Rio de Janeiro - RJ, p. 230, 2011

DONAGEMMA, G.K. et al. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. *Rev. Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1003-1020, set. 2016
Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. Revista Manejo de Água e Solo • Rev. bras. eng. agríc. ambient. 7 (3) • Dez 2003
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000300008>

Embrapa (Empresa de Pesquisa Brasileira e Agropecuária), Boletim de Pesquisa e desenvolvimento. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais / Carlos Cesar Ronquim. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

EMBRAPA (Empresa de Pesquisa Brasileira e Agropecuária), Boletim de pesquisa e Desenvolvimento. Nitrificação e Mineralização de Carbono em Solos Tratados com Dejetos de Suínos Biodigeridos, 2011.

EMBRAPA (Empresa de Pesquisa Brasileira e Agropecuária), Boletim técnico: Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais, 2015.

EMBRAPA (Empresa de Pesquisa Brasileira e Agropecuária), Manual de curadores de germoplasma – microrganismos: Fungos Micorrízicos Arbusculares, 2011

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Agropecuária (2010). Boletim de pesquisa e Desenvolvimento 61. Espacialização da Porcentagem de Sódio trocável no solo do perímetro irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco. Sergipe, 17p.

ERNANI, P.R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. Lages: Edição do autor; 2008

ESLAMINEJAD, P., Heydari, M., Kakhki, F.V. *et al.* Espécies vegetais e estação influenciam propriedades físico-químicas do solo e função microbiana em um ecossistema de florestas semiáridas. *Solo Vegetal* **456**, 43-59 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04691-1>

ESPINOSA, N. J., MOORE, D. J., RASMUSSEN, C., FEHMI, J. S., & GALLERY, R. E. Woodchip and biochar amendments differentially influence microbial responses, but do not

enhance plant recovery in disturbed semiarid soils. **Restoration Ecology**, v. 28, p. S381-S392, 2020.

FRACETTO, Felipe José Cury et al. . Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na Caatinga. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 36, n. 5, p. 1545-1552, Nov. 2012

FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 34:2045-2058, 2003.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Manejo nutricional integrado na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade dos sistemas produtivos utilizando a FBN como fonte de nitrogênio. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia. Cap. 8, p. 201-220. 2005

FRANCO, A.A.; RESENDE, A.S.; CAMPELLO, E.F.C. Importância das Leguminosas Arbóreas na Recuperação de Áreas Degradadas e na Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais. 24p. 2012. Disponível em: <http://saf.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/15.pdf>>. Acesso: 1 abr. 2020.

GALVÃO, S.R.S.; SALCEDO, I.H. & SANTOS, A.C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:955-962, 2005.

GEBREWAHID, Y., Teka, K., GEBRE-EGZIABHIER, TB. *et al.* Árvores dispersas em pequenas propriedades aumentam a fertilidade do solo no semi-árido da Etiópia. *Ecol Process* **8**, 38 (2019). <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0190-8>

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Sporos of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, Cambridge, v.46, n. 2, p. 235-244, 1963.

GIULIETTI, A. M. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação, 2004.

GOMES, J.M.; PEREIRA, M.G.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; PEREIRA, G.H.A. GONDIM, F.R.; SILVA, E.M.R. Aporte de serrapilheira e de nutrientes em fragmentos florestais da mata atlântica, Rio de Janeiro, 2007

GRIS, D.; TEMPONI, L. G.; MARCON, T. R. Native species indicated for degraded area recovery in Western Paraná, Brazil. *Revista Árvore*, Viçosa, v.36, n.1, p. 113-125, 2012.

GULDBERG, O. H; BRUNO, J. F. The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystems. *Science*, v. 328, p. 1523-1528, 2010

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W. & BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. *Austr. J. Soil Res.*, 43:189-202, 2005.

HAGHVERDI K. KOOCH, Y. Effects of diversity of tree species on nutrient cycling and soil-related processes. *CATENA*, Vol. 178, p. 335-344, ISSN 0341-8162, 2019.

HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R, S. Coleta de nódulos e isolamento de rizóbio. In: HUNGRIA, M; ARAUJO, R, S. Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, 1994.

International Culture Collection of Arbuscular & Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM). West Virgínia University. Acesso: 02 de Dezembro de 2020. Disponível em: <https://invam.wvu.edu/methods/mycorrhizae/staining-roots>

IQBAL J, Hu R, Feng M, Lin S, Malghani S, Ali IM. Microbial biomass, and dissolved organic carbon and nitrogen strongly affect soil respiration in different land uses: a case study at Three Gorges Reservoir Area, South China. *Agric Ecosyst Environ* 137:294–307, 2010.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTE, A. C.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. Levantamento exploratório – Reconhecimento de solos do Estado de Alagoas. Recife: Centro de Pesquisa Pedológicas - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Ministério da Agricultura. 531 p. Boletim técnico, no. 35. 1975.

JARAMILLO, V. J. et al. Biomass, Carbon, and Nitrogen Pools in Mexican Tropical Dry Forest Landscapes. *Ecosystems*, v. 6, n. 7, p.609-629, 1 nov. 2003.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Report*, v. 28, p.692, 1964.

Jesus, K. N.; Albuquerque, E. R. G. M.; Sampaio, E. S.; Sales, A. T. Estoques de carbono em solos de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.12, n.03 (2019) 714-721. 2019

JESUS, K.N. Estoques e dinâmica do carbono e nitrogênio em solos sob diferentes coberturas e usos de terra em Pernambuco, f. 112. Tese (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

KLEIN, V. A. Física do solo. Ed. Universidade de Passo Fundo. 3º edição, 2014.

KOIDE, R.T.; PEOPLES, M.S. Behaviour of Brad-ford-reactive substances is consistent with predic-tions for glomalin. *Applied Soil Ecology*, v. 63, n. 1, p. 8-14, 2013

LACERDA, R. M. de; LIRA FILHO, J. A. de; SANTOS, R. V. dos. Indicação de espécies de porte arbóreo para a arborização urbana no semi-árido paraibano. *REVSBAU*, Piracicaba – SP, v.6, n.1, p.51-68, 2011

LAMBAIS, M. R.; CROWLEY, D. E.; CURY, J.C.; BÜLL, R.C.; RODRIGUES, R. R. Diversidade Bacteriana em Copas de Árvores da Mata Atlântica. *Science*. Vol. 312, Edição 5782, 30 de Junho de 2006

LEAL, I. R.; VICENTE, A.; TABARELLI, M. Herbivoria por caprinos na caatinga da região de Xingó: uma análise preliminar. In: LEAL, I. R. & SILVA, J. M. C. (Edit.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife (PE): Ed. Universitária/UFPE, p. 695-715. 2005

LEPCHA, N.T., DEVI, N.B. Effect of land use, season, and soil depth on soil microbial biomass carbon of Eastern Himalayas. *Ecol Process* **9**, 65 (2020). <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00269-y>

LI, X.; HAN, S.; LUO, X. *et al.* Fungos micorrizais arbusculares e proteína do solo relacionada à glomalina impulsionam as distribuições de carbono e nitrogênio em grande escala. *J Soils Sediments* **20**, 963-972 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02421-4>

LI, X.; ZHANG, Y.; DING, C.; LIU, Y.; WU, K.; JIANG, F.; SU, D. Water addition promotes vegetation recovery of degraded alpine meadows by regulating soil enzyme activity and nutrients in the Qinghai–Tibetan Plateau. *Ecological Engineering*, v. 158, p. 106047, 2020.

LIMA, K. D. R. *et al.*, SELEÇÃO DE ESPÉCIES ARBÓREAS PARA REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR MINERAÇÃO DE PIÇARRA NA CAATINGA. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 203 – 213, jan. – mar., 2015

LIMA, R. L. F. Micorrizas arbusculares e absorção de fósforo em função da capacidade de fixação de fósforo do solo e da competição com a microbiota. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 03, p. 1062-1079, 2020.

LOVELOCK, C. E.; WRIGHT, S. F.; CLARK, D. A.; RUESS, R. W. Soil stocks of glomalina produced by arbuscular mycorrhizal fungal across a tropical rain forest landscape. *Journal of Ecology*, v. 92, n. 2, p. 278-287, 2004.

LUCENA, E. O, *et al.* Inventário da Biodiversidade do solo. In: DE SOUZA, T. A. F.; SANTOS, D. *Biologia dos solos da caatinga*. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2018.

LUIZÃO, F. J.; SCHUBART, H. O. R. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*, 1987

LUO, Y.; ZHOU, X. *Soil respiration and the environment*. Amsterdam: Elsevier, p.323, 2003

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. de F. F.; KLAUBERG. F.; OSMAR, S.; PIRES, J. C.; ALMEIDA, J. A. de.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. *Revista Árvore*, 32(2), 217-224. (2008).

MAIA, G. N. *Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades*. 1. ed. São Paulo: D & Z Computação Gráfica e Editora, p.413. 2004.

Manual técnico para a restauração de áreas degradadas no Estado do Rio de Janeiro / Luiz Fernando Duarte de Moraes [et al.] – Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, .84 p. 2013.

MARQUES, A. L, *et al.* Inventário Florístico da vegetação. In: SOUZA, T. A. F.; SANTOS, D. *Biologia dos solos da caatinga*. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2018

MEDEIROS, B. M. ATUALIZAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DO MAPA DE SOLOS DA PARAÍBA. f. 38. Monografia (Curso de Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, PB, 2017.

MEDEIROS, J. dos S. Formas de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba. *Rev. Ciênc. Agron.*, Fortaleza , v. 45, n. 2, p. 417-426, June 2014 . Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902014000200025&lng=en&nrm=iso. access on 02 Apr. 2021

- MEDEIROS, L. C, et al. Caracterização físico química de um neossolo litólico na região Seridó do RN. *Rev. agropecuária científica no semiárido*. V. 9, n. 4, p. 01-07, out - dez, 2013
- MEDEIROS, M. D. O. N. Comparação de métodos de extração de fósforo disponível em solos do semiárido, f. 47. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Manejo de Solo e água) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2020.
- MEENA, A., Rao, K.S. Avaliação da atividade microbiana do solo e enzima na zona da rizosfera sob diferente uso/cobertura da terra de uma região semiárida, Índia. **Process Ecological** v.10, art. 16 (2021).
- MELO, V. F. et al. Reserva Mineral do Solo. In: Química e Mineralogia do Solo. Ed. SBCS – Viçosa, MG. 2009
- MENDONÇA, E. S; MATOS, E. S. Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises, 2005.
- MERGULHÃO, A. et al. Glomalin Production and Microbial Activity in Soils Impacted by Gypsum Mining in a Brazilian Semiarid Area. 2015.
- MEURER, K.H.E., et al. Direct nitrous oxide (N₂O) fluxes from soils under different land use in Brazil - a critical review. **Rev. Environ. Res. Lett.**, v.11. p. 023001, 2016.
- MINASNY, B., et al. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, v.292, p.59–86. 2017
- Ministério Da Ciência Tecnologia e Inovação. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil Ministério Da Ciência, Tecnologia E Inovação (2013), p. 76
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). Uso sustentável e Conservação Dos Recursos Florestais Da Caatinga. Serviço Florestal Brasileiro-SFB. (2010)
- MOREIRA, F. L. M. et al., Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v.37, n.1, p.7-12, 2006.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 2006.
- MUNNS, R. The impact of salinity stress. *Plantstress*. Virtual article. Disponível em: http://www.plantstress.com/Articles/salinity_i/salinity_i.htm. Acesso em: 09/02/2021
- MUÑOZ-ROJAS M, Lewandrowski W, Erickson TE, Dixon KW, Merritt DJ. Soil respiration dynamics in fire affected semi-arid ecosystems: effects of vegetation type and environmental factors. *Sci Total ENVIRON* 572:1385–1394, 2016
- NOBRE, C. P. et al. Agregação, Glomalina e Carbono Orgânico na Chapada do Araripe, Ceará, Brasil. **Revista Caatinga**, vol. 28, núm. 1, jan-mar, pp. 138-147. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, Brasil, 2015.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, DPS, 1999.
- OLIVEIRA, F. A. T.; JARENKOV, J. A.; RODAL, M. J. N. Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution pattern.

In: PENNINGTON, R. T.; LEWIS, G. P.; RATTER, J. A. Neotropical savannas and seasonally dry forests. Boca Raton (EUA): CRC Press, p. 159-190, 2006.

OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R. et al. (Ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap.1, p.1-35.

OLIVEIRA, S. P. de et al. Organic Carbon and Nitrogen Stocks in Soils of Northeastern Brazil Converted to Irrigated Agriculture. *Land Degradation & Development*, v. 26, n. 1, p.9-21, jan. 2015.

OSAKI, F. Calagem e adubação. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 503 p. 1991.

PACHECO, M. R. P. S. e HELENE, M. E. M. Transcrições e notas: Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. *Estudos Avançados*, v.4, n.9, p. 204–220, 1990.

PAGANO, M. C. et al. Advances in Arbuscular Mycorrhizal Taxonomy. In: PAGANO, M. C. (Ed.) Recent Advances on Mycorrhizal Fungi. Cham: Springer International Publishing, p.15-21. 2016

PAULA, A. M. Micorrizas Arbusculares. In: Guia prático de Biologia do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Curitiba, PR, 2016.

PAVINATO, S. P.; ROSOLEM, C. A. DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES NO SOLO - DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS DE RESÍDUOS VEGETAIS. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:911-920, 2008

PENG, S.; GUO, T.; LIU, G. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. *Soil Biology Bio-chemistry*, v. 57, n. 2, p. 411–417, 2013.

PEREZ-MARIN, A. M. et al. Núcleos de desertificação do semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? *Parcerias Estratégicas*, v. 17, n. 34, p. 87-106, 2013.

PEREZ-MARIN, A. M.; MENEZES, R.S.C.; DIAS, E.M.; SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v.30, p.555-564, 2006

PERRONI-VENTURA, Y.; MONTAÑA, C. & GARCÍA-OLIVA, F. Carbon-nitrogen interactions in fertility island soil from a tropical semi-arid ecosystem. *Functional Ecology* v.24, p.233–242, 2010

PHILLIPS, J.M. & HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans Br. Mycol Soc.*, 55:158-160, 1970

PIMENTEL, I. C; DIONÍSIO, J. A; SIGNOR, D. Actinobactérias. In: Guia prático de Biologia do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Curitiba, PR, 2016.

POHANKA, M; VLČEK, V. Glomalin – an interesting protein part of the soil organic matter. *Soil & Water Res.*, 15: 67–74, 2020.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.; DEL'ARCO V.; COSTA, L.M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, p.575-585, 2010.

POST, W. M.; EMANUEL, W. R.; ZINKE, P. J.; STANGENBERGER, A. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, v. 298, p.156- 158, 1982.

POWLSON, D. S.; WHITMORE, A. P.; GOULDING, K. W. T. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: A critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, Oxford, v. 62, p. 42-55, 2011.

PRADO, D. E. Seasonally dry forests of tropical South America: from forgotten ecosystems to a new phytogeographic unit. Edinburgo (UK): *J. Bot.*, v. 57, p. 437-461, 2000.

PREZOTTI, L. C. Guia de interpretação de análise de solo e foliar / Luiz Carlos Prezotti; André Guarçoni M. – Vitória, ES: Incaper, 2013. 104 p.

PRIMO, Anacláudia Alves et al . Potencial fertilizante da serapilheira de espécies lenhosas da Caatinga na recuperação de um solo degradado. **Rev. Ceres**, Viçosa , v. 65, n. 1, p. 74-84, Feb. 2018

RAIJ, B. Mecanismos de interação entre solos e nutrientes. In: RAIJ, B.van, ed. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. p.17-31

RAIJ, B. VAN; FEITOSA, C.T.; SILVA, N.M. da. **Comparação de quatro extratores de fósforo de solos**. *Bragantia*, Campinas, v.43, n.1, p.17-29, 1984

RAWLS, et al., Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*. Amsterdam, v.116 p.61 – 76, 2003

REIS, et al. Características físicas e químicas de Neossolos Litólicos nos Biomas Brasileiros. In: V Simpósio Mineiro de Ciência do Solo: Agroecologia e a Compreensão do Solo como Fonte e Base para a Vida – Vol. 15, N° 1, Mar. 2020

RESENDE, A. S. et al. Produção e qualidade de mudas de espécies florestais. In: RESENDE, A. S. D.; CHAER, G. M., (ed.) Manual para recuperação de áreas degradadas por exploração de piçarra na Caatinga. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. p. 13-28.

RIBEIRO, K. et al. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. *Science of the Total Environment*. v.571, p.1048–1057, 2016

RIBEIRO, M. R. Origem e Classificação dos Solos Afetados por Sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza, INCTSal. p.11-19. 2010

RICE, H. B.; KAMPRATH, E. J. Avaliability of exchangeable and nonexchangeable Mg in sandy coastal plain soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32:386-388, 1968. I

RICHARDS, L. A. (Ed.). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Handbook, 60)

RILLIG, M. C.; STEINBERG, P. D. Glomalin production by arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, p. 1371-1374, 2002.

RILLIG, M.C.; STEINBERG, P.D. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: A mechanism of habitat modification? *Soil Biol.Biochem.* 34:1371–1374. 2002

RODRIGUES, R. A. R.; DE MELLO, W. Z.; DA CONCEIÇÃO, M. C. G.; DE SOUZA, P. A.; SILVA, J. J. N. Dinâmica do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas e Florestais Tropicais e seu Impacto na Mudança do Clima. *Rev. Virtual Quim.* 9 (5), 1868-1886, 2017.

RODRIGUES, V. Desertificação: problemas e soluções. In: OLIVEIRA, T. S. et al. (Ed.). *Agricultura, sustentabilidade e o semiárido*. Fortaleza: UFC/SBCS,. p. 22-56. 2000

ROSS D. J et al. Soil microbial biomass, C and N mineralization and enzyme activities in a hill pasture: influence of season and slow-release P and S fertilizer. *Soil Biol Biochem* 27:1431–1443, 1995

SALA, V. M. R.; SILVEIRA, A. P. D. da; CARDOSO, E. J. B. N. Bactérias Diazotróficas Associadas a Plantas Não-leguminosas. In: *Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental*, 2007

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M. & BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:11-21, 2008.

SALVIANO, A. M. et al. Potencialidades e limitações para o uso agrícola de solos arenosos na região semiárida da Bahia. **Magistra**, v. 28, n. 2, p. 137-148, 2017.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. (Ed.). *Espécies da flora nordestina de importância econômica potencial*. Recife: p.331, APNE, 2005.

SAMPAIO, E.V.S. B; COSTA, T.L. Estoques e Fluxos de carbono no Semi-Árido nordestino: Estimativas Preliminares (stocks and fluxes of carbono in semiarid Northeast Brazil: preliminary estimates). *Rev. Bras. Geogr. Fís.*, v. 4 p. 1275-1291, 2012.

SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, I.H. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semiárida. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 26, Mesa Redonda. Anais Rio de Janeiro, 1997.

SAMPAIO, E; FREITAS, A. Produção de Biomassa na vegetação Nativa Do Semi-árido Nordeste. In: *Fertilidade do Solo e Produção de Biomassa no Semi-árido*, Editora Universitária/UFPE, Recife-PE, p. 11-26, 2008

SANTANA, et al. Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. *Geoderma Regional*, v.16. 2019

SANTANA, J. A. S. dos; SOUTO, J. S. Litterfall in the caatinga of the semi-arid region of Rio Grande do Norte, Brazil. *IDESIA (Chile) Volumen 29, Nº 2, Mayo-Agosto, 2011*

- SANTOS et al. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v.38, n.2, mar-abr, 2008.
- SANTOS, J. C. B. dos et al . Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 36, n. 3, p. 683-696, June 2012 .Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000300001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 08 Mar. 2021.
- SANTOS, Jean Cheyson Barros dos et al . Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 683-696, June 2012
- SATTLER, D., RAEDIG, C., HEBNER, A., & WESENBERG, J. Use of native plant species for ecological restoration and rehabilitation measures in Southeast Brazil. In: **Strategies and tools for a sustainable rural Rio de Janeiro**. Springer, Cham, 2019. p. 191-204.
- SEVERINO, L.S.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; CARDOSO, G.D. & SANTOS, J.W. Fatores de conversão do peso de cachos e frutos para peso de sementes de mamona. Campina Grande, Embrapa Algodão, 2004.
- SHAO X, Yang W, Wu M. Dinâmica sazonal das atividades de carbono orgânico e enzimas do solo em relação aos tipos de vegetação em Hangzhou Bay tidal flat wetland, 2015
- SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Deutsche Gesellschaft Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, 1991.
- SILVA, A. F. et al. Biological nitrogen fixation in tropical dry forests with different legume diversity and abundance. *Nutrient cycling in agroecosystems*, v. 107, n. 3, p. 321-334, 2017.
- SILVA, A. S. et al . Propriedades físicas e químicas em diferentes usos do solo no Brejo Paraibano. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1064-1072, Aug. 2013 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000400023&lng=en&nrm=iso>. Acesso 14 Mar. 2021
- SILVA, F.C. da, (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.
- SILVA, L. J. Estoques de carbono e nitrogênio de solos e sua relação com atributos químicos de solos, águas e sedimentos marginais como indicadores de manejo e conservação de ecossistemas na Bacia do Rio Paraopeba-MG, f. 112. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2015.
- SILVA, M. R. S. S., DE CASTRO, A. P., KRÜGER, R. H., & BUSTAMANTE, M. Soil bacterial communities in the Brazilian Cerrado: Response to vegetation type and management. **Acta Oecologica**, v. 100, p. 103463, 2019.

SILVEIRA, Mailze Maria Lins da; ARAUJO, Maria do Socorro Bezerra; SAMPAIO, Everardo Valadares de Sá Barretto. Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 281-291, Apr. 2006. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000200009&lng=en&nrm=iso>. access on 27 Mar. 2021

SINGH, Rahul et al. Soil microbial characteristics in sub-tropical agro-ecosystems of North Western Himalaya. **Current Science (00113891)**, v. 115, n. 10, 2018.

SIQUEIRA, J.O. et al. Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil. Lavras: Ed. UFLA, 2010

SNYDER, J. D.; TROFYMOW, J. A. A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, p. 587-597, 1984.

SOIL TAXONOMY (A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys), p.863, 2^a ed, 1999.

SOUSA, C. P. et al. Influência da temperatura de armazenamento e de extratores na determinação de glomalina em solos Paraibanos. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 42, núm. 4, outubro-diciembre, pp. 837-841. Universidade Federal do Ceará. Ceará, Brasil. 2011.

SOUSA, C.S.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. & LIMA, F.S.L. Glomalina: Características, produção, limitações e contribuição nos solos. *Semina: Ciência Agronômica*, 33:3033-3044, 2012.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do Solo e sua Correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 991p. 2007

Souza T, Rodríguez-Echeverría S, Andrade LA, Freitas H (2016b) Arbuscular mycorrhizal fungi in *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir from Brazilian semi-arid. *Braz J Microbiol.* <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.01.023>

Souza TAF, Freitas H (2017) Arbuscular mycorrhizal fungal community assembly in the Brazilian tropical seasonal dry forest. *Ecol Proc.* <https://doi.org/10.1186/s13717-017-0072-x>

Souza TAF, Rodriguez-Echeverría S, Andrade LA, Freitas H (2016a) Could biological invasion by *Cryptostegia madagascariensis* alter the composition of the arbuscular mycorrhizal fungal community in semi-arid Brazil?. *Acta Bot Bras.* <http://dx.doi.org/10.1590/0102-33062015abb0190>

Souza TAF, Santos D, Andrade LA, Freitas H (2019) Plant-soil feedback of two legume species in semi-arid Brazil. *Braz J Microbiol.* <https://doi.org/10.1007/s42770-019-00125-y>

SOUZA, B. I. F.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e Conservação. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, jan./abr. 2015.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Evolução da desertificação no Cariri paraibano a partir da análise das modificações na vegetação. Rio Claro (SP): *Geografia*, v. 36, n. 1, p. 193-205, jan./ abr. 2011.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 991p. 2007.

SOUZA, R. G, et al. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. *Rev. bras. Bot.* [online]. 2003, vol.26, n.1 [cited 2021-05-15], pp.49-60.

SOUZA, R. G. et al., Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. *Revista Brasil. Bot.*, V.26, n.1, p.49-60, mar. 2003

SOUZA, R.G., MAIA, L.C., SALES, M.F., TRUFEM, S.F. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 26: 49-60. 2003.

SOUZA, T. A. F.; FREITAS, H. Arbuscular mycorrhizal fungal community assembly in the Brazilian tropical seasonal dry forest. *Ecological Processes*, v. 6, p.1-10, 2017

SOUZA, T. A. F.; RODRIGUEZ-ECHEVERRÍA S.; ANDRADE, L. A.; FREITAS, H. Arbuscular mycorrhizal fungi in *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir from Brazilian semi-arid. *Brazilian Journal of Microbiology*, Volume 47, Issue 2, 2016

SOUZA, V.C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.10, n.3, p.612–618, 2006

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

TEIXEIRA, et al. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in an iron mining area and its surroundings: Inoculum potential, density, and diversity of spores related to soil properties. *Rev. Ciência e Agrotecnologia*, 41(5), p.511-525, Sep/Oct. 2017

TOMAR, U., Baishya, R. Seasonalidade e regime de umidade controlam a respiração do solo, atividades enzimáticas e carbono de biomassa microbiana do solo em uma floresta semiárida de Delhi, Índia. *Processo Ecol* **9**, 50 (2020). <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00252-7>

TOMASELLA, J., VIEIRA, R. M. S. P., BARBOSA, A. A., RODRIGUEZ, D. A., DE OLIVEIRA SANTANA, M., & SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 197-206, 2018.

TRESEDER, K.; TURNER, K. Glomalin in Ecosystems. *Soil Science Society of America Journal - SSSAJ*. 71. 10.2136/sssaj2006.0377, 2007

USGS, 2010. Phosphate Rock. World Mine Production and Reserves. http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2010-phosp.pdf>.

USGS. 2006. U.S. Geological Survey commodity summaries. Washington, DC: U.S. Department of the Interior

VELOSO, H. P. RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro (RJ): IBGE, 124p. 1991.

VITOUSEK, P. M. Global environmental change: an introduction. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 23, p. 1-14, 1992.

WANDERLEY, R. A. Salinização de solos sob aplicação de rejeito de dessalinizadores com e sem adição de fertilizantes. 52 f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2009.

WANG, B. et al. Estimating soil organic carbon stocks using different modelling techniques in the semi-arid rangelands of eastern Australia. *Ecological Indicators*, v. 88, p.425-438, maio 2018.

WILDING, L.P.; ODELL, R.T.; FEHRENBACHER, J.B. & BEAVER, A.H. Source and distribution of sodium in solonchic soils in Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27:432- 438, 1963.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. EXTRACTION OF AN ABUNDANT AND UNUSUAL PROTEIN FROM SOIL AND COMPARISON WITH HYPHAL PROTEIN OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI, *Soil Science: September 1996 - Volume 161 - Issue 9 - p 575-586*

WURZBURGER, N., HEDIN, L.O. 2016. Taxonomic identity determines N₂ fixation by canopy trees across lowland tropical forests. *Ecology Letters*. 19, 62–70.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S. & MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba - CE. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:247-258, 2006

XU, Y et al. Microbial control of soil carbon turnover. In: *The Future of Soil Carbon: Its Conservation and Formation*, pp 165–194, 2018

YAN L, Chen S, Xia J, Luo Y. Precipitation regime shift enhanced the rain pulse effect on soil RESPIRATION IN A SEMIARID STEPPE. *PLOS ONE* 9(8), 2014

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

ZAK, D. R.; PREGITZER, K. S.; CURTIS, P. S.; TEERI, J. A.; FOGEL, R.; RANDLETT, D. L. Elevated atmospheric CO₂ and feedback between C and N cycles. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 151, p. 105-117, 1993.

ZHANG, Y., XU, X., LI, Z., LIU, M., XU, C., ZHANG, R., & LUO, W. Effects of vegetation restoration on soil quality in degraded karst landscapes of southwest China. *Science of the Total Environment*, v. 650, p. 2657-2665, 2019.

ZHANG, YuGe & Xu, Zhuwen & Jiang, DeMing. (2012). Soil exchangeable base cations along a chronosequence of *Caragana microphylla* plantation in a semi-arid sandy land, China. *Journal of Arid Land*. 5. 10.1007/s40333-013-0140-8.