



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



JALTIERY BEZERRA DE SOUZA

QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS CULTIVADAS E SOB VEGETAÇÃO NATIVA NO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO

AREIA

2023

JALTIERY BEZERRA DE SOUZA

QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS CULTIVADAS E SOB VEGETAÇÃO NATIVA NO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Doutor em Agronomia”. Área de concentração: Ecologia: manejo e conservação dos recursos naturais.

Orientador: Prof. Dr. Jacob Silva Souto

AREIA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S729q Souza, Jaltieri Bezerra de.
Qualidade do solo em áreas cultivadas e sob
vegetação nativa no semiárido brasileiro / Jaltieri
Bezerra de Souza. - Areia:UFPB/CCA, 2023.
109 f. : il.

Orientação: Jacob Silva Souto.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCA-AREIA.

1. Agronomia. 2. Caatinga. 3. Anadenanthera
macrocarpa. 4. Moringa oleífera. 5. Macrofauna do solo.
I. Souto, Jacob Silva. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.2)

JALTIERY BEZERRA DE SOUZA

QUALIDADE DO SOLO EM ÁREAS CULTIVADAS E SOB VEGETAÇÃO NATIVA NO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Doutor em Agronomia”. Área de concentração: Ecologia: manejo e conservação dos recursos naturais.

Aprovado em: 15/12/2022.

BANCA EXAMINADORA



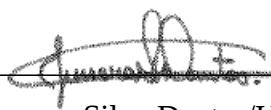
Prof. Dr. Jacob Silva Souto – Orientador/UFCG/CSTR



Prof. Dr. Djail Santos/UFPB/CCA



Profª. Dra. Patrícia Carneiro Souto/UFCG/CSTR



Profª. Dra. Jussara Silva Dantas/UFCG/CSTR



Prof. Dr. Lauter Silva Souto/UFCG/CCTA

A Deus, aos meus pais, a minha vó (*In memorian*), a todos que contribuíram para realização desse projeto e em especial a Jessyka Mendes Lucena.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou muito grato a Deus pelo dom da salvação, pela vida, por todo esse caminho que ele traçou para mim, por ter chegado com força e refrigério nos momentos que achei que não ia suportar, a Deus criador de tudo é minha eterna gratidão.

Sou grato também aos meus pais (João Batista e Francisca Wilma), ao meu pai por ser um homem valente que aprendi a ser resiliente, que me ensinou o valor da educação e sempre nos incentivou, a minha mãe que sempre foi meu porto seguro e sempre falou “Você vai voar”; resumindo, sou grato a minha família (Irmãos, tias, tios e a vó), principalmente a minha avó (*In memorian*) por ter me ensinado que sempre podemos realizar os nossos sonhos.

Sou muito grato ao meu orientador **Prof. Dr. Jacob Souto**, pelos ensinamentos, conselhos e por ser a minha referência como docente.

A todos os colegas do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas (LabNut)/CSTR/UFCG pelo companheirismo em especial Elaine, Arlison, Eduardo, Isadora, Jailson, Manoella, Kiegla, Mikaella, Karla, Thalita Henrique (Gilvanete), Isaque, Allyson, Thainá e Léo que foram pessoas que contribuíram para realização desse exemplar.

Sou grato aos amigos que a cidade de Patos me proporcionou, por exemplo: Ryan que foi um cara acolhedor e a qual eu tive oportunidade de também contribuir para sua vida, a Dona Damiana pelos conselhos e orientações, onde sua família se tornou um porto seguro para mim, ao amigo França e família, especialmente a Jessyka por ter contribuído de forma laboral para essa realização.

Agradeço a todos que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFPB, (professores, funcionários e alunos) que colaboraram na construção desta tese.

Agradecimento especial aos membros da banca por terem aceitado participar e contribuir de forma muito positiva com o trabalho desenvolvido.

A todos, a minha eterna gratidão!

RESUMO GERAL

Dado a importância do bioma Caatinga, nos últimos anos ele vem sendo explorado de forma inadequada, causando alterações na sua estrutura física, química e biológica. Essas alterações podem ser observadas com o crescente número de áreas em processo de desertificação, que traz consigo a erosão, compactação, alteração no comportamento termo-hídrico, diminuição da biota e matéria orgânica, ou seja, processos responsáveis pela disponibilidade de nutrientes para as plantas. O presente trabalho visou compreender a dinâmica termo-hídrica e biológica do solo em duas épocas do ano, como também verificar a qualidade do mesmo através dos atributos químicos e físicos, em diferentes manejos, sendo eles: uma área de vegetação nativa, uma com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* e outra com o cultivo da *Moringa oleífera*, localizados na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas, Paraíba. Para verificar a qualidade do solo foram analisadas as alterações nos atributos físicos e químicos sendo esses parâmetros observados nas três áreas de estudos, nas profundidades de 0-10 e de 10-20 cm. Os atributos físicos estudados foram: densidade do solo, densidade da partícula e porosidade total. Dentre os atributos químicos do solo foram estudados: pH, teores de P, K^+ , Na^+ , $H^+ + Al^{+3}$, Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , MO, soma de bases e CTC. Para o levantamento da macrofauna do solo empregou-se o método “Provid”, onde dez armadilhas foram colocadas nas três áreas, permanecendo no solo por 96 h. Após esse tempo foram levadas para o laboratório para realizar a contagem e determinação do número de indivíduos e aferição da sua biomassa. Relacionado ao estudo termo-hídrico do solo foi usado um termômetro digital para realizar a avaliação da temperatura na superfície e em profundidade; já para determinação do conteúdo de água foram utilizadas capsulas de alumínio, sendo esses parâmetros coletados a cada três horas por um período de 24h nas áreas de estudo. Após a coleta, as capsulas de alumínio foram pesadas para obter a massa úmida e em seguida foram colocadas na estufa a 105° C por um período de 24 h para determinação do peso da massa seca. Para o cálculo da temperatura de superfície terrestre das imagens obtidas dos sensores termais do satélite Landsat-8, utilizou-se o software Open Source Qgis versão 3.10 que teve como finalidade comparar com os dados obtidos com a medição realizada com termômetro digital. Em seguida conclui-se que há diferenças físicas e químicas nos tipos de manejos, sendo que na área onde passava por manejo hídrico apresentou maior número de indivíduos edáficos; e que a obtenção de imagens orbitais é uma metodologia satisfatória para estudos de amplitudes térmicas da superfície terrestre.

Palavras-Chave: Caatinga; *Anadenanthera macrocarpa*; *Moringa oleífera*; macrofauna do solo; imagens orbitais.

GENERAL ABSTRACT

Given the importance of the Caatinga biome, in recent years it has been exploited inappropriately, causing changes in its physical, chemical and biological structure. These alterations can be observed with the growing number of areas in the process of desertification, which brings with it erosion, compaction, alteration in the thermo-hydric behavior, reduction of biota and organic matter, that is, processes responsible for the availability of nutrients for plants. The present work aimed to understand the thermo-hydric and biological dynamics of the soil in two seasons of the year, as well as to verify its quality through the chemical and physical attributes, in different managements, namely: an area of native vegetation, one with the cultivation of the species *Anadenanthera macrocarpa* and another with the cultivation of *Moringa oleifera*, located at the São Gabriel Farm, in São José de Espinharas, Paraíba. To verify the quality of the soil, changes in physical and chemical attributes were analyzed, and these parameters were observed in the three study areas, at depths of 0-10 and 10-20 cm. The physical attributes studied were: soil density, particle density and total porosity. Among the chemical attributes of the soil, the following were studied: pH, P, K⁺, Na⁺, H⁺ + Al⁺³, Al⁺³, Ca⁺², Mg⁺², MO, sum of bases and CTC. For the survey of soil macrofauna, the "Provid" method was used, where ten traps were placed in the three areas, remaining in the soil for 96 h. After that time, they were taken to the laboratory to perform the counting and determination of the number of individuals and measurement of their biomass. Related to the soil thermo-hydric study, a digital thermometer was used to evaluate the temperature on the surface and in depth; to determine the water content, aluminum capsules were used, and these parameters were collected every three hours for a period of 24 hours in the study areas. After collection, the aluminum capsules were weighed to obtain the wet mass and then placed in an oven at 105° C for a period of 24 h to determine the dry mass weight. To calculate the terrestrial surface temperature of the images obtained from the thermal sensors of the Landsat-8 satellite, the Open Source software Qgis version 3.10 was used, which aimed to compare with the data obtained with the measurement carried out with a digital thermometer. Then it is concluded that there are physical and chemical differences in the types of management, and the area where water management was used had a greater number of edaphic individuals; and that obtaining orbital images is a satisfactory methodology for studies of thermal amplitudes on the Earth's surface.

Keywords: Caatinga; *Anadenanthera macrocarpa* species; *Moringa oleifera* species; soil macrofauna; orbital images.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1 –Localização da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....38
- Figura 2 – Áreas (A-Vegetação nativa; B- cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* e C- cultivo da *Moringa oleifera*) selecionadas para estudos na Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....39
- Figura 3 – Coletas de solo para análise nas diferentes áreas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB (A- Trado sendo colocado no solo, B- Trado na profundidade desejada e C- Trado sendo retirado do solo para coleta de amostras).....40
- Figura 4 – Círculos na extremidade do retângulo representam o local de coleta das amostras de solo para análise química e físicas nas diferentes áreas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....40
- Figura 5 – Análise de componentes principais dos atributos físicos e químicos do solo. Em área de vegetação nativa (NA), área com cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (AA) e área com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) em São José de Espinharas-PB.....49

CAPÍTULO 2

- Figura 1 – Localização da Fazenda São Gabriel no município de São José de Espinharas – PB.....61
- Figura 2 – Imagens das áreas (A-Vegetação nativa; B- cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* e C- cultivo da *Moringa oleifera*) selecionadas para estudos na Fazenda São Gabriel no município de São José de Espinharas – PB.....62
- Figura 3 - Metodologia Provid de capturas de indivíduos da macrofauna, onde foram colocadas armadilhas nas covas (A) com as aberturas na altura da superfície do solo (B) e posteriormente foi criado um ambiente natural com colocação da serrapilheira ao redor da armadilha (C).....63
- Figura 4 – Disposição de armadilhas Provid no LabNut (A), lavagem do conteúdo de cada armadilha em água corrente (B); disposição dos indivíduos da macrofauna após a lavagem (C); separação dos indivíduos (D); para posteriormente identificação usando lupa (E) e biovídeo (F).....64
- Figura 5 – Determinação da biomassa dos indivíduos da macrofauna coletados nas três áreas sendo colocados para secar ao ar livre por 15 minutos sobre papel absorvente (A, B e C) e após sendo colocado na balança analítica para determinação da massa (E).....65
- Figura 6 – Caracterização dos indivíduos da mesofauna coletados com o auxílio de anéis metálicos (A); onde foram colocados no solo (B); foi feita a retirada e levado para o extrator de Berlese-Tullgren (C) expostos a lâmpadas de 25 w por 96h sobre frascos de vidro com solução

de álcool (D) após esse processo foi feita a identificação da mesofauna com microscópio binocular (E) e (F).....66

Figura 7 – Coletas de solo para análise de conteúdo de água (A); Pesagem das cápsulas de alumínio para obter a μ (B); Cápsulas de alumínio na estufa a 105° C (C) e retirada das cápsulas de alumínio após 24h para a pesagem da M_s (D).....67

Figura 8 – Medição da temperatura (°C) do solo utilizando o termômetro digital tipo espeto na superfície (A); na profundidade de 7,5 cm (B) e na profundidade de 15 cm (C) nas três áreas avaliadas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....68

Figura 9 – Aferição da luminosidade (A), velocidade do vento (B) e temperatura ambiente (C) nas áreas experimentais nos períodos avaliados na Fazenda São Gabriel, município de São José de Espinharas-PB.....69

Figura 10 – Número total de indivíduos da macrofauna coletados em relação a pluviosidade durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, São José de Espinharas-PB.....72

Figura 11 - Biomassa (g) da macrofauna do solo dos principais grupo coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....74

Figura 12 – Número total dos indivíduos da mesofauna coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em duas áreas, sendo uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....77

Figura 13 – Análise de componentes principais dos atributos físicos do solo, condições ambientais e a abundância dos grupos da mesofauna e macrofauna edáfica em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....79

Figura 14 – Análise de agrupamento hierárquico dos atributos físicos do solo, condições ambientais e a abundância dos grupos da mesofauna e macrofauna edáfica em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....80

CAPÍTULO 3

Figura 1 –Localização da Fazenda São Gabriel, município de São José de Espinharas-PB.....90

Figura 2 - Imagens das áreas (A-Vegetação nativa; B- cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* e C- cultivo da *Moringa oleifera*) selecionadas para estudos na Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas – PB.....91

Figura 3 – Coletas de solo para caracterização dos atributos físicos das diferentes áreas da Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas - PB (A- Limpeza do local para colocar o trado, B- Trado na profundidade desejada e C- Recipiente para retirada da amostra composta)	92
Figura 4 – Coletas de solo para análise de conteúdo de água (A); Pesagem das cápsulas de alumínio para obter a Mu (B); Cápsulas de alumínio na estufa a 105° C (C) e retirada das cápsulas de alumínio após 24h para a pesagem da Ms (D).....	93
Figura 5 – Medição da temperatura (°C) do solo utilizando o termômetro digital tipo espeto na superfície (A); na profundidade de 7,5 cm (B) e na profundidade de 15 cm (C) nas três áreas avaliadas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....	94
Figura 6 – Instrumentos utilizados para aferir a luminosidade (A): luxímetro; a velocidade do vento, anemômetro (B) e o termômetro digital (C) para temperatura ambiente nas áreas experimentais da Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....	94
Figura 7 – Fluxograma demonstrando cada etapa para o cálculo de temperatura de superfície terrestre utilizando as imagens do Landsat-8.....	96
Figura 8 – Pluviosidade mensal e teor de água no solo (%) em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas (AN, AA e AM) da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....	98
Figura 9 – Variação total da temperatura (C°) do solo em dois períodos (junho e outubro de 2021) e em três áreas (AN, AA e AM) da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....	99
Figura 10 – Variação da temperatura (C°) em diferentes profundidades (cm) do solo em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas (NA, AA e AM) da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....	101
Figura 11 – Variação da temperatura (C°) em três áreas (NA, AA e AM) na superfície do solo, 7,5 e 15 cm de profundidade da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....	103
Figura 12 - Temperatura de Superfície Terrestre (TST) em dois períodos (junho (A) e outubro (B) de 2021) no perímetro urbano de São José de Espinharas (PB), com destaque para a Fazenda São Gabriel, com três manejos (NA, AA e AM)	106

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Características das áreas estudadas na Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....	39
Tabela 2. Médias dos atributos físicos de amostras de solos coletadas nas diferentes áreas da Fazenda Experimental São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....	42
Tabela 3. Médias dos atributos químicos de amostras de solos coletadas nas diferentes áreas da Fazenda Experimental São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....	45
Tabela 4. Autovalores da análise de componentes principais (ACP) para os atributos físicos e químicos do solo em área de vegetação nativa (NA), área com cultivo de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (AA) e área com o cultivo de <i>Moringa oleifera</i> (AM), em São José de Espinharas-PB.....	48
Tabela 5. Coeficientes de Estrutura da Análise de Componentes Principais (ACP) para os atributos físicos e químicos do solo em área de vegetação nativa (NA), área com o cultivo de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (AA) e outra com o cultivo de <i>Moringa oleifera</i> (AM) em São José de Espinharas-PB.....	49

CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Características das áreas estudadas na Fazenda São Gabriel no município de São José de Espinharas – PB.....	62
Tabela 2 – Número de indivíduos (Ni) e frequência relativa (FR%) de indivíduos da macrofauna coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (angico) (AA) e outra com o cultivo de <i>Moringa oleifera</i> (AM) na Fazenda Experimental São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....	70
Tabela 3 - Índice de diversidade de Shannon (H) e Índice de Equabilidade de Pielou (e) de indivíduos da macrofauna coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (angico) (AA) e outra com o cultivo de <i>Moringa oleifera</i> (AM) na Fazenda Experimental São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....	71
Tabela 4 – Número de indivíduos e ordens observadas da macrofauna durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (angico) (AA) e outra com o cultivo de <i>Moringa oleifera</i> (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....	73
Tabela 5 - Biomassa (g) da macrofauna do solo coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (angico) (AA) e outra com o cultivo de <i>Moringa oleifera</i> (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....	75

Tabela 6 – Número de indivíduos (Ni) e frequência relativa (%) da mesofauna coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em duas áreas, sendo uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....76

Tabela 7 - Índice de diversidade de Shannon (H) e Índice de equabilidade de Pielou (e) da mesofauna coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em duas áreas, sendo uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....76

Tabela 8 - Correlação de Pearson entre os atributos físicos do solo, condições ambientais e a abundância dos grupos da mesofauna e macrofauna edáfica em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.....78

CAPÍTULO 3

Tabela 1 – Características das áreas estudadas na Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas – PB.....91

Tabela 2 - Características físicas do solo nas diferentes áreas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....92

Tabela 3 - Correlação de Pearson entre as propriedades hidrotérmicas e condições ambientais em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas (AN, AA e AM) da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.....105

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Descrição dos solos da região do estudo.	17
2.2 Fauna do solo (mesofauna e macrofauna)	17
2.3 O conteúdo da água e a correlação com a temperatura do solo.....	19
2.4 A influência do conteúdo de água com os atributos físicos, químicos e biológicos do solo.....	20
2.5 A influência da temperatura do solo sobre as propriedades físicas, químicas e a absorção de nutrientes pelas plantas	20
2.6 Temperatura do solo e a influência sob as propriedades biológicas	22
2.7 A influência da radiação solar e as condições ambientais têm papel fundamental no desenvolvimento das plantas.....	24
2.8 Uso de geotecnologias em áreas do Bioma Caatinga	25
REFERÊNCIAS.....	27
 CAPÍTULO 1	 32
INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA TROPICAL SECA	32
RESUMO.....	33
ABSTRACT	34
INTRODUÇÃO	35
MATERIAL E MÉTODOS	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS.....	50
 CAPÍTULO 2	 55
FAUNA EDÁFICA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJOS DO SOLO NO SEMIÁRIDO DA PARAÍBA.....	55
RESUMO.....	56
ABSTRACT	57
INTRODUÇÃO	58
MATERIAL E MÉTODOS	59
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
CONCLUSÕES.....	80

REFERÊNCIAS.....	81
 CAPÍTULO 3	84
COMPORTAMENTO TERMO-HÍDRICO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA TROPICAL SECA E ÁREAS DE CULTIVO.	84
RESUMO.....	85
ABSTRACT	86
INTRODUÇÃO	87
MATERIAL E MÉTODOS	88
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	96
CONCLUSÕES.....	106
REFERÊNCIAS.....	107

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os estudos sobre os solos (Neossolo, Luvisolo e Planossolo) presentes na Caatinga paraibana ainda são escassos, dada a importância do conhecimento da biodiversidade para a população humana que se mantém através da exploração de recursos naturais como a lenha, plantas medicinais, alimentação, utensílios e nos serviços ambientais prestados por esse bioma em escala regional e global (MENEZES, 2016).

Devido aos trabalhos científicos insuficientes, ao reduzido número de Unidades de conservação e as crescentes pressões antrópicas, estima-se que 80% de sua vegetação original já fora modificada, acarretando alterações no ecossistema que se expande de forma descontrolada ocasionando em grandes áreas de desertificação um aumento da temperatura e erosão do solo, como também diminui a fertilidade e microbiota do solo, podendo chegar ao ponto do ecossistema não poder mais se recompor espontaneamente devido principalmente o desequilíbrio das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, comprometendo assim a fauna e a flora desse bioma (MICCOLIS *et al.*, 2016).

Vale ressaltar que quando o solo é explorado de forma inadequada, causará alterações em sua estrutura física, o que pode levar ao aumento da densidade e, com isso, também serão alteradas outras propriedades físicas tais como: porosidade, retenção de água, aeração e dificuldades no desenvolvimento do sistema radicular e também alterações na estrutura biológica como a redução dos microrganismos responsáveis pela disponibilidade de nutrientes para as plantas (CARVALHO *et al.*, 2012).

Por isso, é importante estudar os atributos físicos do solo (temperatura e conteúdo de água) em áreas de Caatinga e relacionar aos processos de restauração, de modo a se constatar se poderá haver melhoria na fertilidade e maiores atividades dos organismos edáficos, interferindo ou não, no processo sucessional. Assim, pesquisas sobre comportamento térmico do solo nessas áreas são cada vez mais requisitadas, tendo em vista que a interação entre a temperatura do solo e o seu conteúdo de água são importantes para o entendimento de como isso afeta no fluxo de calor no solo (BARROSO, 2017).

As avaliações microclimáticas realizadas numa floresta são de relevância para se compreender a dinâmica dos fluxos de energia. Dentre as variáveis meteorológicas, destaca-se a radiação solar, que, inclusive, serve para subsidiar as classificações ecofisiológicas de espécies florestais. Entretanto, de acordo com Faria (2021), as temperaturas do ar e do solo e a umidade atmosférica, dentre outras, também, influenciam o estabelecimento, crescimento e desenvolvimento das espécies no interior da floresta.

O conhecimento dos mecanismos de troca de energia entre a superfície e a atmosfera é de fundamental importância para a compreensão do microclima de uma região, onde a energia radiativa proveniente do Sol é a fonte primária do sistema atmosfera-superfície e o principal componente do balanço radiativo é determinado pela energia disponível no sistema, que por sua vez é particionada entre os fluxos turbulentos de calor e o armazenamento pelo meio (GÓMEZ *et al.*, 2018).

Estudos de trocas de energia entre a superfície e a atmosfera são importantes, não só para caracterizar o microclima local, como também identificar interações existentes entre elas. Além disso, possibilita conhecer variações do tempo e do clima da região, assim como, pode auxiliar na identificação de efeitos de atividades antrópicas, como o desmatamento e queimadas, ou fatores naturais, sobre diferentes questões ambientais da região Semiárida. Esse tipo de estudo é fundamental para fornecer informações sobre a quantidade de umidade transferida para a atmosfera por uma área com vegetação rasteira ou de médio porte (PEREIRA *et al.*, 2011).

O balanço de radiação da superfície consiste na contabilização da energia radiante incidente menos àquela emitida pela superfície. Seu estudo é importante e fundamental, porque correspondem à energia disponível para os processos físico-químicos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera, principalmente os processos de aquecimento/esfriamento do ar e do solo, evapotranspiração e fotossíntese das plantas (FENG; MENG; ZHANG, 2010).

Diante disto essa pesquisa está dividida em três capítulos, os quais compõem de trabalhos científicos produzidos através de coletas realizadas na Fazenda São Gabriel, localizada em São José de Espinharas-PB.

O primeiro capítulo intitulado “Indicadores de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo em um fragmento floresta tropical seca.” aborda os indicadores serem utilizados para identificar a qualidade do solo, onde foi observado três áreas distintas, sendo uma de vegetação nativa e outras duas áreas com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* e *Moringa Oleifera*.

O segundo capítulo, intitulado “Fauna edáfica sob diferentes sistemas de manejos do solo no semiárido da Paraíba” teve como objetivo caracterizar a abundância e diversidade dos organismos do solo (Meso e Macrofauna), observando a sua interação com os fatores edafoclimáticos em três áreas distintas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) em dois períodos do ano (junho e outubro).

O terceiro capítulo, com o título “Comportamento termo-hídrico em diferentes sistemas de manejo de solo em um fragmento floresta tropical seca e áreas de cultivo”, aborda a dinâmica das propriedades hidrotérmicas (conteúdo de água e temperatura) do solo em dois períodos do ano (junho e outubro) em três áreas distintas da fazenda experimental.

Portanto, o objetivo geral desta pesquisa foi compreender a dinâmica termo-hídricas e biológica do solo em duas épocas do ano (junho e outubro) como também verificar a qualidade do solo através dos atributos químicos e físicos, em diferentes manejos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Descrição dos solos da região do estudo.

A maioria dos solos presentes na região são classificados em Luvissolos e Neossolos (JACOMINE *et al.*, 2013). No município de São José de Espinharas – PB encontra-se os Neossolos Flúvicos, localizados próximos ao Rio Espinharas. Esse tipo de solo é derivado dos designados sedimentos aluviais, extremamente diversificados em termos de profundidade, textura, fertilidade, poucos desenvolvidos em relação aos processos pedogenéticos, apresentando seqüências de camadas e não horizontes (SANTOS, 2017).

De acordo com Batista, Paiva e Marcolino (2014) os Luvissolos são encontrados na região Nordeste do Brasil, onde se encontram distribuídos, principalmente, no semiárido. É um solo que possui um horizonte B textural, tem uma alta saturação por bases e argila de atividade alta, são poucos profundos, com uma coloração avermelhada ou amarelada, com estrutura bem desenvolvida e alta fertilidade natural.

Já os Neossolos, são solos jovens, pouco evoluídos, com presença de material mineral, apresentando um horizonte superficial diretamente assentado sobre a rocha intacta ou fragmentada, possui pouca alteração química, são rasos, normalmente cascalhentos e com frequentes afloramentos de rocha, variando quanto a fertilidade natural. Dependendo do material de origem apresentam suscetibilidade à erosão, além das dificuldades de manejos devido a pedregosidade e rochosidade (SANTOS, 2017).

2.2 Fauna do solo (mesofauna e macrofauna)

Os organismos do solo são sensíveis aos impactos gerados pela ação antrópica e também pelas propriedades do próprio ecossistema, como a vegetação, o clima e o solo, sendo a sensibilidade o principal motivo pelo qual são considerados bioindicadores de perturbação (JAPIASSÚ *et al.*, 2018) que podem vir a serem utilizados para comparação com ambientes perturbados.

De acordo com Moreira e Siqueira (2006), a biota do solo pode ser classificada em microrganismos, micro, meso e macrofauna. E conforme Mello *et al.* (2009) a mesofauna é representada por animais que medem 0,2 a 2,0 mm de diâmetro corporal. Já a macrofauna, que inclui organismos visíveis a olho nu são maiores que 2,0 mm, sendo esses: cupins, formigas, minhocas, besouros, tatuzinhos, aranhas, centopeias, entre outros (SANTOS; ARAUJO; SILVA, 2018).

Mudanças na composição da mesofauna do solo podem ser observadas entre diferentes ecossistemas, em uma mesma região (BERUDE *et al.*, 2015), devido a alterações na disponibilidade de recursos alimentares, que modificam as interações ecológica, decorrentes de perturbações ambientais, que podem ocasionar redução da matéria orgânica e de nutrientes, afetando negativamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (CASTALDELLI *et al.*, 2015). As implicações dos organismos presentes no solo diante dos processos que ocorrem nos ecossistemas, são mais frequentemente relacionadas a variáveis como a vegetação e atributos do solo (ANDERSON, 2009).

A mesofauna do solo também pode ser um parâmetro bioindicador, levado em consideração na avaliação da qualidade do solo, sabendo-se que é responsável por funções primordiais na sustentabilidade do ecossistema. Por serem afetadas pelas ações antrópicas capazes de diminuir a sua diversidade, distribuição e abundância, verificações feitas a partir de levantamentos são cruciais. E para isso, o acompanhamento das populações de ácaros e colêmbolos, através de estudo baseado na frequência e diversidade dos indivíduos, que ao serem comparados com as populações encontradas em áreas de vegetação nativa, expressam transtornos acontecidos no solo (BERUDE *et al.*, 2015).

A qualidade do solo tem direta relação com a fauna edáfica, uma vez que esta, é responsável principalmente pela fragmentação, decomposição e mineralização da serrapilheira, ação fundamental na ciclagem de nutrientes; visto isso, a redução dos componentes da mesofauna compromete no decorrer do tempo esses processos decisivos para manutenção da qualidade do solo (RODRIGUES *et al.*, 2016).

Dentre a mesofauna, os grupos de Ácaros e Collembola são os dominantes em abundância e diversidade. Os ácaros são predadores, controlando a população de organismo do solo e os colêmbolos decompõem a matéria orgânica. Já entre a macrofauna, os cupins, as minhocas, as formigas, e os besouros são os detritívoros, formadores e estruturadores do solo, constituindo um grupo de “engenheiros-do-solo”, assim chamados por translocar as partículas do solo, formando agregados, aumentando assim a porosidade e consequentemente, a aeração, a infiltração e a drenagem do solo (MELLO *et al.*, 2009).

Para que os estudos relacionados a macrofauna de solo possam ser usados para comparar a situação entre ecossistemas é necessário que sejam estabelecidas as relações de fatores externos do ambiente e os procedimentos realizados no desenvolvimento do estudo, sejam de fácil repetibilidade, para avaliar de forma quantitativa e qualitativa os aspectos relacionados aos organismos deste grupo, afim de contribuir para compreensão da ecologia do ecossistema

(CATANOZI, 2011). Assim, a diversidade da meso e macrofauna pode ser usada de forma confiável na determinação e no monitoramento da degradação e/ou recuperação (ALVES *et al.*, 2014).

2.3 O conteúdo da água e a correlação com a temperatura do solo

São consideradas duas propriedades físicas do solo que exercem influência direta no desenvolvimento de plantas. Assim, as análises dos processos que governam o conteúdo da água e a temperatura do solo vêm ganhando notoriedade nas pesquisas científicas. O conteúdo da água tem variação espacial e temporal, sendo necessário à maioria das funções vitais das plantas, estando presente em várias reações e rotas metabólicas. A temperatura do solo também varia no tempo, no espaço e influencia no desenvolvimento das plantas, na distribuição dos microorganismos no solo, na velocidade da degradação dos resíduos vegetais, no movimento de água e de calor no solo, dentre outros (WAZILEWSKI; WERNER; MEDEIROS, 2011)

Entretanto, o conteúdo da água e a temperatura do solo são afetadas por diversos fatores, como a radiação solar incidente (Rad), precipitação, quantidade de água que infiltra no solo, espécies de plantas cultivadas e a cobertura do solo com resíduos vegetais. Sabe-se que a temperatura do solo é fortemente influenciada pelo conteúdo da água e, conseqüentemente, a mudança no conteúdo da água provoca alterações na condutividade térmica do solo e no calor específico (ZWIRTES, 2017).

O calor específico, definido como a quantidade de energia térmica que 1,0 m³ de água ou solo necessita para aumentar a temperatura em 1 K, é alterado em função da variação do conteúdo da água, o que afeta as propriedades térmicas do solo. A condutividade térmica é a capacidade de transferência de calor por condução e ocorre em pontos de contato entre partículas. O aumento do conteúdo da água proporciona um aumento na condutividade térmica, devido à água envolver as partículas do solo e preencher os espaços porosos, ocasionando um aumento na área de contato entre as partículas e aumentando a condutividade térmica do solo (PREVEDELLO; ARMINDO, 2015).

Devido à interrelação entre o conteúdo da água e a temperatura do solo, o estudo do movimento simultâneo de água e o calor tornam-se fenômenos importantes para melhor compreender o processo de fluxo de calor e água no interior do solo. Assim, a representação por meio da simulação pode ser uma ferramenta para facilitar a compreensão desses movimentos (MOURA; QUERINO, 2010).

2.4 A influência do conteúdo de água com os atributos físicos, químicos e biológicos do solo

O conteúdo de água é uma condição essencial ao crescimento das plantas, não apenas sob o ponto de vista do fornecimento de água, mas também, devido ao seu efeito sobre a influência dos atributos físicos, químicos e biológicos, como também sobre a mobilização e a absorção dos nutrientes pelas plantas. Deficiência de água do solo contribui para o mau aproveitamento dos nutrientes e para uma redução da atividade biológica. Por outro lado, umidade excessiva é prejudicial à grande maioria das plantas cultivadas, atribuindo-se isso, geralmente, aos seguintes fatores: formação de substâncias tóxicas, más condições de aeração, efeitos danosos sobre os microorganismos e redução no crescimento radicular (RIGATTO, 2002).

Entre os atributos do solo, aqueles relacionados aos aspectos físicos, são de extrema importância no que diz respeito ao desenvolvimento das plantas, pelo fato de que, segundo Ferreira (1993), os constituintes sólidos interagem com os fluídos, água e ar; e, dependendo da forma como esses se associam, sua movimentação no sistema poroso é variável em função do tipo de solo e/ou das condições de manejo às quais são submetidos.

O conhecimento a respeito dos atributos do solo é necessário para o entendimento a respeito do sistema água-solo-planta, visto que o ambiente físico é o fator mais importante na produtividade do sítio, afetando os atributos do solo para produção dos cultivos, que incluem os fluxos de água, ar e calor, como também a resistência do solo à penetração de raízes, disponibilidade de nutrientes e diversidade biológica benéficas às plantas (DEDECEK *et al.*, 2008).

Em uma análise de crescimento de plantas em solos com vários graus de compactação e estresse de umidade, verificou-se que a absorção de nutrientes não foi diretamente afetada pela compactação, mas sim, pela quantidade insuficiente de água disponível no solo (FENNER, 1999).

2.5 A influência da temperatura do solo sobre as propriedades físicas, químicas e a absorção de nutrientes pelas plantas

A temperatura do solo é um dos fatores decisivos para a absorção de nutrientes pelas plantas, pois além de armazenar e permitir os processos de transferência de água, solutos e gases, também armazena e transfere calor. A capacidade de um solo em armazenar e transferir calor é determinada pelas suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas que, por

sua vez, influenciam todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo (MACHADO *et al.*, 2008).

As propriedades térmicas do solo que possuem importância agrônômica são o calor específico e a condutividade térmica do solo. O calor específico do solo, é a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura da unidade de massa do solo em 1,0 °C, dessa forma, é dependente da textura, estrutura e conteúdo de água do solo, sendo uma propriedade variável no tempo e no espaço, em função da modificação da quantidade de solo. Já a condutividade térmica é definida como a quantidade de calor que flui, por unidade de tempo, através de uma camada de solo, que vai depender da textura, porosidade e umidade. Por isso, ela varia de acordo com o tipo de solo e teor de umidade (KÜHN *et al.*, 2008).

A temperatura do solo, considerando-se o seu valor em dado momento e a maneira como ela varia no tempo e no espaço, é um fator determinante nas taxas de transferência de energia e massa com a atmosfera, incluindo a evaporação e a aeração. Fatores meteorológicos, localização geográfica, declividade, cobertura vegetal, chuva e a ação antrópica são os elementos que mais interferem na temperatura e fluxo de calor no solo (LEVIGHIN; VIADANA, 2013).

Além de armazenar e permitir os processos de transferência de água, solutos e gases, o solo também armazena e transfere calor. Prevedello; Arminado (2015) citam que a capacidade de um solo para armazenar e transferir calor é determinada por suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas do local, que, por conseguinte, influenciam em todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo.

As propriedades físicas da água e do ar presentes no solo, bem como seus movimentos e disponibilidade, além de muitas reações químicas que liberam nutrientes para as plantas, são influenciados pela temperatura do solo. De acordo com Gasparim *et al.* (2005), a temperatura do solo quando não está favorável durante o crescimento da planta, pode retardar ou mesmo arruinar as colheitas.

A superfície do solo, seja com ou sem cobertura vegetal, é a principal trocadora e armazenadora de energia térmica nos ecossistemas terrestres. O transporte de energia ocorre principalmente pelos mecanismos de condução e de convecção de calor latente. Outros processos com função semelhante incluem a radiação, a convecção de calor pelo fluxo de água líquida, e a convecção de calor pelo movimento do ar (LIBARDI, 2012).

E é a partir da intensidade da radiação solar na superfície do solo que este aquece e resfria no decorrer do dia e do ano, provocando variações térmicas nas camadas subjacentes,

pelo fato da absorção e da perda de energia ocorrerem na superfície, aliada à baixa velocidade de propagação do calor no interior do solo, as variações térmicas limitam aos horizontes mais superficiais (GASPARIN *et al.*, 2005).

Donatoni; Bianco; Aparecido (2021) afirmaram que a amplitude de variação da temperatura do solo diminui acentuadamente nos primeiros centímetros de profundidade, ao mesmo tempo em que ocorre um retardamento no período de ocorrência das máximas e mínimas, em função da magnitude e da lentidão do fluxo de calor no seu interior. As temperaturas abaixo da superfície do solo são menos imprecisas que aquelas tomadas acima da superfície, porque variações rápidas são contrabalançadas pela grande capacidade de retenção de calor do solo, sendo aproximadamente uma hora o tempo de variação da temperatura do solo em função da variação da radiação solar.

De acordo com Elias (2004), um modelo analítico exponencial-senoidal em uma dimensão descreve razoavelmente bem a temperatura no solo, T ($^{\circ}\text{C}$), como função do tempo, t (s), e da profundidade, z (m), $0 \leq z < \infty$. A significação ecológica da temperatura do solo é obviamente importante para aqueles que trabalham na agricultura. Outro aspecto importante no processo de aquecimento do solo é o albedo, o qual se define por meio da quantidade da radiação solar refletida sobre uma superfície, expressa em percentagem. Essa é uma característica importante das superfícies dos solos, que pode variar amplamente na faixa de 0,1 a 0,7, dependendo da cor básica do solo, da aspereza da superfície e da inclinação da radiação incidente relativa à superfície.

O albedo também depende da umidade variável do solo exposto e do tipo de cobertura existente sobre a superfície do solo. A temperatura ideal do solo varia em função do cultivo, por exemplo, em culturas como a batata, Dalmago *et al.* (2010), relatam que a alta temperatura do solo causa degeneração dos tubérculos, sendo a temperatura ideal em torno de 17°C e a temperatura limite para crescimento dos tubérculos 29°C . Para o cultivo de hortaliças (tomateiro, berinjela, pimentão e melão), a temperatura adequada para a eficiência na absorção de nutriente do solo deve estar na faixa de 15°C a 20°C .

2.6 Temperatura do solo e a influência sob as propriedades biológicas

A temperatura do solo afeta a evaporação e indiretamente as condições hídricas, visto que, a cor do solo afeta a quantidade de radiação absorvida. Solos de cor clara absorvem menos do que solos escuros. Pelo mesmo motivo, superfícies recém queimadas absorvem mais radiação solar. O fluxo de calor no solo se dá por condução. Por ser um fluxo lento, com o

aumento da profundidade do solo, há um retardamento progressivo dos momentos de ocorrência de temperaturas extremas (GÓMEZ, 2017).

Fatores como textura, conteúdo de água e de matéria orgânica afetam as propriedades térmicas do solo. Quanto mais úmido o solo, mais lento é o fluxo de calor, porque o calor específico da água é maior do que o dos minerais do solo. Os arenosos, por terem menor capacidade calorífica, menor condutividade térmica e menor resfriamento por evaporação, se aquecem mais do que os solos argilosos (PREVEDELLO; ARMINDO, 2015).

Em latitudes altas, a inclinação e exposição das encostas é fator ecológico importante devido ao efeito térmico. No hemisfério sul, as encostas voltadas para o norte recebem mais radiação direta do que as encostas voltadas para o sul. A temperatura do ar, o aquecimento e o resfriamento do são determinados pelo balanço da radiação da superfície do solo e da vegetação. As trocas de calor do ar com as superfícies se dão por condução e convecção, gerando movimentos turbulentos do ar (vento). Junto com o calor, o vento transfere vapor d'água, energia cinética, gás carbônico e poluentes. O movimento de massas de ar em escala continental determina em grande parte o clima regional. Latitude, altitude e distância de grandes corpos d'água (continentalidade) são os fatores mais importantes que afetam a variação geográfica da temperatura (GÓMEZ, 2017).

A temperatura de um corpo d'água se altera mais lentamente do que a superfície terrestre porque a água reflete mais radiação, perde calor por evaporação, tem um calor específico alto, e redistribui o calor através de convecção. Assim, as variações diárias e anuais de temperatura são maiores em locais mais distantes do mar (MACIEL NETO, 2011).

A temperatura máxima do ar próximo do solo ocorre simultaneamente com a temperatura máxima da superfície do solo; mas à medida que se afasta do solo há um retardamento do momento da máxima temperatura do ar (a 2,0 m de altura ocorre 2 h após) (SILVA *et al.*, 2018).

Normalmente há um gradiente de temperatura decrescente com a altura e altitude (0,5 °C/100 m), porque o ar se resfria ao expandir-se durante a sua ascensão. Em noites com céu descoberto, devido ao resfriamento das superfícies e consequente resfriamento do ar das camadas inferiores, ocorre uma inversão desse gradiente térmico. Quando o ar das camadas inferiores atinge a temperatura de 0 °C ocorre geada, podendo ou não dar origem à formação de gelo sobre as superfícies expostas (dependendo da umidade do ar). A vegetação densa influencia no perfil da inversão térmica porque a superfície ativa de irradiação passa a ser o topo do dossel (MACIEL NETO, 2011).

Vale ressaltar que a quantidade e os tipos de microrganismos presentes no solo variam em função de diversos fatores ambientais, tais como a quantidade e os tipos de nutrientes disponíveis, o conteúdo de água, oxigênio, temperatura do solo, pH, presença de raízes e extensão do sistema radicular e ocorrência de eventos que podem aumentar ou reduzir o número e a diversidade de microrganismos no solo. A temperatura é um dos fatores ambientais mais importante na atividade e na sobrevivência dos microrganismos. Baixas temperaturas, próximas de 4 °C, reduzem a fluidez e a permeabilidade através da membrana celular, o que pode dificultar a utilização de nutrientes pelas plantas (TAIZ; ZEIGER, 2017).

De acordo com Moreira (2006), a atividade microbiana é máxima em torno de 28 °C e sofre decréscimo em temperaturas menores que 25 °C e maiores que 35 °C. Dependendo da faixa ótima de temperatura para o crescimento e atividade, os microrganismos podem ser divididos em: criófilos ou psicrófilos (menor que 20 °C); mesófilos (entre 20 e 40 °C) e termófilos (maior que 40 °C) (MUNIZ, 2019).

Existem microrganismos termófilos facultativos, que se desenvolvem bem numa ampla faixa de temperatura do solo, variando de 28 °C a 56 °C. A maioria das bactérias, actinomicetos e fungos existentes no solo são mesófilos, enquanto os termófilos não são muito abundantes, dependendo do teor de matéria orgânica presente. Muitas espécies mesófilas sobrevivem em altas temperaturas do solo devido à existência de estruturas resistentes, como os esporos, que são capazes de tolerar temperaturas em torno 100 °C por longos períodos (MUNIZ, 2019).

O uso do solo e os impactos sobre a meso e macrofauna ocorrem ao longo do tempo. Tais distúrbios alteram a distribuição da fauna do solo à medida que alteram a disponibilidade de recurso alimentar, modificando as interações ecológicas intra e interespecíficas. Essas alterações no meio ambiente (por exemplo, espécies epigênicas, que vivem na serapilheira) desaparecem com o desmatamento ou com maior perturbação dos solos. Já as práticas conservacionistas, como o uso de adubos verdes, plantio direto e sistemas agroflorestais, podem afetar positivamente as populações da fauna, reduzindo a temperatura do solo. Por exemplo, as populações de minhocas e *Collembola* aumentam na presença de cobertura verde, matéria orgânica em decomposição e proporciona um maior crescimento do sistema radicular (MELLO *et al.*, 2009).

2.7 A influência da radiação solar e as condições ambientais têm papel fundamental no desenvolvimento das plantas

A radiação solar direta e difusa que atinge a superfície do solo e da vegetação é refletida ou absorvida. A radiação absorvida determina o aquecimento dos corpos os quais passam a

emitir radiação de onda longa. A atmosfera (CO_2 , água) absorve a radiação de onda longa e irradia em direção à superfície. O balanço ou saldo de radiação é a diferença entre o total de radiação incidente e a soma da radiação refletida e irradiada, representando o total de radiação que é absorvido pelo solo e vegetação. O balanço de radiação é variável ao longo do dia e do ano. A variação diária é em função da trajetória do sol (QUERINO *et al.*, 2011).

A variação anual é em função da declinação solar. Durante o dia o balanço de radiação é positivo e ocorre o aquecimento do solo e da vegetação. O calor da superfície do solo e da vegetação será dissipado por emissão de radiação de onda longa, como já visto, aquecimento por condução da camada de ar próxima às superfícies e transferência de calor por convecção, fluxo de calor para camadas mais profundas do solo, fluxo de calor latente através da evaporação e evapotranspiração (585 cal/g de água a 20 °C, ou $1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ são gastos para evaporar aproximadamente 1 mm de água a 20 °C por hora) (SILANS; SILVA; BARBOSA, 2006).

A energia absorvida pelas plantas através da fotossíntese é geralmente insignificante (1%) em relação ao total da radiação incidente, sendo desprezada do balanço de radiação. Durante a noite o balanço de radiação é negativo; a emissão de radiação de onda longa pelas superfícies supera a contra radiação de origem atmosférica. A perda de calor para o espaço é maior em noites com céu descoberto do que em noites nubladas (QUERINO *et al.*, 2011).

As superfícies do solo e a vegetação se esfriam, retirando calor da camada de ar em contato, invertendo o perfil vertical da temperatura do ar. No solo, o fluxo de calor passa a ser das camadas mais profundas para as mais superficiais. O balanço de radiação é o que determina flutuações na temperatura do solo, da vegetação e do ar, originando os fenômenos meteorológicos (movimentação do ar, evapotranspiração, precipitação, geadas, etc.) (MACIEL NETO, 2011).

2.8 Uso de geotecnologias em áreas do Bioma Caatinga

A aquisição de informações relacionado a distribuição geográfica impulsionou a análise espacial e as resoluções de problemas em inúmeros países. No contexto histórico, as primeiras iniciativas de processamento de dados geográficos apareceram com o avanço da geoinformação e também do sensoriamento remoto, o que se tornou capaz a obtenção, armazenamento e representação das informações geográficas em ambiente computacional. Com a evolução dos Sistemas de Informações Geográficas tornou-se mais eficaz examinar os dados tabelados e espaciais, onde era impossível com o mapeamento manual (CARRARA; ZAIDAN; PAULA, 2018).

A aplicação das geotecnologias é uma ferramenta de grande importância que permite a gestão, o processamento, a análise e representação automatizada de dados georreferenciados, possibilitando a aquisição de informações rápidas, precisas e de baixo custo, que posteriormente podem ser usadas em diversos planejamentos (TERRA *et al.*, 2016). O agrupamento das geotecnologias (Geoprocessamento, Sistema de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto) compreende a diversos tipos de sistemas e de técnicas para tratamento da informação espacial, onde possibilita a visualização dos dados em forma de mapas, relatórios e tabelas, estabelecendo-se como um instrumento de análise, sendo um subsidio para tomada de decisão (BONATTO; MARTINS; BARROS, 2007).

A compreensão mais profunda de algumas características quantitativas e qualitativas do solo, assim como o estabelecimento de técnicas onde suas condições podem ser avaliadas a nível regional é de fundamental importância. Dados relacionados ao sensoriamento remoto passaram a serem utilizados para a estimativa de biomassa (LU, 2006). De acordo Lima Júnior (2014), a estimativa da biomassa com uso de índices de vegetação em uma área de caatinga é um método eficiente e de baixo custo, que demonstra toda a distribuição de biomassa na área de interesse, sendo capaz de ser utilizado em projetos de manejo florestal sustentável.

Araújo; Franca-Rocha; Grilo (2011) estudando os índices de vegetação SAVI e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) em parcelas de caatinga preservada e degradada, observaram que o NDVI é uma boa solução para representar a cobertura vegetal, independente do período. Já Coltri *et al.* (2009) apresentaram a viabilidade da utilização dos índices de vegetação espectrais para estimar a biomassa e o estoque e o sequestro de carbono relacionando o NDVI ao Índice de Vegetação Fotossintético (PRI).

O cálculo do sequestro de CO₂ a partir da integração desses dois índices (NDVI e PRI) gera um novo índice: O CO₂ Flux (RAHMAN *et al.*, 2001). Cerqueira; Franca-Rocha (2007) compararam tipos de vegetação e fluxo de CO₂ no Bioma Caatinga, utilizando dois métodos de estudo. Sendo um chamado convencional com a utilização de derrubadas de árvores para mapeamento e amostragem da tipologia vegetal e outro método utilizando as geotecnologias, compreenderam que o uso das geotecnologias remete dados preciso de sequestro de carbono sem ocasionar danos a natureza.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F. A. L.; ALVES, C. A. B.; ROBERTO, P.; ALVES, R.; DE OLIVEIRA, R., ROSA, J. H.; SOUTO, J. S. Caracterização da macro e mesofauna edáfica sobre um fragmento remanescente de “mata atlântica” em Areia-PB. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 384-391, 2014.
- ANDERSON, J. M. Why should we care about soil fauna? **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 8, p. 835-842, 2009.
- ARAÚJO, D. M. B; FRANCA-ROCHA, W. J. S; GRILO, D. C. Análise dos Índices de Vegetação EVI e SAVI para o Estudo de Mapeamento de Sequestro de Carbono em Caatinga. In: V GEONORDESTE - SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, Feira de Santana. **Anais**. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana-BA, v. 5, p. 302-305. 2011.
- BARROSO, R. F. **Atributos e classificação de perfil do solo em áreas de caatinga no semiárido na Paraíba**. 2017. 87f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais). Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande, Patos-PB, 2017.
- BATISTA, M. D. A.; DE PAIVA, D. W.; MARCOLINO, A. **Solos para todos: perguntas e respostas**. 2º edição. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 87 p.
- BERUDE, M.; GALOTE, J. K.; PINTO, P. H.; AMARAL, A. A mesofauna do solo e sua importância como bioindicadora. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 1-14, 2015.
- BONATO, F.; MARTINS, A. K. E.; BARROS, E. K. E. Uso de geotecnologia para a classificação de pastagens em diferentes níveis de degradação da bacia do Ribeirão Matança localizada no Município de Pium - TO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais**. v.13, p. 791-798, 2007.
- CARVALHO, L. A. D.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C. A. D.; CENTURION, J. F. Spatial variability of soil physical properties in two management systems in sugarcane crop. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 60-68, 2012.
- CARRARA, Â. A.; ZAIDAN, R. T.; PAULA, L. P. D. Geoprocessamento aplicado à história agrária: o vínculo da jaguara. **Revista de História**, n. 177, p. 01 - 28, 2018.
- CASTALDELLI, A.; SAMPAIO, S. C.; TESSARO, D.; HERRMANN, D. D. R.; SORACE, M. Meso e macrofauna de solo cultivado com milho e irrigado com água residuária da suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 905-917, 2015.
- CATANOZI, G. Importância dos aspectos ecológicos na análise qualiquantitativa da macrofauna edáfica. **Rev. Ibirapuera**, n. 1, p. 42-52, 2011.

CERQUEIRA, D. B.; FRANCA-ROCHA, W. Relação entre tipos de vegetação e fluxo de CO₂ no Bioma Caatinga: Estudo de caso em Rio de Contas - BA. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: **Anais do XIII SBSR**, p. 2413–2419, 2007.

COLTRI, P. P.; RAMIREZ, G. M.; WALTER, M. K. C.; JUNIOR, J. Z.; PINTO, H. S., NASCIMENTO, C. R.; GONÇALVES, R. D. V.L. Utilização de índices de vegetação para estimativas não destrutivas da biomassa, estoque e sequestro de carbono do cafeeiro arábica. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, p. 121-128, 2009.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; KRÜGER, C. A. M. B.; BERGONCI, J. I.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 780-790, 2010.

DEDECEK, R. A.; FIER, I. S. N.; SPELTZ, R. Influência do sítio no desenvolvimento do *Pinus taeda* aos 22 anos: 1. características físico-hídricas e químicas do solo. **Floresta**, v. 38, n. 3, p. 507-516, 2008.

DONATONI, K. A. P.; BIANCHO, L. E.; APARECIDO, C. F. F.; CARVALHO, J. B. de. Temperatura do solo em áreas irrigadas com diferentes coberturas vegetais. **UNIFUNEC Científica Multidisciplinar**, v. 10, n. 12, p. 1–13, 2021.

ELIAS, E. A. **Modelagem analítica do perfil de temperatura no solo**. 2004. 67 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba - SP, 2004.

FARIA, A. B. C. Monitoramento da temperatura atmosférica visando o conforto térmico e a conservação de florestas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 20, n. 1, p. 032-040, 2021.

FERREIRA, M. M. **Física do solo**. Lavras: Esal/Faepe, 1993. 63 p.

FENG, C.; MENG, Q.; ZHANG, Y. Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. **Energy And Buildings**, v. 42, n. 6, p. 959-965, 2010.

FENNER, P. T. **Relações entre tráfego, solo e desenvolvimento florestal na colheita de madeira**. 1999. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Livre-Docência, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Unesp, São Paulo, 1999.

GASPARIM, E.; RICIERI, R. P.; DE LIMA SILVA, S.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 107-115, 2005.

GÓMEZ, J. M. R. **Modelling Density and Temperature Profiles in the Solar Corona Based on Solar Surface Magnetic Field Observations During the Solar Cycle 23 and 24**. 2017. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geofísica Espacial, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

GÓMEZ, J. M.; CARLESSO, F.; VIEIRA, L. E.; SILVA, L. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, p. 1-12, 2018.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 5, n. 0, p. 161–179, 2013.

JAPIASSÚ, A.; SOUTO, J.S.; MESQUITA O. F.; SOUTO, P. C.; PEREIRA, V. E. K.; AGRA, P. M. F.; ROLIM, A. B.; NETO, J. O. N. Dinâmica da formação de serrapilheira e fauna do solo no semiárido paraibano. **Intesa - Informativo Técnico do Semiárido**, v. 12, n. 1, p. 01-14, 2018.

KÜHN, J.; BRENNING, A.; WEHRHAN, M.; KOSZINSKI, S.; SOMMER, M. Interpretation of electrical conductivity patterns by soil properties and geological maps for precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 10, n. 6, p. 490-507, 2008.

LEVIGHIN, S. C; VIADANA, A. G. Perfis Geo-ecológicos como técnica para os estudos das condições ambientais. **Sociedade & Natureza**, v. 14 e 15, n. 26 a 29, p. 5-14, 2013.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012. 346 p.

LU, D. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 7, p. 1297-1328, 2006.

MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 495-502, 2008.

MACIEL NETO, J. de A. **Caracterização térmica dos solos**. 2011. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

MELO, F. V.; BROWN, G. G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J. N.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, J. W.; ZANETTI, R. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Boletim Informativo da SBCS**, v. 1, p. 38-42. 2009.

MENEZES, M. C. **Efeitos do uso do solo sobre a vegetação: estudo de caso em inselberg no Cariri paraibano**. 2016. 163 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; PEREIRA, A. V. B. **Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção: opções para Cerrado e Caatinga**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, 266 p. 2016.

MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MOURA, M. A. L.; QUERINO, C. A. S. Variação sazonal do fluxo de calor no solo dentro de um manguezal tropical. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 296-302, 2010.

MUNIZ, P. M. **Estudo do comportamento térmico do solo para solarização em latossolo**. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2019.

PEREIRA, O. A.; NOGUEIRA, J. S.; ARRUDA, J. C.; BIUDES, M. S. Descrição do método da razão de Bowen modificada para estimativa do fluxo vertical de CO₂. In: José de Souza Nogueira; Erondina Azevedo de Lima. (Org.). **Coletânea Física Ambiental**. 1ed. São Paulo - SP: Baraúna, v. 1, p. 129-137, 2011

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO, R. A. **Física do solo com problemas resolvidos**. 2. ed. Curitiba: Revisada e Ampliada, 2015. 474 p.

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; QUERINO, J. K. A. D. S.; VON RADOW, C.; MARQUES FILHO, A. D. O. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas - Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 204-214, 2011.

RAHMAN, A. F.; GAMON, J. A.; FUENTES, D. A.; ROBERTS, D. A.; PRENTISS, D. Modeling spatially distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 106, n. 24, p. 33579-33591, 2001.

RESENDE, A. S. D.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C.; RODRIGUES, K. D. M.; CAMILO, F. D. L.; CORREIA, M. E. F.; DECHEN, S. C. F. Fauna do solo ao longo do processo de sucessão ecológica em voçoroca revegetada no município de Pinheiral – RJ. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 355-364, 2016.

RIGATTO, P. A. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose kraft**. 2002. 131 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SANTOS, M. C. dos. **Solos do semiárido do Brasil. Cadernos do Semiárido - Solos do Semiárido do Brasil** 2. ed. Recife: Edufrpe, 2017. 55 p.

SANTOS, G. R. dos; ARAUJO, K. D; SILVA, F. G. Macrofauna edáfica na Estação Ecológica Curral do Meio, Caatinga Alagoana. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, n. 2, p. 01-21, 2018.

SILANS, A. P. de; SILVA, F. M. da; BARBOSA, F. de A. dos R. Determinação in loco da difusividade térmica num solo da região de Caatinga (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 41-48, 2006.

SILVA, M. H. S.; ZANON, L. F.; LUIZ, L. F.; CARREGA, M. A. L. T.; EUGÊNIO, T. N. de O. B. Análise dos aspectos biogeográficos da Área de Proteção Ambiental do Jupiá em Três Lagoas, MS. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, n. 27, p. 120-147, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TERRA, L. G.; SCHIAVO, B.; BORBA, W.; DUARTE, M. M. Geoprocessamento algébrico utilizado na caracterização da fragilidade ambiental do município de Santiago-RS. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 57, p. 167-174, 2016.

WAZILEWSKI, W. T.; WERNER, O. V.; MEDEIROS, M. Influência da temperatura do perfil do solo no desenvolvimento da cultura da soja na região oeste do Paraná. **Cultivando O Saber**, v. 4, n. 3, p. 66-76, 2011.

ZWIRTES, A. L. **Medição e simulação da temperatura e conteúdo de água em Argissolo sob resíduos de aveia**. 2017. 123 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo – Campus Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2017.

CAPÍTULO 1

INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA TROPICAL SECA

RESUMO

Os procedimentos de manejo do solo ocasionam alterações nos seus atributos físicos e químicos, caracterizando perda de qualidade, provocando desequilíbrio na sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola. Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo verificar as alterações nesses atributos, sendo esses parâmetros analisados em três áreas distintas, onde uma área era de caatinga preservada e as outras tinham sido manejadas. Nas áreas selecionadas da propriedade, foram coletadas amostras deformadas do solo para as análises físicas e químicas nas profundidades de 0-10 e de 10-20 cm. As características físicas estudadas foram: densidade do solo, densidade da partícula e porosidade total. Dentre os atributos químicos do solo estudadas tem-se: pH, teores de P, K⁺, Na⁺, H + Al⁺³, Al⁺³, Ca⁺², Mg⁺², SB, CTC e MO. Esses dados foram avaliados a partir da análise de variância, seguindo-se um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os dados também foram submetidos à Análise de Componentes Principais. A densidade do solo aumentou com a profundidade nas áreas de cultivo; já o pH apresentou maior valor na profundidade de 10 – 20 cm na área cultivada com *Anadenanthera macrocarpa*. Os teores de potássio disponíveis foram mais elevados na área com o cultivo de *Moringa oleifera*, porém os maiores teores de fósforo foram encontrados em ambas as áreas manejadas. A matéria orgânica ficou mais associada a área de vegetação nativa, tendo similaridade com a capacidade de troca catiônica e sendo inversamente proporcional a densidade do solo.

Palavras-chave: Caatinga; atributos físicos do solo; atributos químicos do solo.

ABSTRACT

Soil management procedures cause changes in its physical and chemical attributes, characterizing loss of quality, causing imbalance in the environmental and economic sustainability of agricultural activity. Therefore, the present work aimed to verify changes in these attributes, and these parameters were analyzed in three different areas, where one area was of preserved caatinga and the others had been managed. In selected areas of the property, deformed soil samples were collected for physical and chemical analysis at depths of 0-10 and 10-20 cm. The physical characteristics studied were: soil density, particle density and total porosity. Among the soil chemical attributes studied are: pH, P, K^+ , Na^+ , $H^+ + Al^{+3}$, Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SB, CTC and MO. These data were evaluated using analysis of variance, following a completely randomized design, with four replications. Means were compared using the Tukey test at a 5% probability level. The data were also subjected to Principal Component Analysis. Soil density increased with depth in the cultivated areas; the pH showed a higher value at a depth of 10 – 20 cm in the area cultivated with *Anadenanthera macrocarpa*. Available potassium contents were higher in the area with *Moringa oleifera* cultivation, however the highest phosphorus contents were found in both managed areas. Organic matter was more associated with the area of native vegetation, having similarity with the cation exchange capacity and being inversely proportional to soil density.

Keywords: Caatinga; physical attributes of the soil; soil chemical attributes.

INTRODUÇÃO

Os procedimentos de manejo do solo ocasionam alterações nos seus atributos físicos, químicos e biológicos, caracterizando perda de qualidade, provocando desequilíbrio na sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (DENGIZ, 2019). Olhando por outra perspectiva, a boa qualidade desses atributos favorece um ambiente adequado para o crescimento e desenvolvimento das plantas, possibilitando um equilíbrio de diversidade de organismos que habitam no solo (TAKOUTSING *et al.*, 2016).

Qualquer mudança que aconteça no solo pode mexer diretamente na sua estrutura e atividade biológica, por consequência, sua fertilidade que pode promover impactos negativos nos agroecossistemas, trazendo prejuízo à sua qualidade e produtividade das culturas (SAMA EI *et al.*, 2022). Portanto, o entendimento e a quantificação do uso e manejo do solo na sua qualidade são essenciais na evolução de sistemas agrícolas sustentáveis (LI *et al.*, 2019).

Logo, o nível de mudanças na qualidade do solo pode ser determinado pela medida do estado atual de determinados atributos por comparação com o estado natural do solo, sem a intervenção do homem, ou com valores considerados ideais (SILVA *et al.*, 2015). Portanto, é indispensável o uso de um conjunto mínimo de indicadores que evidencie particularidades como a facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, utilização abrangente e sensibilidade a variações de manejo (SWANEPOEL *et al.*, 2014).

A importância por pesquisas que tem como objetivo avaliar as alterações dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, tendo como parâmetro as diversas condições de manejo, principalmente relacionado com a interferência antrópica ou de forma preservada, aumentou significativamente nos últimos anos (SAMA EI *et al.*, 2022). Habitualmente, nas pesquisas se tem sugestões de avaliações após um certo período de tempo de cultivo, pois a compreensão de mudanças significativas no solo decorre das condições do clima e do tipo de manejo (RIAHINIA; EMAMI, 2021)

Na região Imediata de Patos, até então, existem poucas informações relacionado a estudos sobre identificação de indicadores de alterações químicas, físicas e biológicas em áreas com diferentes sistemas de manejo, tendo como referência o solo sob condições preservadas.

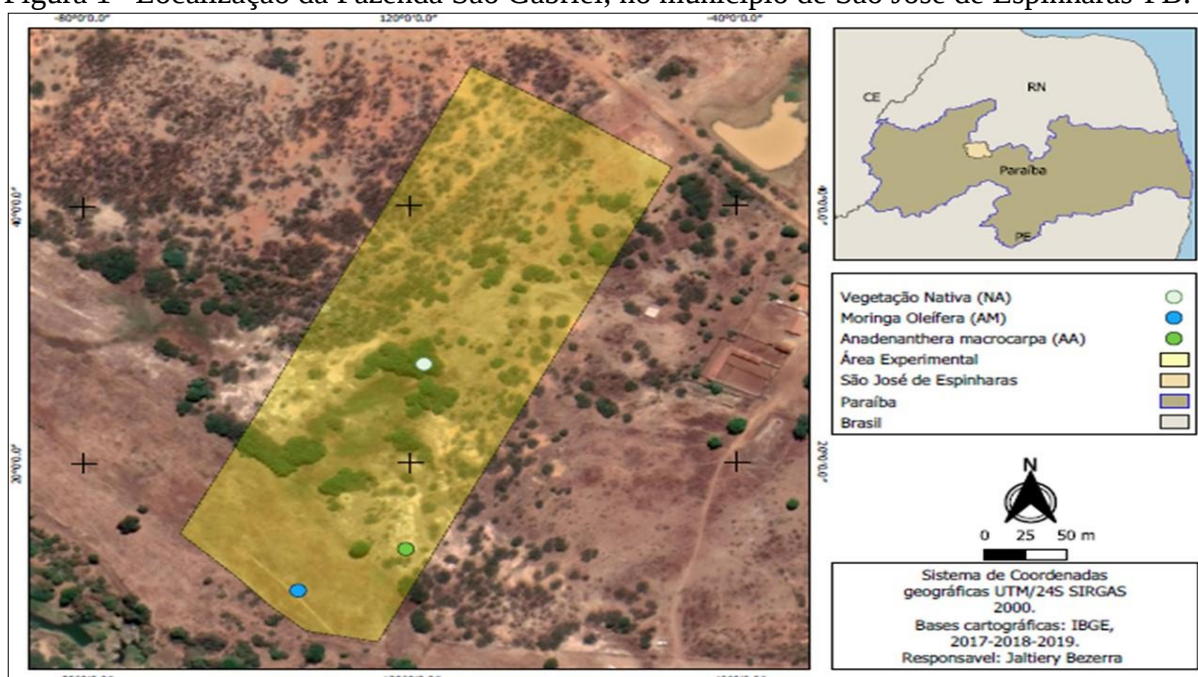
Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo identificar os atributos a serem utilizados como indicadores de qualidade do solo, sendo esses parâmetros analisados em uma área era de caatinga preservada e em áreas com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* e *Moringa oleifera*, respectivamente.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda São Gabriel, localizada nas imediações do município de São José de Espinharas, situado na região imediata de Patos (Figura 1). De acordo com Koppen – Geiger o clima local se enquadra no tipo BSh, tropical semiárido (ÁLVARES, 2014), apresentando temperatura média anual de 28°C (SOUZA *et al.*, 2016) com uma pluviosidade de 884,7 mm (AESAs, 2020). O relevo possui características ondulado e suave ondulado, com presença de caatinga hiperxerófila.

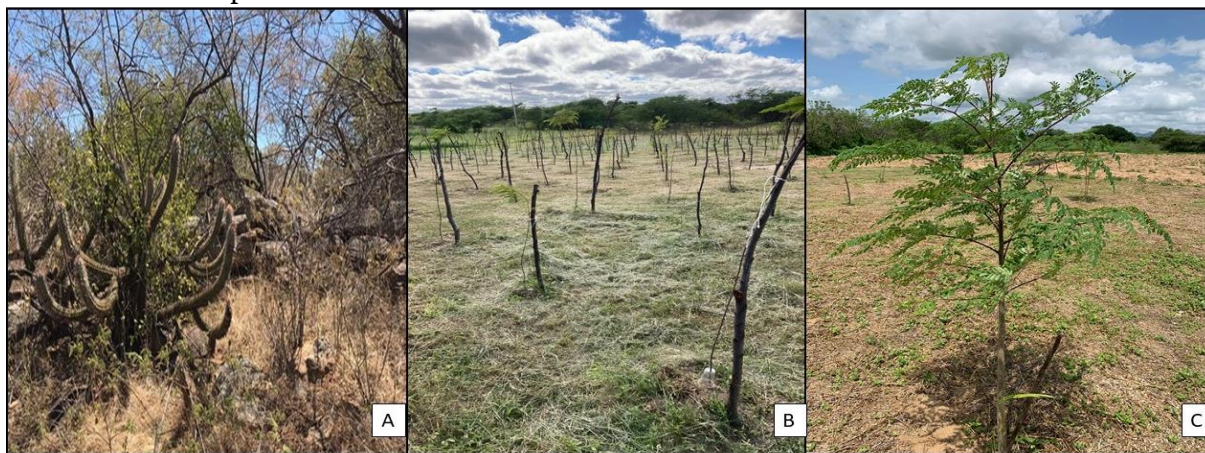
Figura 1 –Localização da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022)

Para o estudo foram selecionadas três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleífera* (AM) (Figura 2). Os dados referentes as áreas de estudo, encontram-se na tabela 1.

Figura 2 – Áreas (A-Vegetação nativa; B- cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* e C- cultivo da *Moringa oleifera*) selecionadas para estudos na Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022)

Tabela 1 – Características das áreas estudadas na Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.

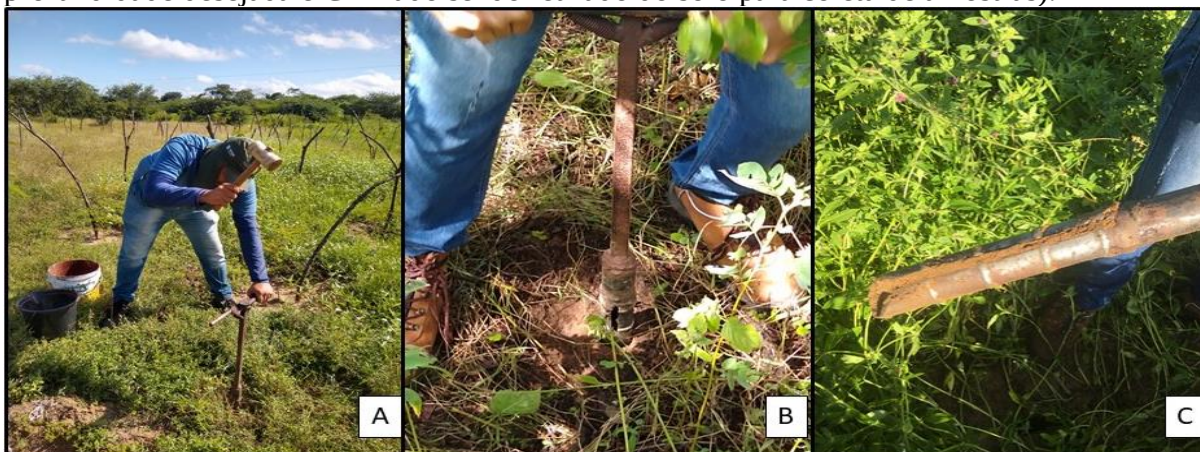
Áreas	Coordenadas geográficas	Tipo de manejo
NA	06°53'25'' S 37°18'25'' O	Área localizada na parte mais alta da propriedade, com solo caracterizado como sendo Cambissolo Háplico Ta Eutróficos (MONTEIRO, 2021) onde apresenta uma vegetação nativa, típica de caatinga hiperxerófila.
AA	06°53'34'' S 37°18'28'' O	Área com solo caracterizado como sendo Planossolo Nátrico Órtico típico (MONTEIRO, 2021) que possui uma cobertura vegetal com estratos herbáceos e com presença da espécie <i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema-preta) vegetação primária típica da Caatinga. Atualmente está sendo usada para o plantio da espécie florestal <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (angico) com o uso de hidrogel.
AM	06°53'34'' S 37°18'30'' O	Área com solo caracterizado como Neossolo Flúvico Psamítico eutróico (MONTEIRO, 2021) que possui uma cobertura vegetal com estratos herbáceos e com presença de <i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema-preta) vegetação primária típica da Caatinga. Atualmente está sendo usada para o plantio da espécie florestal <i>Moringa oleifera</i> (moringa), sendo irrigado periodicamente.

Fonte: Autor (2022)

Nas áreas selecionadas da propriedade (NA, AA e AM), foram coletadas amostras deformadas de solo para a caracterização dos atributos físicos, como também analisar os atributos químicos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Figura 3). A escolha dessas camadas fundamentou-se no fato de que o maior volume do sistema radicular das culturas e as maiores

alterações químicas e físicas em solos cultivados em plantio convencional ocorrem na camada de 0-20 cm de profundidade.

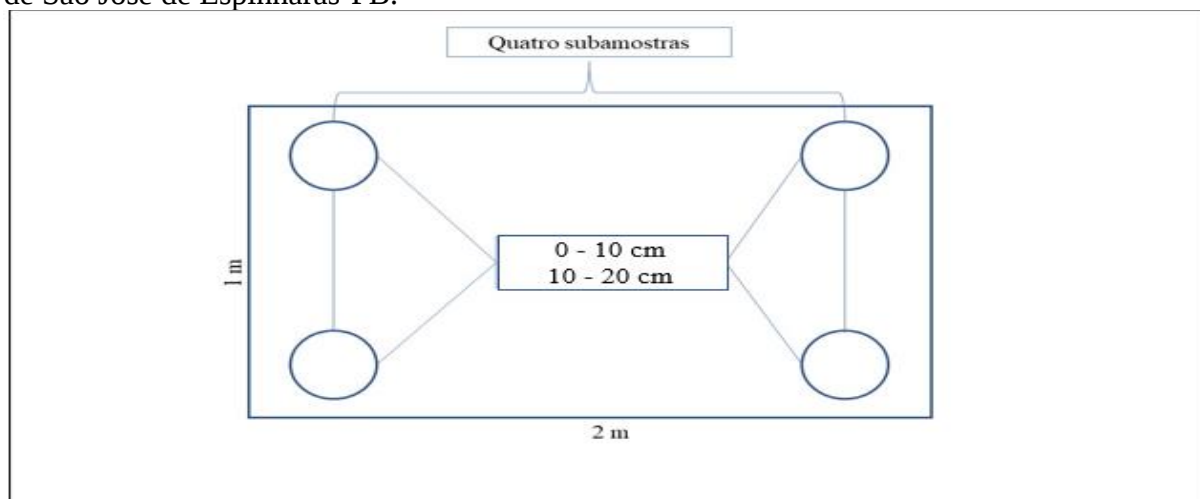
Figura 3 – Coletas de solo para análise nas diferentes áreas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB (A- Trado sendo colocado no solo, B- Trado na profundidade desejada e C- Trado sendo retirado do solo para coleta de amostras).



Fonte: Autor (2022)

Para amostragem do solo foram traçados planos de coleta que consistiram na divisão das áreas de estudo em subáreas de acordo com a atividade desenvolvida (vegetação nativa (NA), cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* (AA) e outra com o cultivo da *Moringa oleifera* (AM)). Cada área estudada foi dividida em quatro retângulos (Figura 4), considerados como repetições, sendo coletados nas quatro extremidades amostras de solos (0–10 cm e 10-20 cm), que após homogeneizadas constituiu uma amostra composta, consequentemente, foram 32 amostras simples por área e oito amostras compostas, sendo quatro na camada de 0-10 cm e quatro na camada de 10- 20 cm.

Figura 4 – Círculos na extremidade do retângulo representam o local de coleta das amostras de solo para análise química e físicas nas diferentes áreas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022)

As características físicas estudadas foram: densidade do solo (Ds), densidade da partícula (Dp) e porosidade total (PT). Os atributos químicos do solo estudados foram: pH, teores de P, K⁺, Na⁺, H⁺ + Al⁺³, Al⁺³, Ca⁺², Mg⁺², MO e, soma de bases e CTC.

A Ds foi obtida pela razão entre o peso da amostra seca a 105 °C e o volume do cilindro, a Dp pelo método do balão volumétrico com água fervente e a PT pela expressão:

Onde:

$$PT = 1 - \left(\frac{Ds}{Dp} \right) \times 100$$

Ds = densidade do solo

Dp = densidade de partículas (EMBRAPA, 1997).

Os atributos químicos foram: pH em água (1:2,5), bases trocáveis (Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ e K⁺), P disponível e acidez potencial (H⁺ + Al⁺³) determinadas conforme Embrapa (1997), assim como foram estimadas ainda a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC) e a matéria orgânica (MO), sendo essa pelo método Walkey-Black (1934), todas essas análises foram feitas no laboratório de solos da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), do Centro de Ciências Agrárias.

Análise estatística

Os efeitos dos sistemas de uso do solo sobre suas características físicas, químicas em cada camada, foram avaliados a partir da análise de variância, seguindo-se um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. As médias foram comparadas pelo teste Tukey, até o nível de 5% de probabilidade. Os dados também foram submetidos à Análise de Componentes Principais (ACP).

A Análise de Componentes Principais objetivou sintetizar a variação multidimensional dos dados, ordenando-os nos eixos, de acordo com suas similaridades em termos das variáveis utilizadas (TER-BRAAK, 1986).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Indicadores físicos de qualidade do solo

Os solos estudados apresentaram uma variação na classe textural (Tabela 2), sendo que a área de vegetação nativa (NA) apresentou textura franco-argilo-arenosa em sua superfície (0–10 cm), diferente da área de cultivo do angico que foi franco-arenosa e da área de cultivo da *Moringa oleifera* que apresentou textura arenosa.

Tabela 2. Médias dos atributos físicos de amostras de solos coletadas nas diferentes áreas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.

Profundidade (cm)	Sistema de manejo de solo		
	NA	AA	AM
-----Classe textural-----			
0–10	Franco-argilo-arenosa	Franco-arenosa	Arenosa
10–20	Franco-argilo-arenosa	Franca	Arenosa
-----Densidade do solo, g cm ⁻³ -----			
0–10	1,36 Aa	1,28 Bc	1,33 Bb
10–20	1,21 Bc	1,34 Ab	1,45 Aa
-----Densidade de partículas, g cm ⁻³ -----			
0–10	2,63 Bc	2,64 Ab	2,65 Ba
10–20	2,68 Aa	2,64 Ac	2,66 Ab
-----Porosidade total, m ³ m ⁻³ -----			
0–10	0,48 Bc	0,52 Aa	0,50 Ab
10–20	0,55 Aa	0,49 Bb	0,45 Bc
-----Areia, g kg ⁻¹ -----			
0–10	545 Ab	533 Ac	880 Aa
10–20	517 Bb	406 Bc	875 Ba
-----Silte, g kg ⁻¹ -----			
0–10	248 Ab	363 Ba	80 Bc
10–20	235 Bb	405 Aa	83 Ac
-----Argila, g kg ⁻¹ -----			
0–10	207 Ba	104 Bb	40 Ac
10–20	248 Aa	189 Ab	40 Ac

Médias seguidas de mesma letra sendo minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para uma mesma área e camada não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Cam.: Camada; NA: Vegetação nativa; AA: cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* popularmente conhecida como Angico; AM: cultivo da *Moringa Oleífera*. Fonte: Autor (2022)

Marinho *et al.* (2016) ao estudarem atributos físicos em Cambissolos sob diferentes usos agrícolas no semiárido brasileiro, observaram que em áreas de mata nativa existem uma predominância de classificação textural franco-argilo-arenosa na profundidade de 0-10 cm corroborando com os dados dessa pesquisa.

Observa-se que a área de cultivo da *Moringa oleifera* (AM) foi a única com textura arenosa nas profundidades de 0–10 cm e 10–20 cm, essa é uma área mais próxima ao Rio Espinharas, onde nas margens desse rio predominam os Neossolos (SANTOS, 2017). Essas características da fração areia estão provavelmente ligadas a classe de solo comum na região,

que são formados por sedimentos aluviais (XIMENES *et al.*, 2019) e com predominância de textura arenosa (EMBRAPA, 2013).

A densidade do solo (Tabela 2) diferiu estatisticamente nas áreas e nas profundidades avaliadas. Observando as áreas cultivadas (angico e moringa) a densidade do solo aumentou com a profundidade, sendo essa uma característica esperada (CARVALHO *et al.*, 2020) diferente da área de vegetação nativa que por não ter sido manejada apresentou uma densidade maior na superfície. Corroborando com essa informação Marcolin; Klein (2011) afirmam que a D_s varia conforme a textura, sendo que os solos arenosos apresentam uma maior D_s comparando com os solos argilosos. Fernandes *et al.* (2018) estudando os diferentes manejos de solo em uma área de predominância de cambissolo no semiárido potiguar, observou que áreas de mata nativa com vegetação de caatinga hiperxerófila a densidade do solo na profundidade superficial (0-10) foi superior em relação a profundidade subsuperficial (10-20), atribuindo isso a uma característica natural dos solos da caatinga onde não passaram por práticas de cultivos.

O esforço para encontrar um parâmetro para analisar a qualidade do solo, que possa orientar na determinação das melhores condições da qualidade física, tem sido encontrado na literatura, embora muitas vezes esses parâmetros sejam considerados empíricos, devido as variáveis e condições que mudam devido a característica de cada local. Em caráter experimental, observa-se que as plantas continuam se desenvolvendo em solos que muitas vezes apresentam, para algumas propriedades, condições inadequadas em termos teóricos.

Diante desse esforço Cherubin *et al.* (2016) desenvolveram um índice de qualidade do solo, adaptado de Reynolds *et al.* (2002), onde identificaram a densidade do solo crítica que limita o desenvolvimento da planta, sendo a densidade de 1,4 a 1,8 g cm⁻³ para classe textural franco-argiloso; 1,4 a 1,6 g cm⁻³ para o argiloso e 1,6 a 1,8 g cm⁻³ para o franco arenoso. Comparando esses valores com o que foi encontrado nesse estudo (Tabela 2), pode-se afirmar que as áreas de cultivo têm um índice de qualidade bom para os solos e desenvolvimento das plantas, sendo que na área preservada pode-se encontrar alguma dificuldade para desenvolvimento radicular, pois a densidade na profundidade de 0-10 cm ficou próximo dos valores críticos encontrados pelos autores, supracitados.

A densidade de partículas é um atributo físico básico do solo (QIN *et al.*, 2022) que está associada a composição mineralógica e orgânica do solo (GOMES *et al.*, 2019). Os maiores valores estão associados à presença de óxidos de ferro de forma significativa, onde favorecem para que a média geral da densidade das partículas sejam mais altas que os valores tradicionais.

Dessa forma, solos que indicam ou expressam minerais mais pesados em grande quantidade, a Dp será maior (GOMES et al., 2019). De acordo com Effgen *et al.* (2006) solo ideal é aquele que apresenta densidade de partícula em torno 2,60 a 2,75 g cm⁻³.

Diante dessa afirmação, esse estudo (Tabela 2) apresenta valores de Dp ideal em todas as áreas avaliadas de acordo com os valores estabelecidos pelos autores supracitados. Em um outro estudo realizado por Fernandes *et al.* (2018) sobre os diferentes manejos de solo no semiárido do Rio Grande do Norte também encontraram valores de Dp que corroboram com o que foi observado na tabela 2.

Entender a porosidade total auxilia na compreensão da manutenção dos solos agricultáveis. Com a intervenção antrópica, principalmente com a utilização de máquinas, existe uma compactação do solo, consequentemente, afeta na porosidade, responsável diretamente pela movimentação hídrica no solo (SILVA *et al.*, 2020). Nesse estudo, a porosidade total (Tabela 2) apresentou valores inversamente proporcionais relacionadas com a densidade do solo, ou seja, profundidades onde foram observadas maior valor de densidade do solo, a porosidade total foi menor.

Santiago *et al.* (2018) analisado o índice de qualidade do solo em dois sistemas de cultivo no semiárido do Rio Grande do Norte observaram esse mesmo parâmetro, como também Silva *et al.* (2021) estudando a qualidade física do solo no semiárido do estado da Paraíba. Segundo Oliveira *et al.* (2015) a porosidade total é importante indicador de qualidade do solo, uma vez que maior porosidade reflete em condições que o solo não se alterou com a pressão exercida pelo tráfego e pelo revolvimento. Considerando o valor crítico de macroporos igual a 10% (AMARO FILHO *et al.*, 2008), nenhuma das áreas e em nenhuma profundidade chegou ao limite de aeração.

Indicadores químicos de qualidade do solo

O maior valor de pH do solo foi observado para o solo manejado com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* na profundidade de 10–20 cm, enquanto que as áreas de vegetação nativa e com o cultivo da *Moringa oleifera*, apresentaram um menor valor em relação a essa área supracitada (Tabela 3).

Tabela 3. Médias dos atributos químicos de amostras de solos coletadas nas diferentes áreas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.

Camadas (cm)	Sistema de manejo de solo		
	NA	AA	AM
pH, H ₂ O (1:2,5)			
0 – 10	6,2 Bb	6,4 Ba	6,1 Bb
10 – 20	6,7 Ab	8,4 Aa	6,2 Ac
P, (mg dm ⁻³)			
0 – 10	1,73 Bc	26,09 Bb	39,09 Ba
10 – 20	3,10 Ac	61,07 Aa	58,59 Ab
K ⁺ , (mg dm ⁻³)			
0 – 10	98,84 Aa	86,10 Ab	67,41 Bc
10 – 20	42,67 Bc	50,29 Bb	70,02 Aa
Na, (cmol _c dm ⁻³)			
0 – 10	0,87 Ba	0,55 Bb	0,03 Ac
10 – 20	1,99 Ab	2,94 Aa	0,02 Bc
Al ³⁺ , (cmol _c dm ⁻³)			
0 – 10	0,15 Aa	0,05 Ac	0,10 Ab
10 – 20	0,10 Ba	0,00 Bc	0,07 Bb
H ⁺ + Al ³⁺ , (cmol _c dm ⁻³)			
0 – 10	2,03 Ab	2,39 Aa	0,00 Ac
0 – 20	0,00 Bb	0,64 Ba	0,00 Ab
Ca ²⁺ , (cmol _c dm ⁻³)			
0 – 10	3,14 Bb	3,28 Ba	2,01 Ac
10 – 20	4,56 Ab	5,40 Aa	1,58 Bc
Mg ²⁺ , (cmol _c dm ⁻³)			
0 – 10	5,14 Ba	1,51 Bb	0,78 Ac
10 – 20	7,68 Aa	2,69 Ab	0,67 Bc
SB, (cmol _c dm ⁻³)			
0 – 10	9,40 Ba	5,56 Bb	2,99 Ac
10 – 20	14,34 Aa	11,16 Ab	2,45 Bc
CTC, (cmol _c dm ⁻³)			
0 – 10	11,79 Ba	7,59 Bb	2,99 Ac
10 – 20	14,98 Aa	11,16 Ab	2,45 Bc
MO, (g kg ⁻¹)			
0 – 10	8,77 Aa	8,45 Bb	6,74 Ac
10 – 20	6,74 Bb	9,41 Aa	3,74 Bc

Médias seguidas de mesma letra sendo minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, para uma mesma área e camada não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; Cam.: Camada; NA: Vegetação nativa; AA: cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* popularmente conhecida como Angico; AM: cultivo da *Moringa Oleifera*. Fonte: Autor (2022)

Essa área (AA) foi classificada como textura franca-arenosa na profundidade de 0 – 10 cm e franca na profundidade de 10–20 cm, sendo o pH nessa última profundidade mais alto. De acordo com Santos *et al.* (2021) estudando o pH e sua relação com a textura do solo, afirmaram que a classe textural não exerce influência no pH, onde o mesmo está mais relacionado com a parte química. Essa alteração no pH pode estar relacionado ao uso do hidrogel que foi aplicado no solo no período do plantio da espécie; isto pode ser confirmado por Navroski *et al.* (2016) ao estudarem as características de substratos à base de turfa de *Sphagno*, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK, associado ao uso do hidrogel,

observaram essa mesma tendência, que possivelmente sofre elevação devido as propriedades do polímero.

O pH do solo é um atributo que dá um indício da disponibilidade dos nutrientes para a planta; assim sendo, antes de iniciar o manejo do solo, deve-se conhecer as reais condições de sua acidez, ou alcalinidade, para que os nutrientes sejam disponibilizados em uma faixa ideal, sendo essa entre 5,5 a 6,5 (MALAVOLTA, 1979). De acordo com essa afirmação, observa-se que o pH da área de cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* na profundidade de 10–20 cm não está ideal, sendo necessário realizar práticas de manejo para deixar o mesmo nessa faixa. Observando as outras áreas (NA e AM), o pH encontra-se na faixa adequada de disponibilidade de nutrientes.

Os maiores valores de P disponíveis foram encontrados nos solos manejados (AA e AM), que pode estar relacionado a adubação realizada nessas áreas no período do plantio. Silva *et al.* (2021) estudando indicadores de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo, observaram essa mesma tendência, onde os solos manejados possuem maiores teores de fósforo do que a área de vegetação preservada. Interpretando esses valores, observa-se que de acordo com a Embrapa (2015), os valores de P estão adequados para os solos manejados (AA e AM).

Seguindo a mesma tabela de interpretação observa-se os teores de K^+ , eles são considerados médios nas profundidades de 10–20 cm para área de vegetação nativa e para área de cultivo do angico, porém para área de cultivo da *Moringa oleifera* foi considerado alto. Essa é uma característica que pode estar relacionado à adubação como também a solos que sofrem pouco intemperismo (EMBRAPA, 2015). Adekiya *et al.* (2019) estudando o efeito da adubação verde em hortaliças, utilizando folhas de *Moringa oleifera*, observaram um aumento na qualidade do solo, tendo como destaque os altos níveis de potássio, onde melhorou a qualidade dos frutos.

O sódio, apesar de não ser considerando um nutriente essencial para as plantas, auxilia no crescimento e desenvolvimento da mesma, onde exerce algumas funções benéficas. No solo, o seu excesso pode colaborar para o processo de salinização (BARBOSA *et al.*, 2022). Observa-se na tabela 3 que a maior concentração de sódio foi para área cultivada com espécie *Anadenanthera macrocarpa* na profundidade de 10-20 cm, conseqüentemente, o pH também foi maior nessa área e profundidade.

Ainda na tabela 3, observa-se que os teores de Al^{+3} são considerados baixos (EMBRAPA, 2015), ou seja, não tendo capacidade de inibir o sistema radicular da planta

(PELEJA *et al.*, 2020). A acidez potencial é composta pela acidez trocável e não trocável e é representada pelo $H^+ + Al^{+3}$.

O Ca^{2+} é imprescindível para manter a integridade estrutural e funcional das membranas das paredes celulares e o Mg^{2+} apresenta participação estrutural na clorofila e ativador enzimático em muitos processos de vida das plantas (MALAVOLTA *et al.*, 1997). Analisando a tabela 3, utilizando como parâmetro a tabela de interpretação de análise de solo da Embrapa (2015) os valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram altos para as áreas de vegetação nativa e de cultivo de angico, e médio para área com *Moringa oleifera*, nas duas profundidades.

Quando se observa os valores de Mg^{2+} , visualiza-se que a área de vegetação nativa tem valores bem superiores do que as áreas cultivadas (AA e AM). De acordo com Samani *et al.* (2020), ao estudarem o efeito do uso da terra nos atributos químicos e físicos do solo, obtiveram as maiores proporções de Mg^{2+} no solo com sistemas agroflorestais. Segundo os autores, isso pode ter ocorrido devido às copas das árvores que criaram condições adequadas para intemperismo mineral com temperatura e umidade ideais e, assim, maiores quantidades de Mg^{2+} foram liberadas.

O somatório de Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ e Na^+ representa a quantidade total de bases trocáveis presente no solo, ou seja, a soma de bases e o seu valor é levado em consideração para a determinação da CTC, influenciando diretamente na fertilidade do solo. Desse modo é um indicador útil para comprovar a qualidade do solo (BARBOSA *et al.*, 2022). Estudos na região semiárida brasileira apontam que maiores valores de SB estão relacionados a áreas que se encontram em estado maior de equilíbrio ecológico (TRAVASSOS; SOUZA, 2011; SILVA *et al.*, 2015; SANTIAGO *et al.*, 2018).

Corroborando com essa afirmativa, Iwata *et al.* (2020), no semiárido cearense analisaram a soma de bases em área de pousio e em área de manejo conservacionista, obtiveram maiores valores para áreas com maior equilíbrio ambiental, atestando também a eficácia desse parâmetro como indicador de qualidade química. No entanto, é importante frisar que em áreas degradadas com um alto teor salino é possível que soma de bases alcance valores altos em consequência do excesso de Na; por essa razão, não é recomendável o uso desse parâmetro de forma isolada como indicador de qualidade do solo (BARBOSA *et al.*, 2022).

Outro parâmetro que não pode ser analisado de forma isolada é a CTC que é a presença de cátions trocáveis e está relacionado a fertilidade do solo (BARBOSA *et al.*, 2022). Conforme Teixeira *et al.* (2017), esse atributo do solo representa a quantidade total de cátions trocáveis que o solo pode adsorver. Com o passar do tempo os cátions retidos na CTC são liberados,

sendo capazes de serem absorvidos pelas plantas. Os maiores valores para CTC foram observados nas áreas de vegetação nativa e cultivo de *Anadenanthera macrocarpa*, que possui altos teores de argila (Tabela 2) e matéria orgânica no solo (Tabela 3). Kassa *et al.* (2018) observaram que os altos teores de CTC no solo estão relacionados com os altos teores de argila e matéria orgânica no solo, corroborando com o resultado deste trabalho.

Ao longo dos últimos anos no semiárido brasileiro tem se intensificado os estudos de matéria orgânica no solo como indicador de qualidade do solo (IWATA *et al.*, 2020). Outros pesquisadores como Araújo *et al.* (2013), observaram que a MOS pode ser utilizada como indicador básico de qualidade por ser capaz de explicar as alterações que ocorrem nos solos antropizados. Nesse estudo os maiores valores de matéria orgânica no solo foram observados para área de vegetação nativa e para área de cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa*.

Análise de componentes principais

O resultado da análise de componentes principais (ACP) conjunta para os atributos físicos e químicos do solo indicou dois componentes principais respondendo por 72,95% da variabilidade total dos dados, onde o Componente Principal 1 explicou 45,95% e o Componente Principal 2 explicou 27,00% da variabilidade total dos dados (Tabela 4).

Tabela 4. Autovalores da análise de componentes principais (ACP) para os atributos físicos e químicos do solo em área de vegetação nativa (NA), área com cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (AA) e área com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM), em São José de Espinharas-PB.

Componente Principal	Autovalores	Diferença	% total da variação dos dados
1	6,43		45,95
2	3,78	2,65	27,00

Fonte: Autor (2022)

Analisando os valores modulares dos *loadings* da tabela 5 e aplicando ao critério de escolha, onde cada componente principal tem suas variáveis mais representativas que são os mais elevados autovalores, verifica-se que para o Componente Principal 1 as variáveis que apresentaram maiores autovalores foram porosidade total, Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SB e CTC. Para o Componente Principal 2, o K^+ , $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$ e Al^{+3} foram as variáveis que expressaram maiores autovalores.

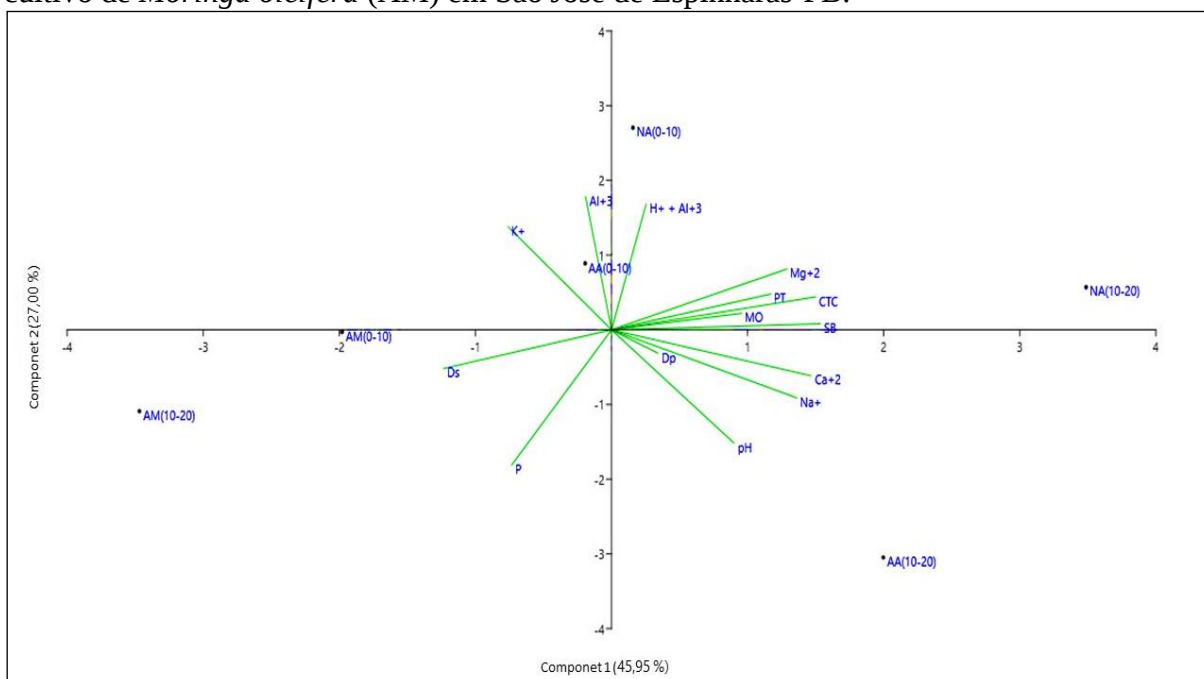
Tabela 5. Coeficientes de Estrutura da Análise de Componentes Principais (ACP) para os atributos físicos e químicos do solo em área de vegetação nativa (NA), área com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) em São José de Espinharas-PB.

Variáveis	CP 1	CP 2
Densidade do solo (g cm^{-3})	-0.31	-0.13
Densidade da partícula (g cm^{-3})	0.08	-0.08
Porosidade total (g cm^{-3})	0.29	0.12
pH H_2O (1;2,5)	0.22	-0.38
P mg dm^{-3}	-0.18	-0.45
K ⁺ mg dm^{-3}	-0.18	0.34
Na ⁺ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	0.33	-0.23
H ⁺ + Al ³⁺ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	0.06	0.42
Al ³⁺ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	-0.05	0.44
Ca ²⁺ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	0.36	-0.15
Mg ²⁺ $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	0.32	0.20
SB $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	0.38	0.02
CTC $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	0.37	0.10
MO g kg^{-1}	0.23	0.05

Fonte: Autor (2022)

Analisando a figura 5, observa-se que a densidade do solo está associada a área de cultivo da *Moringa oleifera* (AM), sendo que esse atributo físico não apresenta similaridade com a porosidade total.

Figura 5 – Análise de componentes principais dos atributos físicos e químicos do solo. Em área de vegetação nativa (NA), área com cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (AA) e área com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) em São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022)

Considerando ainda área de cultivado da *Moringa oleifera* (AM), com classe textural arenosa, observou-se que o atributo químico P está associado a essa área, visto que durante o plantio da espécie a área recebeu dosagens de fósforo em fundação; devido a isso, pode ter sido identificado esta associação maior. A baixa capacidade de retenção de água e adsorção de íons está presente em solos com textura arenosa, que são altamente permeáveis por apresentarem deficiências de fósforo e matéria orgânica (BRADY; WEIL, 2013) fato que não ocorreu nesse cultivo para o atributo químico P.

Para matéria orgânica, verificou-se que esse atributo químico ficou associado área de vegetação nativa, tendo uma similaridade com a capacidade de troca catiônica e sendo inversamente proporcional a densidade do solo. De acordo com Silva *et al.* (2019), ao fazerem uma revisão sobre a matéria orgânica e suas inter-relações com os atributos físicos do solo, constatou-se que a matéria orgânica tem uma alta relação com a capacidade troca catiônica, tendo reflexos na densidade do solo, ou seja, o aumento do depósito de matéria orgânica no solo causa diminuição na densidade.

A área de cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* apresentou uma associação maior para o pH como mostra a figura 5, tendo uma similaridade com o sódio que é inversamente proporcional ao K^+ , tendo essa concentração na profundidade de (10-20 cm). Brito *et al.* (2005) ao estudarem “Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça” observaram que o Na apresentou um decréscimo nas primeiras profundidades do solo quando era aplicado K, ou seja, após aplicação desse último nutriente o Na se movimentava para as profundidades inferiores, sendo inversamente proporcional, da mesma forma como aconteceu nesse estudo (Figura 5), corroborando ainda com os resultados encontrados, Albuquerque *et al.* (2018) estudando os atributos químicos de um solo salino-sódico observaram também uma similaridade entre pH e Na^+ .

CONCLUSÕES

1. A densidade do solo (Ds) aumentou com a profundidade nas áreas de cultivo (AA e AM), e na área de vegetação nativa a Ds foi maior já na primeira profundidade, possivelmente por não ter sido manejada.
2. Os maiores valores de fósforo (P) foram encontrados para as áreas manejadas (AA e AM), isso deve ter ocorrido devido as áreas terem recebido aplicação de P na fundação, no período do plantio.;
3. A matéria orgânica (MO) ficou mais associada a área de vegetação nativa, tendo similaridade com a capacidade de troca catiônica (CTC) e sendo inversamente proporcional a Ds, ou seja, aumento do depósito de matéria orgânica no solo causa diminuição da Ds.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. S.; FONSÊCA, N. C.; MEDEIROS, W. P. Atributos químicos em solo salino-sódico e efeito do ácido sulfúrico no crescimento da *Prosopis juliflora*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p. 1-8, 2018.
- ADEKIYA, A. O.; AGBEDE, T. M.; ABOYEJI, C. M.; DUNSIN, O.; UGBE, J. O. Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). **Journal of The Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, n. 2, p. 218-223, 2019.
- AESA – **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba**. Precipitação pluviométrica (mm), janeiro a dezembro de 2020 e janeiro a outubro de 2021 Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/climatologia/>. Acesso em: 14 nov. 2021.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 06, p. 711-728, 2014.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do Solo: Conceitos e Aplicações**. 1ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290 p.
- ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; LIMA, M. G. D. S.; FEITOSA, J. V.; SILVA, F. J. A. D.; NESS, R. L. L.; KERNTOPF, M. R. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 754-762, 2013.
- BARBOSA, T. D. C. S.; OLIVEIRA, V. P. V. Indicadores químicos e biológicos de qualidade do solo utilizados no monitoramento da degradação em ambientes semiáridos: análise do estado da arte / chemical and biological soil quality indicators used in monitoring degradation in the semiarid environments an analysis the state of the art. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 17403-17423, 2022.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2013. 716 p.
- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 52-56, 2005.
- CARVALHO, C. A.; FERREIRA, R. L. F.; ANDRADE, R. A.; BRITO, R. S.; PEREIRA, T. C. R.; LIMA, T. J. L. Atributos físicos em solos cultivados com plantas de cobertura. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 1, p. 38-41, 2020.

CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; CERRI, C. E.; FRANCO, A. L.; TORMENA, C. A.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil Quality Indexing Strategies for Evaluating Sugarcane Expansion in Brazil. **Plos One**, v. 11, n. 3, p. 1-26, 2016.

DENGIZ, O. Soil quality index for paddy fields based on standard scoring functions and weight allocation method. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, n. 3, p. 301-315, 2019.

EFFGEN, E. M.; DARDENGO, M. C. J. D.; SILVA, P. A.; PASSOS, R. R.; EFFGEN, T. A. M. Caracterização de atributos físicos de solos em área sob cultivo de sorgo no Sul do Estado do Espírito Santo. In: X ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO. **Anais**. São José dos Campos: Univap, v. 13, p. 2842-284. 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

EMBRAPA - Embrapa Tabuleiros Costeiros. **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 15p.

FERNANDES, Y. A. D.; SILVA, M. T. O.; PORTELA, J. C.; FARIAS, P. K. P.; SANTOS, S. T.; GONDIM, J. E. F. Densidade do solo e resistência mecânica à penetração de cambissolos em agroecossistemas no semiárido potiguar. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 3, p. 2673-2682, 2018.

GOMES, F.; SANTOS, R.; GUARIZ, H. Levantamento de propriedades de densidade aparente, densidade de partículas e porosidade total em latossolos amarelo. **Agrarian Academy**, v. 6, n. 12, p. 79-93, 2019.

IWATA, B. F.; COSTA, M. C. G.; LEITE, L. F. C.; NASCIMENTO, B. L. M.; SOUSA ALMEIDA, K.; BARBOSA, D. L. S.; BRANDÃO, M. L. S. M. Manejo de resíduos em argissolo sob agrofloresta no semiárido cearense. **Brazilian Journal Of Development**, v. 6, n. 4, p. 20702-20716, 2020.

KASSA, H.; DONDEYNE, S.; POESEN, J.; FRANKL, A.; NYSSSEN, J. Agro-ecological implications of forest and agroforestry systems conversion to cereal-based farming systems in the White Nile Basin, Ethiopia. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 42, n. 2, p. 149-168, 2017

LI, P.; SHI, K.; WANG, Y.; KONG, D.; LIU, T.; JIAO, J.; HU, F. Soil quality assessment of wheat-maize cropping system with different productivities in China: establishing a minimum data set. **Soil and Tillage Research**, v. 190, p. 31-40, 2019.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação da laranjeira. **Ultrafertil**, 1979. 63 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 349-354, 2011.

MARINHO, A. C. C. S.; PORTELA, J. C.; SILVA, E. F.; DIAS, N. S.; JÚNIOR, F. S. S.; SILVA, A. C.; SILVA, J. F. Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, n.1, p.32-41, 2016.

MONTEIRO, M. M. **Levantamento, classificação e mapeamento de solos da fazenda São Gabriel – São José de Espinharas – PB**. 2021. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, Patos, 2021.

NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; CUNHA, F. D. S.; BERGHETTI, Á. L. P.; PEREIRA, M. D. O. Redução da adubação e melhoria das características do substrato com o uso do hidrogel na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1155-1165, 2016.

OLIVEIRA, D.; LIMA, R. P. D.; VERBURG, E. E. J. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 280-285, 2015.

PELEJA, V. L.; REGO, A. K. C.; SILVA JÚNIOR, M. L.; FURTADO, A. C. S.; FELSEMBURGH, C. A.; TRIBUZY, E. S. Interferência do alumínio no crescimento radicular, absorção e acúmulo de fósforo em plantas de paricá. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2020.

QIN, L.; LIN, L.; DING, S.; YI, C.; CHEN, J.; TIAN, Z. Evaluation of pedotransfer functions for predicting particle density of soils with low organic matter contents. **Geoderma**, v. 416, p. 115812, 2022.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, n. 1-2, p. 131-146, 2002.

RIAHINIA, F.; EMAMI, H. Effects of Crop Residues and Tillage Operations on Soil Quality Indices. **Polish Journal of Soil Science**, v. 54, n. 2, p. 167 - 183, 2021.

SAMANI, K. M.; PORDEL, N.; HOSSEINI, V.; SHAKERI, Z. Effect of land-use changes on chemical and physical properties of soil in western Iran (Zagros oak forests). **Journal of Forestry Research**, v. 31, n. 2, p. 637- 647, 2020.

SAMAEI, F.; EMAMI, H.; LAKZIAN, A. Assessing soil quality of pasture and agriculture land uses in Shandiz county, northwestern Iran. **Ecological Indicators**, v. 139, p. 108974, 2022

SANTIAGO, F. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; PINHEIRO, M. R. A. Índice de qualidade do solo em cultivo agroecológico e convencional no semiárido potiguar, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 1, p. 97, 2018.

SANTOS, M. C. dos. Solos do semiárido do brasil. **Cadernos do Semiárido - Solos do Semiárido do Brasil**, v. 10, p. 55, 2017.

SANTOS, S.; DALBEM, A.; SOUZA, K. A. Determinação do Potencial Hidrogeniônico e sua Relação a Diferentes Texturas de Solo. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da Fait**, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2021.

SILVA, D. M. D.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. D. O.; SILVA, D. A. A. D.; RACHE, M. M., SILVA, B. R. D. Indicadores Microbiológicos de Solo em Pastagem com Aplicação Sucessiva de Dejetos De Suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1585-1594, 2015.

SILVA, G. F. D.; SANTOS, D.; SILVA, A. P. D.; SOUZA, J. M. D. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 25-35, 2015.

SILVA, F. W. A.; PORTELA, J. C.; GONDIM, J. E. F.; de OLIVEIRA, V. N. S. Matéria orgânica e suas inter-relações com os atributos físicos do solo. In: SEABRA, G.; PORTELA, J. C.; GONDIM, J. E. F.; OLIVEIRA, V. N. S. de. **Terra – Habitats Urbanos e Rurais**. Ituiutaba: Barlavento, 2019. p. 255-267.

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

SILVA, J. H. C. S.; BARBOSA, A. S.; ARAÚJO, M. B.; GOMES, D. S.; MIRANDA, A. A. C.; AQUINO, Í. S. Indicadores qualitativos do ambiente edáfico e serviços ecossistêmicos em diferentes sistemas de ocupação da terra. **Nativa**, v. 9, n. 5, p. 519-527, 2021.

SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; PEREIRA, W. E.; MARTINS, A. F.; ZONTA, J. H.; AMARAL, A. J.; SILVA, A. J. Qualidade física de solo arenoso em ambiente semiárido sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v. 15, n. 4, p. 598-616, 2021.

SOUZA, P. F. D.; SILVA, J. A. D.; LUCENA, D. D. S.; SANTOS, W. D. S.; HENRIQUES, Í. G. N.; LUCENA, M. D. F. D. A.; SOUZA, A. D. D. Estudos fitossociológicos e dendrométricos em um fragmento de caatinga, São José de Espinharas – PB. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1317-1329, 2016.

SWANEPOEL, P. A.; PREEZ, C. C.; BOTHA, P. R.; SNYMAN, H. A.; HABIG, J. Soil quality characteristics of kikuyu–ryegrass pastures in South Africa. **Geoderma**, v. 232-234, p. 589-599, 2014.

TAKOUTSING, B.; WEBER, J.; AYNEKULU, E.; MARTÍN, J. A. R.; SHEPHERD, K., SILA, A.; DIBY, L. Assessment of soil health indicators for sustainable production of maize in smallholder farming systems in the highlands of Cameroon. **Geoderma**, v. 276, p. 64-73, 2016.

TER-BRAAK, C. J. F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, v. 67, n. 5, p. 1167-1179, 1986.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574p.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. Solos e desertificação no sertão paraibano. **Cadernos do Logepa**, v. 6, n. 2, p. 101-114, 2011.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.

XIMENES, L. F.; Silva, M. D.; BRITO, L. D. L. Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro. **Série Ciência e Tecnologia, 1aed., Banco do Nordeste do Brasil-Fortaleza-CE**, 2019. 1138 p.

CAPÍTULO 2

FAUNA EDÁFICA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJOS DO SOLO NO SEMIÁRIDO DA PARAÍBA

RESUMO

As diferentes coberturas vegetais bem como o uso e manejo do solo parecem atuar diretamente nos organismos edáficos. A presente pesquisa teve como objetivo caracterizar a abundância e diversidade das ordens da meso e macrofauna do solo, e quantificar a biomassa da última ordem citada, observando a sua interação com os fatores edafoclimáticos em três áreas distintas: área de vegetação nativa (NA), área com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e área com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) em dois períodos do ano (junho e outubro). Para a avaliação desses organismos empregou-se o método “Provid”, onde dez armadilhas foram colocadas nas três áreas, permanecendo no solo por 96 h. Após esse tempo foram levadas para o laboratório para realizar a contagem e determinação do número de indivíduos e aferição da sua biomassa. Foi avaliado ainda a temperatura do solo na superfície e em profundidade utilizando termômetro digital, como também determinado o conteúdo de água no solo, onde a cada três horas foram coletadas duas amostras de solos por área, as quais foram pesadas para obter a massa úmida (Mu) e após vinte e quatro horas na estufa a 105° C foi aferido o peso da massa seca (Ms). Os dados coletados foram analisados com a técnica dos componentes principais, onde observou que os indivíduos da macrofauna apresentaram maior riqueza em áreas pouco antropizadas sendo o grupo *Hymenoptera* dominante, No período seco tem uma redução na comunidade edáfica, porém, na área com manejo hídrico foi observado um aumento nesse período.

Palavras-chave: método provid; bioindicadores; macrofauna; mesofauna.

ABSTRACT

The different vegetation covers as well as the use and management of the soil seem to act directly on the edaphic organisms. This research aimed to characterize the abundance and diversity of soil meso and macrofauna orders, and to quantify the biomass of the last mentioned order, observing its interaction with edaphoclimatic factors in three distinct areas: native vegetation area (NA), area with *Anadenanthera macrocarpa* (angico) cultivation (AA) and area with *Moringa oleifera* cultivation (AM) in two periods of the year (June and October). For the evaluation of these organisms, the “Provid” method was used, where ten traps were placed in the three areas, remaining in the soil for 96 h. After that time, they were taken to the laboratory to perform the counting and determination of the number of individuals and measurement of their biomass. The soil temperature on the surface and in depth was also evaluated using a digital thermometer, as well as the water content in the soil, where every three hours two soil samples were collected per area, which were weighed to obtain the wet mass (Mu) and after twenty-four hours in the oven at 105° C, the dry mass weight (Ms) was measured. The collected data were analyzed using the principal components technique, where it was observed that the macrofauna individuals showed greater richness in areas with little anthropization, with the Hymenoptera group being dominant. observed an increase in this period.

Keywords: provid pitfall; bioindicators; macrofauna; mesofauna.

INTRODUÇÃO

Os organismos edáficos ou fauna edáfica estão relacionados às comunidades de invertebrados que passam um ou mais períodos da vida no solo (PESSOTTO *et al.*, 2020) e a movimentação desses organismos acabam resultando na evolução positiva dos atributos químicos, físicos e biológicos (CULLINEY, 2013). Esses indivíduos exercem importante função para o meio, atuando nos processos de decomposição, incorporação de resíduos orgânicos, mineralização de nutrientes, aumento de matéria orgânica, agregação de partículas, formação de bioporos e controle biológico (BROWN *et al.*, 2015).

A fauna edáfica proporciona melhorias nas propriedades do solo e exerce influência nos seus atributos, sendo assim esses atributos também podem ser influenciados negativamente devido ao uso e manejo inadequado do solo (FERREIRA *et al.*, 2019) comumente provocada pela interferência antrópica, dessa forma causando a redução dos microrganismos responsáveis pela disponibilidade de nutrientes para as plantas (CARVALHO *et al.*, 2012). Diante disso, é importante estudar os atributos químicos, físicos e biológico do solo em áreas de Caatinga de modo a se constatar, se poderá haver melhoria na fertilidade do solo e maiores atividades dos organismos edáficos, interferindo ou não, na área estudada.

Segundo Baretta *et al.* (2011) os indicadores ambientais devem ser atributos que possam ser quantificados e responderem as mudanças ocorridas no ambiente em questão, como é o caso dos bioindicadores ou indicadores biológicos. Os autores ainda definem que bioindicadores são espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença ou ausência e abundancia determina as condições ambientais, como grau de equilíbrio e perturbação. Os mesmos ressaltam que a meso e a macrofauna do solo têm sido utilizados com esse propósito, pois são de fácil aplicação.

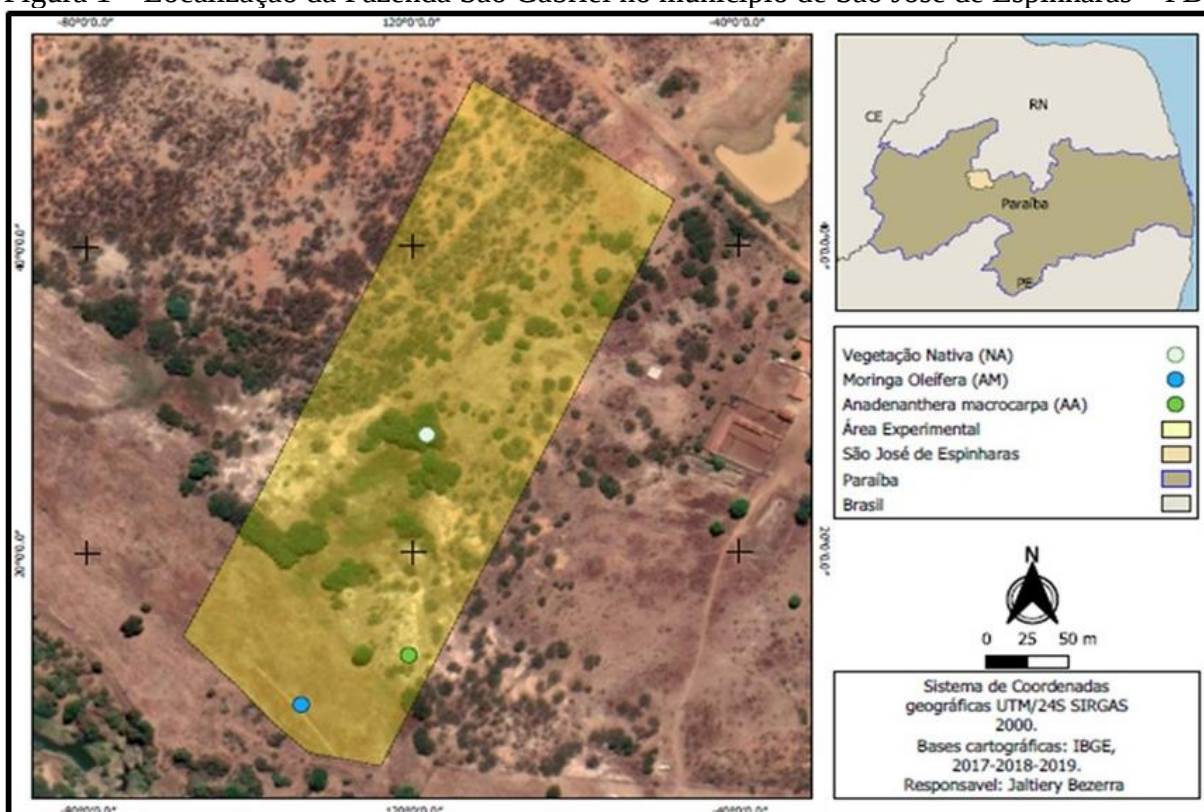
Perante o exposto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a abundância e diversidade dos grupos da meso e macrofauna edáfica, e quantificar a biomassa do último grupo citado, observando a sua interação com os fatores edafoclimáticos em três áreas distintas em dois períodos do ano, no semiárido da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda São Gabriel, localizada nas imediações do município de São José de Espinharas, situado na região imediata de Patos (Figura 1). De acordo com Koppen – Geiger o clima local se enquadra no tipo BSh, tropical semiárido (ÁLVARES, 2014), apresentando temperatura média anual de 28°C (SOUZA *et al.*, 2016) com uma pluviosidade de 884,7 mm (AESAs, 2020). O relevo possui características ondulado e suave ondulado, com presença de caatinga hiperxerófila.

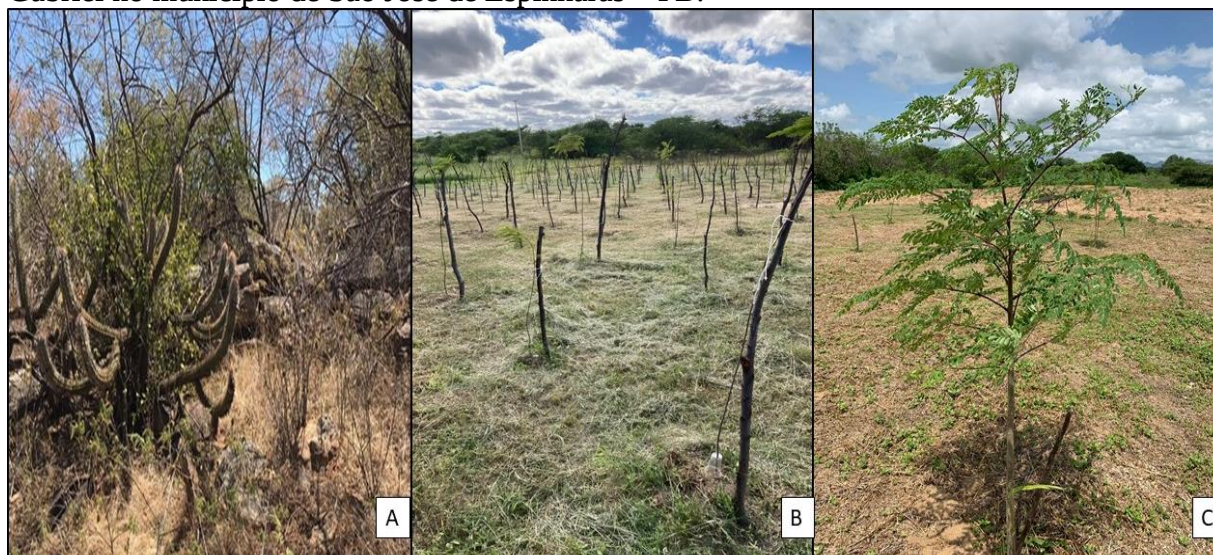
Figura 1 – Localização da Fazenda São Gabriel no município de São José de Espinharas – PB.



Fonte: Autor (2021)

Para o estudo foram selecionadas três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) (Tabela 1), sendo avaliadas em dois períodos do ano (junho e outubro de 2021). Os dados referentes as áreas de estudo, encontram-se na tabela 1.

Figura 2 – Imagens das áreas (A-Vegetação nativa; B- cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* e C- cultivo da *Moringa Oleifera*) selecionadas para estudos na Fazenda São Gabriel no município de São José de Espinharas – PB.



Fonte: Autor (2022)

Tabela 1 – Características das áreas estudadas na Fazenda São Gabriel no município de São José de Espinharas – PB.

Áreas	Coordenadas geográficas	Tipo de manejo
NA	06°53'25'' S 37°18'25'' O	Área localizada na parte mais alta da propriedade, com solo caracterizado como sendo Cambissolo Háplico Ta Eutróficos (MONTEIRO, 2021) onde apresenta uma vegetação nativa, típica de caatinga hiperxerófila.
AA	06°53'34'' S 37°18'28'' O	Área com solo caracterizado como sendo Planossolo Nátrico Órtico típico (MONTEIRO, 2021) que possui uma cobertura vegetal com estratos herbáceos e com presença da espécie <i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema-preta) vegetação primária típica da Caatinga. Atualmente está sendo usada para o plantio da espécie florestal <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (angico) com o uso de hidrogel.
AM	06°53'34'' S 37°18'30'' O	Área com solo caracterizado como Neossolo Flúvico Psamítico eutróico (MONTEIRO, 2021) que possui uma cobertura vegetal com estratos herbáceos e com presença de <i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema-preta) vegetação primária típica da Caatinga. Atualmente está sendo usada para o plantio da espécie florestal <i>Moringa oleifera</i> (moringa), sendo irrigado periodicamente.

Fonte: Autor (2022)

Avaliação dos organismos edáficos

Macrofauna edáfica

As coletas da macrofauna invertebrada do solo foram realizadas em dois períodos distintos, nos meses de junho e outubro de 2021, nas três áreas, utilizando 10 armadilhas em cada área com a metodologia Provid (ANTONIOILLI *et al.*, 2006) adaptada, que consiste na

utilização de uma garrafa PET com capacidade de 2 L, onde essas garrafas foram colocadas em covas abertas previamente com o uso de um cavador. Na armadilha havia quatro aberturas na forma de janelas com dimensões 3,0 cm x 3,0 cm a 20 cm da base, ou seja, na parte superior da garrafa, possibilitando essa abertura ficar rente à superfície do solo para facilitar a entrada dos organismos edáficos. No interior da garrafa foi colocado 200 ml de uma solução de detergente neutro (15%), onde foram acrescentadas cinco gotas de formol a 2%, permanecendo no campo por quatro dias (Figura 3).

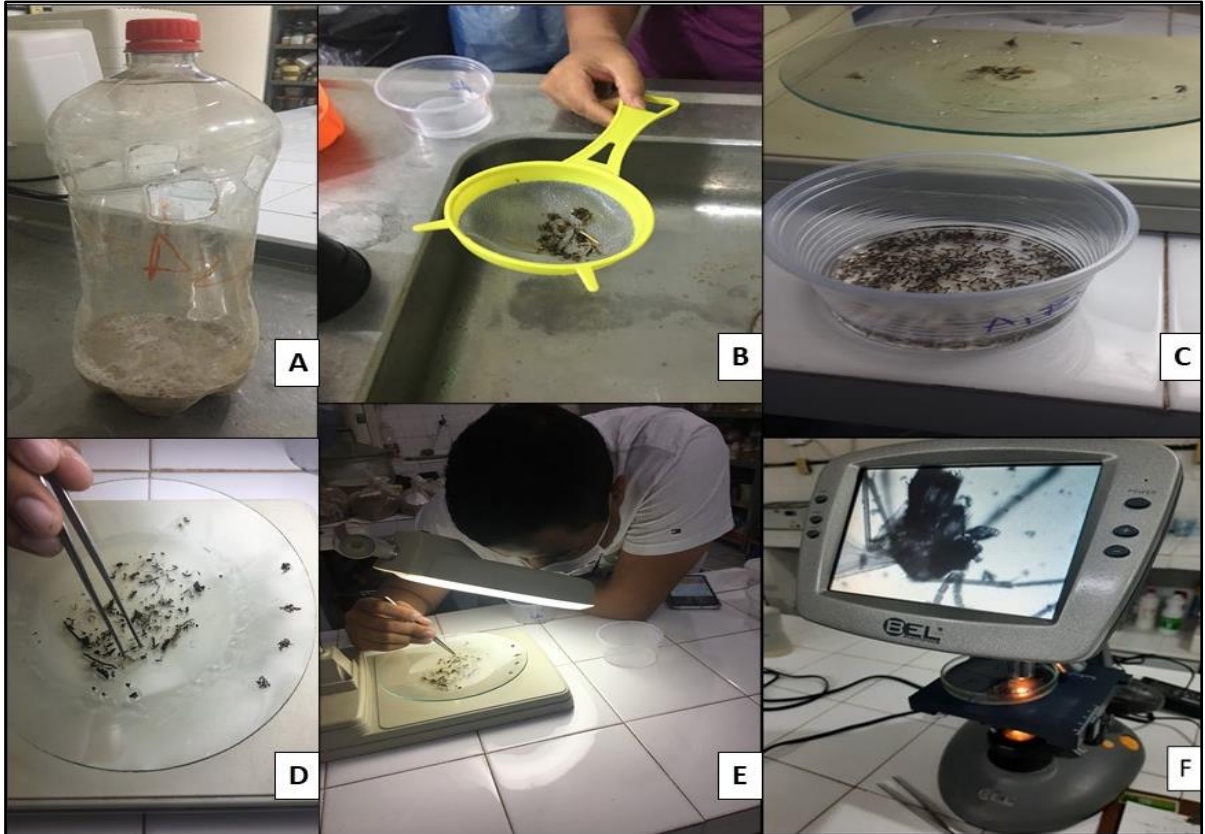
Figura 3 - Metodologia Provid de capturas de indivíduos da macrofauna, onde foram colocadas armadilhas nas covas (A) com as aberturas na altura da superfície do solo (B) e posteriormente foi criado um ambiente natural com colocação da serrapilheira ao redor da armadilha (C).



Fonte: Autor (2022)

Depois deste período, as armadilhas foram recolhidas e levadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal de Campina Grande/Centro de Saúde e Tecnologia Rural. Ao chegar no laboratório as armadilhas foram separadas por áreas de coletas e posteriormente foi feita a retirada dos organismos do interior das armadilhas e em seguida foram submetidos a lavagem com água corrente para retiradas de solos. Esse processo foi feito com o auxílio de uma peneira para evitar perdas da macrofauna edáfica. Após a limpeza dos organismos, eles foram separados e armazenados em uma solução de álcool etílico a 70%. Posteriormente, utilizando uma lupa e um microscópio biológico Bel Photonics Biovídeo, houve a contagem e identificação desses organismos em nível de ordem taxonômica (Figura 4).

Figura 4 – Disposição de armadilhas Provid no LabNut (A), lavagem do conteúdo de cada armadilha em água corrente (B); disposição dos indivíduos da macrofauna após a lavagem (C); separação dos indivíduos (D); para posteriormente identificação usando lupa (E) e biovídeo (F).

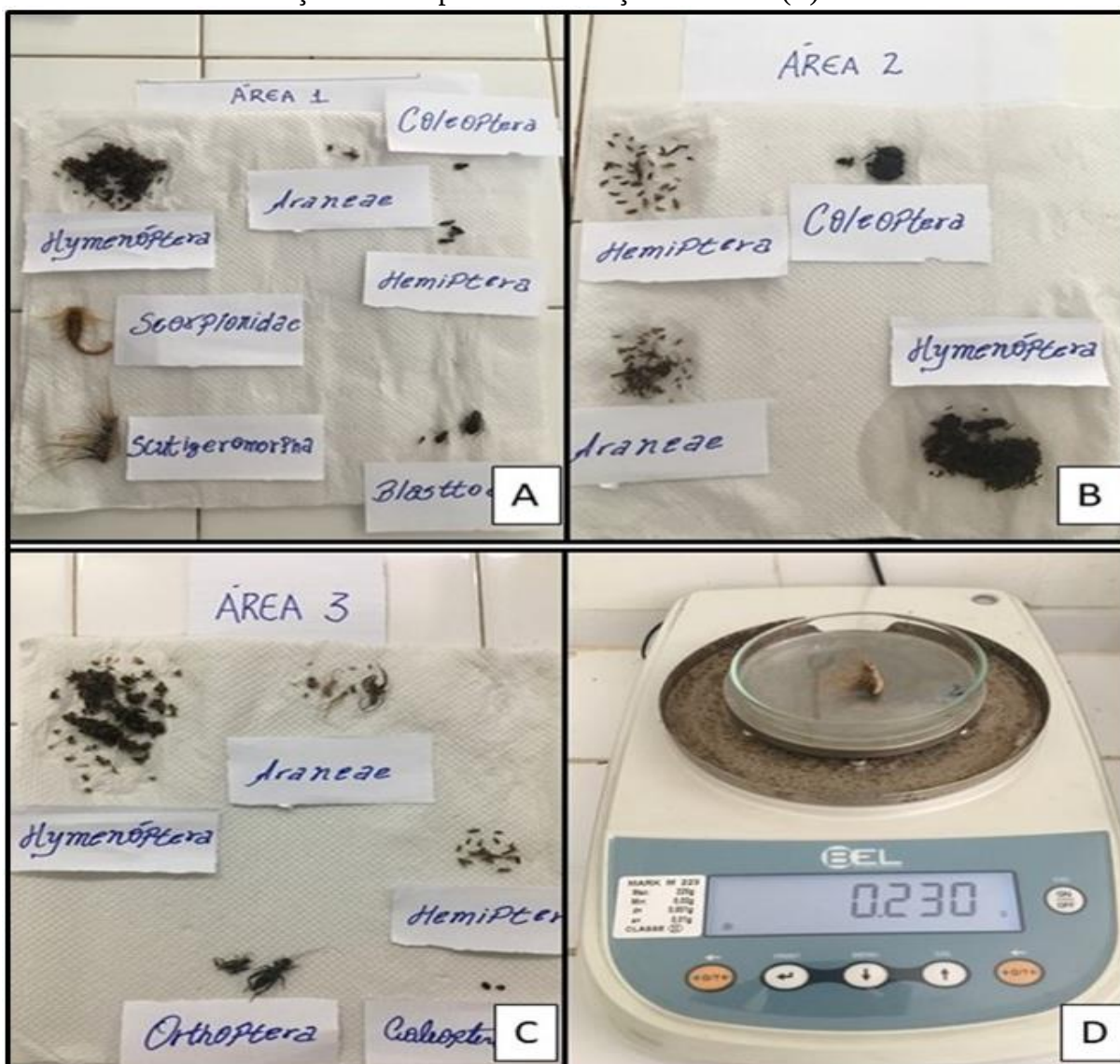


Fonte: Autor (2022)

Determinação da biomassa das ordens taxonômica da macrofauna edáfica.

Foi utilizado a metodologia de determinação da biomassa das ordens taxonômicas da macrofauna edáfica (DINDAL, 1990), sendo os organismos colocados para secar ao ar livre por 15 minutos sobre papel absorvente ou até apresentar características que estavam totalmente secos e em seguida foram colocados em balança analítica para ser feita aferição do seu peso e determinar a biomassa (Figura 5).

Figura 5 – Determinação da biomassa dos indivíduos da macrofauna coletados nas três áreas sendo colocados para secar ao ar livre por 15 minutos sobre papel absorvente (A, B e C) e após sendo colocado na balança analítica para determinação da massa (E).



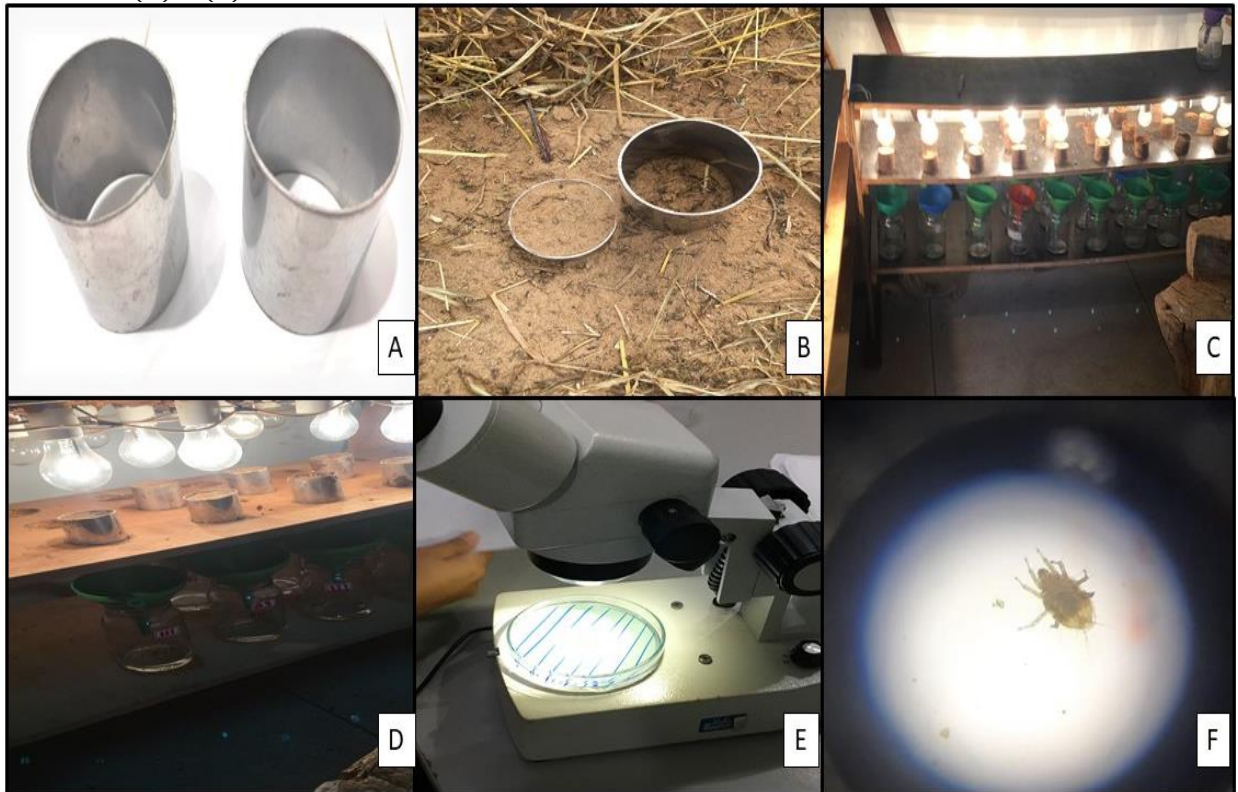
Fonte: Autor (2022)

Mesofauna edáfica

Foram coletados em cada área e nos dois períodos avaliados, dez amostras de solo com o auxílio de anéis metálicos com 5,0 cm de altura e 5,0 cm de diâmetro. No processo de extração da mesofauna, as amostras foram colocadas no extrator de Berlese-Tullgren adaptado, com uma estrutura de armação de madeira (0,143 m x 0,70 m x 0,13 m). No compartimento superior existia lâmpadas de 25W e, no inferior, uma tábua com aberturas para colocação dos anéis; abaixo de cada anel foram colocados funis de polietileno sobre frascos de vidro com solução de álcool a 80 %. As lâmpadas atuaram como fonte de calor, chegando a atingir 42 °C na parte superior do anel, fazendo com que os organismos da mesofauna migrassem até caírem nos

frascos. As amostras foram expostas ao calor no extrator por 96h. Depois deste período de extração, a solução (cada frasco) onde estavam os organismos foram transferidas para placas de Petri, sendo feita em seguida a identificação dos organismos ao nível de ordem com auxílio de um microscópio binocular de 40X (Figura 6).

Figura 6 – Caracterização dos indivíduos da mesofauna coletados com o auxílio de anéis metálicos (A); onde foram colocados no solo (B); foi feita a retirada e levado para o extrator de Berlese-Tullgren (C) expostos a lâmpadas de 25 w por 96h sobre frascos de vidro com solução de álcool (D) após esse processo foi feita a identificação da mesofauna com microscópio binocular (E) e (F).



Fonte: Autor (2022)

Determinação da diversidade da meso e macrofauna edáfica.

Na avaliação do comportamento ecológico da meso e macrofauna, foi mensurado o número total de indivíduos (abundância) e feito comparações das comunidades nos períodos de coletas e nas áreas estudadas utilizando os índices de diversidade de Shannon e o índice de equabilidade de Pielou (U).

O índice de diversidade de Shannon (H) é definido por:

$$H = \sum p_i \cdot \log p_i \quad (1)$$

onde:

$p_i = n_i/N$;

n_i = densidade de cada grupo;

$N = \Sigma$ da densidade de todos os grupos.

O índice de uniformidade de Pielou é um índice de equabilidade, sendo definido por:

$$E = \frac{H}{\log . S} \quad (2)$$

onde:

H=índice de Shannon;

S = Número de espécies ou grupos.

Temperatura do solo e conteúdo de água

Foram realizados os levantamentos dos dados de conteúdo de água e temperatura do solo em um período de tempo de 24h.

Para avaliação do conteúdo de água no solo, a cada três horas foram coletadas em cápsulas de alumínio duas amostras de solos por área (NA, AA e AM), as quais foram pesadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas/CSTR/UFCG, onde se obteve o peso da massa úmida (Mu) e em seguida, foram colocadas em estufa a 105° C por um período de 24 horas, obtendo-se desta forma o peso de massa seca (Ms) (Figura 7).

Figura 7 – Coletas de solo para análise de conteúdo de água (A); Pesagem das cápsulas de alumínio para obter a Mu (B); Cápsulas de alumínio na estufa a 105° C (C) e retirada das cápsulas de alumínio após 24h para a pesagem da Ms (D).



Fonte: Autor (2022)

Diante desse processo foram determinados o conteúdo de água utilizando a seguinte equação:

$$CAS = (Mu - Ms) / MU \times 100 \quad (3)$$

em que, CAS = conteúdo de água do solo (%);

Mu = massa do solo úmido (g);

Ms = massa do solo seco (g).

Simultaneamente, em campo foram aferidas a temperatura do solo, utilizando termômetro digital tipo espeto, na superfície do solo e nas profundidades de 7,5 e 15 cm (Figura 8).

Figura 8 – Medição da temperatura (°C) do solo utilizando o termômetro digital tipo espeto na superfície (A); na profundidade de 7,5 cm (B) e na profundidade de 15 cm (C) nas três áreas avaliadas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022)

Luminosidade e temperatura ambiente.

A luminosidade foi mensurada através de luxímetro digital portátil Icel Manaus® modelo LD505 com escala de X100:50.000 lux, aferida quando ocorria a estabilização do leitor de luminosidade e a temperatura ambiente foi medida com a utilização do termômetro digital portátil da marca Outest modelo GM816. Todas as leituras foram realizadas nos dois períodos de coletas e nas três áreas de estudo no tempo de 24h (Figura 9).

Figura 9 – Aferição da luminosidade (A), velocidade do vento (B) e temperatura ambiente (C) nas áreas experimentais nos períodos avaliados na Fazenda São Gabriel, município de São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022)

Análise estatística

Os dados foram analisados estatisticamente, com o auxílio do software estatístico PAST 4.03. Os resultados foram submetidos a análise estatística multivariada, com intuito de observar as relações dos atributos físicos do solo, a abundância dos grupos da mesofauna e macrofauna edáfica e correlacioná-los de acordo com a diferenciação do ambiente.

Foi utilizada a análise de componentes principais (ACP) para observar o grau de relações entre os atributos dos solos e os organismos edáficos e a técnica de agrupamento hierárquico para observar a formação dos grupos homogêneos a partir de semelhanças encontradas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Macrofauna

No decorrer da pesquisa, nas três áreas estudadas, observa-se que a área de vegetação nativa (NA) apresentou maior de riqueza de ordens, sendo encontrado 864 indivíduos na área de vegetação nativa, 1.183 indivíduos na área de cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) e 3.050 na área de cultivo da *Moringa oleífera*, totalizando 5,097 indivíduos (Tabela 2).

Tabela 2 – Número de indivíduos (Ni) e frequência relativa (FR%) de indivíduos da macrofauna coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleífera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.

Ordens	NA		AA		AM	
	Ni	FR(%)	Ni	FR(%)	Ni	FR(%)
<i>Coleoptera</i>	1	0,12	6	0,51	16	0,52
<i>Hemiptera</i>	5	0,58	41	3,47	21	0,69
<i>Hymenoptera</i>	847	98,03	1090	92,14	2988	97,97
<i>Orthoptera</i>	3	0,35	0	0,00	6	0,20
<i>Blattodea</i>	3	0,35	0	0,00	0	0,00
<i>Araneae</i>	4	0,46	46	3,89	19	0,62
<i>Scorpionidae</i>	1	0,12	0	0,00	0	0,00
Total indivíduos (N)	864		1.183		3.050	
Riqueza (S)	7		4		5	

Fonte: Autor (2022).

Rezende *et al.* (2021) estudando o efeito de usos e manejos agrícolas do solo no semiárido observaram que em áreas de vegetação nativa ocorre o maior número de riquezas, isso ocorre devido a área ter sido pouco antropizada. Observa-se ainda (Tabela 2) que a ordem mais abundante foi a *Hymenoptera* (acima de 90%) em todas as áreas; essa predominância pode ser atribuída pela habilidade de sobrevivência, sendo essencial para manutenção da qualidade do solo (CABRERA, 2012).

Outros grupos que se destacaram foram o *Hemiptera* com 3,45% e o *Araneae* com 3,88%, sendo observados com maior frequência na área cultivada com *Anadenanthera macrocarpa*. Esse aparecimento pode estar relacionado com a presença de vegetação herbácea sobre o solo, criando assim um microclima que possivelmente oferta recursos para os seus desenvolvimentos (SPILLER *et al.*, 2017).

Ao avaliar a distribuição de cada grupo quanto à abundância e uniformidade, observa-se que por causa do grupo *Hymenoptera* apresentar o maior número de indivíduos em todas as

áreas, refletiu-se nos baixos valores obtidos nos índices testados (Tabela 3), evidenciando, assim, a dominância desse grupo no ecossistema estudado.

Tabela 3 - Índice de diversidade de Shannon (H) e Índice de Equabilidade de Pielou (e) de indivíduos da macrofauna coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.

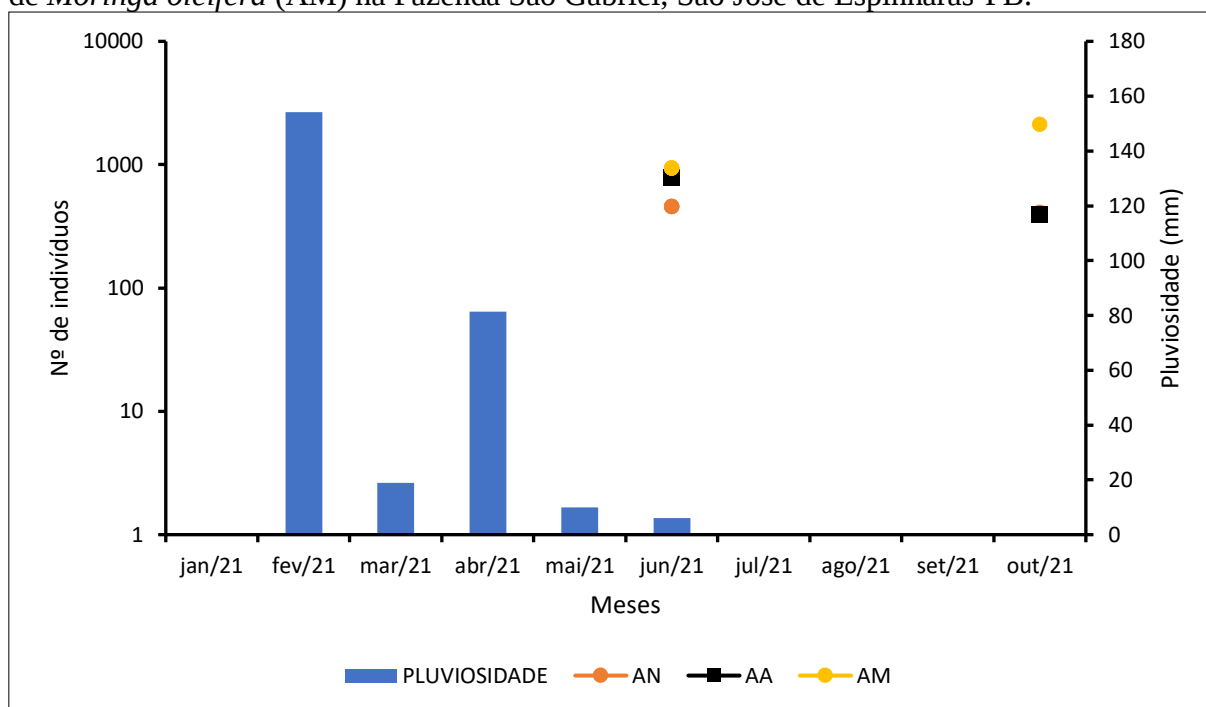
GRUPOS	Áreas de estudo					
	NA		AA		AM	
	H	e	H	e	H	e
<i>Coleoptera</i>	2,94	1,00	2,29	0,75	2,28	0,65
<i>Hemiptera</i>	2,24	0,76	1,46	0,47	2,16	0,62
<i>Hymenoptera</i>	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00
<i>Orthoptera</i>	2,46	0,84	0,00	0,00	2,71	0,78
<i>Blattodea</i>	2,46	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Araneae</i>	2,33	0,79	1,41	0,46	2,20	0,63
<i>Scorpionidae</i>	2,94	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autor (2022).

Santos *et al.* (2018) estudando a fauna edáfica no semiárido do Estado de Alagoas encontraram comportamento semelhante ao deste estudo para o grupo *Hymenoptera*, concluindo que a alta densidade desses indivíduos reduz a diversidade da fauna edáfica.

Analisando os comportamentos dos indivíduos do solo em função da pluviosidade durante os períodos estudados (Figura 10), observa-se que no mês de outubro por causa da baixa pluviosidade, também ocorreu um menor número de indivíduos nas áreas de vegetação nativa e na de cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa*, porém na área cultivada com a *Moringa oleifera*, área irrigada, ocorreu o inverso.

Figura 10 – Número total de indivíduos da macrofauna coletados em relação a pluviosidade durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022).

De acordo com Formiga *et al.* (2018) em um estudo no semiárido da Paraíba observou-se que houve redução de indivíduos neste mesmo período, comportamento semelhante ao encontrado no presente estudo (Figura 10) para as áreas de vegetação nativa e de cultivo de *Anadenanthera macrocarpa*. Rezende *et al.* (2021) detectaram que o tipo de manejo interfere no aparecimento de indivíduos, principalmente em áreas irrigadas, confirmando o resultado encontrado na área cultivada com a *Moringa oleifera*.

Com relação aos períodos de coletas (junho e outubro), observa-se que a macrofauna teve o menor número de indivíduos no mês de junho, porém nesse mesmo período notou-se um maior número de grupos taxonômicos, onde houve aparecimento das ordens *Blattodea* e *Scorpionidae* na área de vegetação nativa (NA) (Tabela 4).

Tabela 4 – Número de indivíduos e ordens observadas da macrofauna durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.

Grupos	Junho			Outubro		
	NA	AA	AM	NA	AA	AM
<i>Coleoptera</i>	1	4	2	0	2	14
<i>Hemiptera</i>	5	35	19	0	6	2
<i>Hymenoptera</i>	444	705	897	403	385	2091
<i>Orthoptera</i>	0	0	5	3	0	1
<i>Blattodea</i>	3	0	0	0	0	0
<i>Araneae</i>	2	40	10	2	6	9
<i>Scorpionidae</i>	1	0	0	0	0	0
Total	456	784	933	408	399	2117

Fonte: Autor (2022).

A ordem *Blattodea* evita a exposição a luz solar (COSTA *et al.*, 2013) e seu aparecimento na área estudada, pode estar relacionado que nesse período essa área estava bem fechada com as árvores possuindo um maior número de folhas assim evitando a incidência de luminosidade no ambiente.

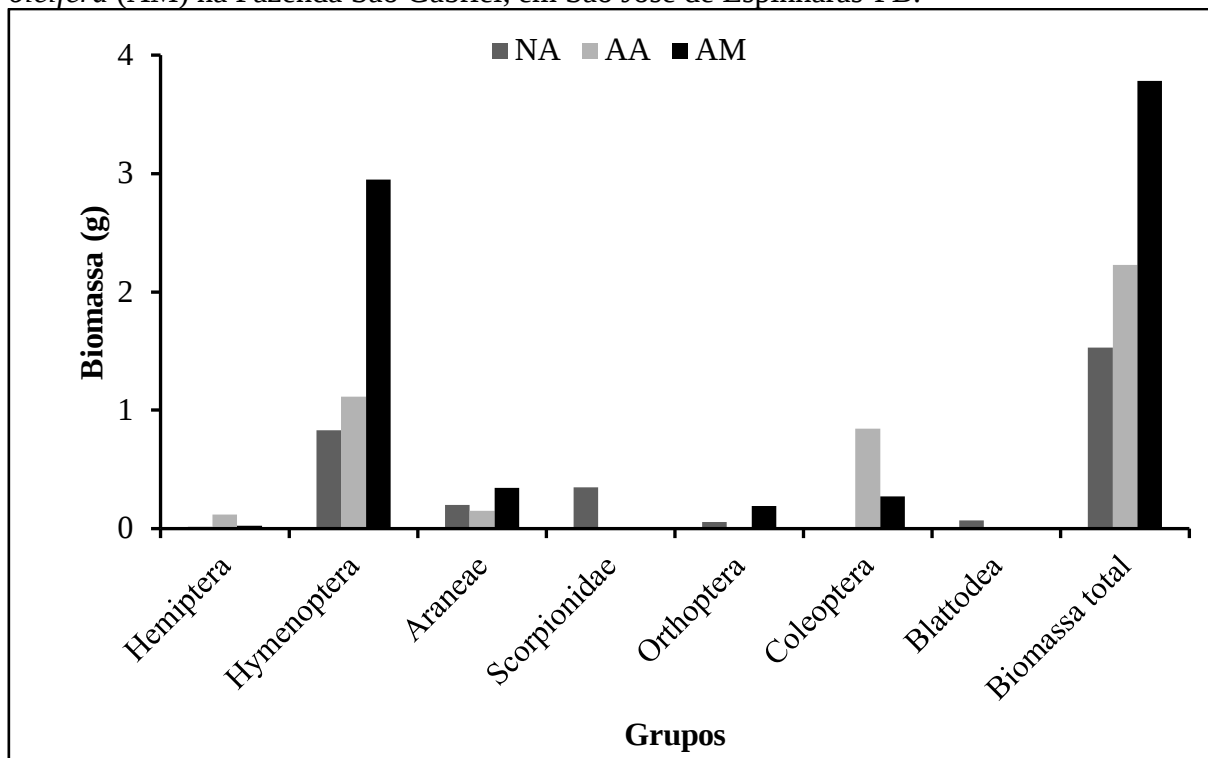
De acordo com Araújo *et al.* (2010) a ordem *Scorpionidae* se desenvolve bem em locais com serrapilheira e eles possuem um hábito de forrageamento, se alimentando de presas que estão na superfície do solo e seu surgimento na área de vegetação nativa pode estar correlacionado com essas características.

No mês de outubro a ordem *Coleoptera* se destacou em relação ao mês de junho (Tabela 4), tendo uma maior expressão na área de *Moringa oleifera*. Os trabalhos apontaram que a complexidade estrutural do habitat, a sazonalidade e a disponibilidade de recursos são fatores importantes na determinação da comunidade de besouros (AGRA; PINA, 2020), com isso as condições ambientais criadas pela interferência antrópica com a oferta de recursos hídricos aumentaram o aparecimento dessa ordem nessa área (REZENDE *et al.*, 2021).

Biomassa da macrofauna

Pode-se observar que a área com cultivo da *Moringa oleifera* apresentou maior valor total seguido da área com *Anadenanthera macrocarpa* e da área de vegetação nativa. Nota-se que a ordem *Hymenoptera* apresentou o maior valor para biomassa (Figura 11).

Figura 11 - Biomassa (g) da macrofauna do solo dos principais grupo coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022).

Marques; Del-Claro (2010) verificando a sazonalidade, abundância e a biomassa de insetos de solo observaram resultados semelhantes. Souza *et al* (2015) apontam que a ordem *Hymenoptera* tem a capacidade de apresentar valores de biomassa quatro vezes maior do que todos os organismos edáficos juntos, corroborando com o que foi encontrado nesse estudo.

Com relação a sazonalidade no mês de outubro não houve chuva, porém a área de *Moringa oleifera*, apresentou maior biomassa, isso pode estar relacionado ao número de indivíduos que foi abundante na área nesse período (Tabela 5).

Tabela 5 - Biomassa (g) da macrofauna do solo coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.

Ordens	Junho			Outubro		
	NA	AA	AM	NA	AA	AM
<i>Hemiptera</i>	0,02	0,07	0,03	0,00	0,05	0,00
<i>Hymenoptera</i>	0,52	0,84	0,72	0,31	0,27	2,22
<i>Araneae</i>	0,01	0,12	0,13	0,19	0,01	0,21
<i>Scorpionidae</i>	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Orthoptera</i>	0,00	0,00	0,19	0,06	0,00	0,00
<i>Coleoptera</i>	0,00	0,85	0,01	0,00	0,02	0,27
<i>Blattodea</i>	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa total	0,97	1,90	1,08	0,56	0,36	2,70

Fonte: Autor (2022).

Marques; Del-Claro (2010) afirmaram que ao longo do ano os fatores climáticos interferem na biomassa, onde nos meses mais secos os organismos expressam um menor peso, reafirmando o comportamento encontrado nas áreas de angico e na área de vegetação nativa para o segundo período estudado.

Conforme Baretta *et al.* (2011) as formigas aparecem em grande parte nos ecossistemas terrestres, constatando também o seu aparecimento na área do cultivo do angico, onde a ordem *Hymenoptera* apresentou menor biomassa edáfica relacionado as outras ordens no mês de junho. Com esse resultado entende-se, que mesmo a área de angico nesse período possuindo um maior número de indivíduos da ordem *Hymenoptera* como apresentado anteriormente, a sua biomassa foi menor em relação a ordem *Coleoptera*, ou seja, o peso individual do indivíduo interfere na biomassa.

Mesofauna

Quanto aos valores totais de indivíduos presentes na mesofauna, nota-se um domínio da ordem *Acarina* nas áreas cultivada com *Anadenanthera macrocarpa* e na área cultivada com a *Moringa oleifera* (AM) sendo a maior frequência relativa nas duas áreas respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6 – Número de indivíduos (Ni) e frequência relativa (%) da mesofauna coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em duas áreas, sendo uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.

Ordens	AA		AM	
	Ni	FR(%)	Ni	FR(%)
<i>Collembola</i>	0	0	1	9,09
<i>Acarina</i>	5	100	10	90,90
Total indivíduos (N)	5		11	
Riqueza (S)	1		2	

Fonte: Autor (2022)

Em um estudo realizado na caatinga alagoana por Santos *et al.* (2016) utilizando a mesma metodologia deste trabalho, os autores observaram a maior abundância para ordem *Acarina* conforme encontrado neste estudo (Tabela 6). Fernandes *et al.* (2011) apontam que essa ordem é considerada a maior constituinte da mesofauna edáfica.

Analisando o índice de diversidade da área cultivada com a *Moringa oleifera*, observa-se que a ordem *Acarina* apresentou menor diversidade (H), já na área de angico, essa ordem apresentou uma maior diversidade e a ordem o *Collembola* não foi identificada (Tabela 7).

Tabela 7 - Índice de diversidade de Shannon (H) e Índice de equabilidade de Pielou (e) da mesofauna coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em duas áreas, sendo uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.

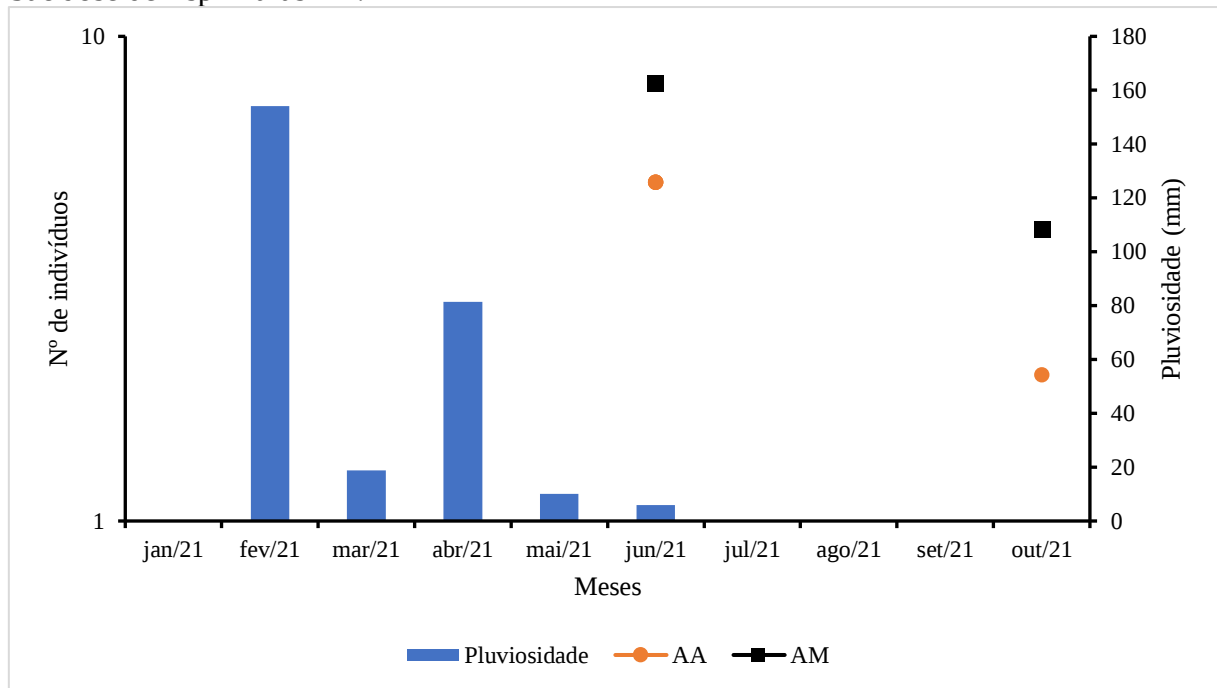
Ordens	Áreas de estudo			
	AA		AM	
	H	e	H	e
<i>Collembola</i>	0,00	0,00	1,08	1,00
<i>Acarina</i>	0,15	0,17	0,08	0,07

Fonte: Autor (2022).

Araújo *et al.* (2013) fazendo a avaliação da mesofauna edáfica em diferentes tipos de manejos observaram que os índices de Shannon (H) e Índice de equabilidade de Pielou (e) apresentaram valores dominantes para ordem *Acarina*, comprovando com o que foi encontrado neste estudo.

Quando se estuda a relação dos números de organismos da mesofauna e as condições ambientais, observa-se que foram afetados durante as coletas, onde no mês de junho de 2021 teve um maior número de indivíduos em relação a coleta realizada no mês de outubro do mesmo ano, com baixa pluviosidade (Figura 12).

Figura 12 – Número total dos indivíduos da mesofauna coletados durante dois períodos (junho e outubro de 2021) em duas áreas, sendo uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022).

Corroborando também com o conceito de que os números de indivíduos diminuem em períodos secos Araújo *et al* (2013) notaram que nesse período houve uma redução nos organismos edáficos, devido as possíveis mudanças nas condições de sobrevivência, pela escassez hídrica, sobrevivendo apenas os mais adaptados a essas condições.

Correlação de Pearson

Com relação a incidência dos componentes ambientais sobre organismos edáficos, observa-se que a pluviosidade (Pp) exerce uma correlação positiva com o conteúdo de água (Ca) apresentando valor de 0,67, sendo variáveis que exercem também forte correlação com os organismos do solo (Tabela 8).

Tabela 8 - Correlação de Pearson entre os atributos físicos do solo, condições ambientais e a abundância dos grupos da mesofauna e macrofauna edáfica em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.

	Pp	Hem	Hym	Ara	Sco	Ort	Cole	Bla	Coll	Aca	Ca	Ts0	Ts7.5	Ts15	Ta	Lm
Pp	1,00	0,69*	-0,23	0,44*	0,44*	0,09	-0,32*	0,45*	-0,45*	0,60*	0,67*	-0,31*	-0,56*	-0,76*	-0,24	-0,12
Hem		1,00	-0,10	0,91*	-0,22	-0,03	-0,10	-0,22	-0,33*	0,73*	0,18	-0,08	-0,16	-0,25	-0,21	0,00
Hym			1,00	0,07	-0,28	0,06	0,96*	-0,28	0,95*	0,24	-0,51*	0,13	0,12	0,09	0,04	0,11
Ara				1,00	-0,32*	-0,26	0,15	-0,32*	-0,09	0,52*	-0,05	0,00	-0,01	-0,04	-0,15	0,05
Sco					1,00	-0,35*	-0,27	1,00*	-0,20	-0,37*	0,69*	-0,30*	-0,50*	-0,62*	-0,07	-0,17
Ort						1,00	-0,20	-0,35*	-0,12	0,56*	-0,01	-0,02	-0,06	-0,32	-0,01	0,04
Cole							1,00	-0,27	0,97*	0,08	-0,56*	0,17	0,19	0,18	0,05	0,12
Bla								1,00	-0,20	-0,37*	0,69*	-0,30*	-0,50*	-0,62*	-0,07	-0,17
Coll									1,00	-0,07	-0,56*	0,17	0,20	0,21	0,10	0,11
Aca										1,00	0,06	-0,06	-0,18	-0,32*	-0,18	0,04
Ca											1,00	-0,40*	-0,56*	-0,69*	-0,24	-0,26
Ts0												1,00	0,84*	0,59*	0,81*	0,72*
Ts7.5													1,00	0,90*	0,63*	0,43*
Ts15														1,00	0,40*	0,64
Ta															1,00	0,64*
Lm																1,00

Hem=*Hemiptera*; Hym=*Hymenoptera*; Ara=*Araneae*; Ort=*Orthoptera*; Cole=*Coleoptera*; Bla=*Blattodea*; Coll=*Collembola*; Aca=*Acaros*; Pp= Pluviosidade; Ca=Conteúdo de água no solo; Ts0= temperatura do solo na superfície; Ts7.5= temperatura do solo na profundidade a 7.5 cm; Ts15= temperatura do solo a 15 cm; Ta= temperatura ambiente; Lm= luminosidade; * significância a 5 %.

De acordo com Medeiros *et al.* (2020) a pluviosidade e o conteúdo de água no solo agem de maneira positiva na ordem *Hemiptera*, resultado semelhante encontrado nesse estudo. Porém, o último fator ambiental supracitado também teve uma correlação positiva para as ordens *Blattodea* e *Scorpionidae*. Lima *et al.* (2020) afirmam que esse comportamento é habitual dos invertebrados da macrofauna.

A variável temperatura do solo foi aferida na superfície denominado Ts0 e nas profundidades de 7,5 cm e 15 cm esse parâmetro se correlacionou positivamente com as ordens da macrofauna *Hymenoptera* e *Coleoptera*. Bezerra *et al.* (2022) observaram que a temperatura do solo influencia nos organismos da macrofauna.

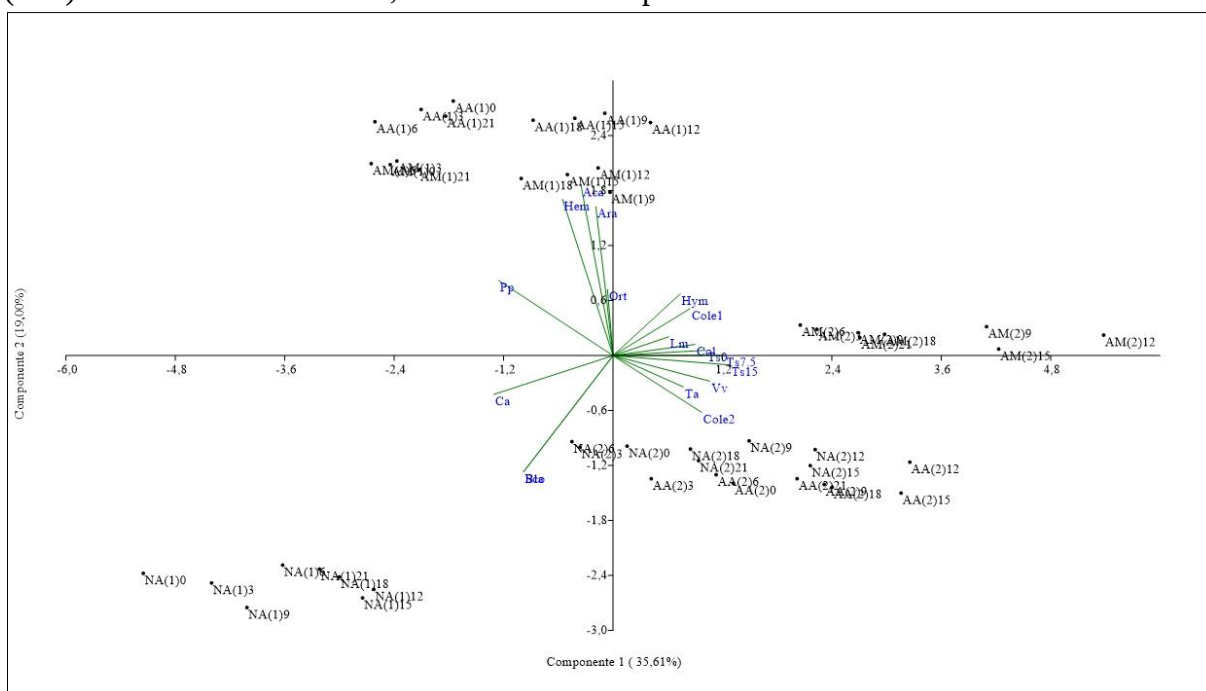
A ordem *Collembola* da mesofauna também foi influenciada por essa variável ambiental; conforme Rodrigues *et al.* (2021), temperaturas mais amenas no solo colaboram com seu aparecimento.

Quando se observa a ordem *Acarina*, entende-se que ela apresentou uma característica inversamente proporcional para as condições ambientais Ts0, Ts7,5, Ts15 e Ta e teve uma correlação positiva para o conteúdo de água no solo, ou seja, essa variável atuou criando condições favoráveis para o desenvolvimento dessa ordem (BEZERRA *et al.*, 2022).

Análise de componentes principais

Observa-se que os dados analisados explicaram 54,61%, onde o componente 1 explicou 35,61% das variáveis e o componente 2 explicou 19,00%. Sendo Hym, Cole, Lm, Coll, Ts0, Ts7.5, Ts15, Ta, Ca, Pp apresentaram maiores autovalores para o componente principal 1, e Bla, Sco, Hem, Aco, Ara, Ort apresentaram maiores autovalores para o componente principal 2 (Figura 13).

Figura 13 – Análise de componentes principais dos atributos físicos do solo, condições ambientais e a abundância dos grupos da mesofauna e macrofauna edáfica em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.



Hem=Hemiptera; Hym=Hymenoptera; Ara=Araneae; Ort=Orthoptera; Cole=Coleóptera; Bla=Blattodea; Col=Collembola; Aca=Ácaros; Ca=Conteúdo de água no solo; Ts0= temperatura do solo na superfície; Ts7.5= temperatura do solo na profundidade a 7.5 cm; Ts15= temperatura do solo a 15 cm; Ta= temperatura ambiente; Lm= luminosidade; AA(1)6...21= Área com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* primeiro mês, sendo o segundo número fora do parêntese representando o horário de coleta de dados a cada três horas; AA(2)6...21= Área com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* segundo mês, sendo o segundo número fora do parêntese representando o horário de coleta de dados a cada três horas; NA(1)6...21= Área de vegetação nativa primeiro mês, sendo o segundo número fora do parêntese representando o horário de coleta de dados a cada três horas; NA(2)6...21= Área de vegetação nativa segundo mês, sendo o segundo número fora do parêntese representando o horário de coleta de dados a cada três horas; AM(1)6...21= Área com o cultivo da *Moringa Oleifera* primeiro mês, sendo o segundo número fora do parêntese representando o horário de coleta de dados a cada três horas; AM(2)6...21= Área com o cultivo da *Moringa Oleifera* segundo mês, sendo o segundo número fora do parêntese representando o horário de coleta de dados a cada três horas, Fonte: Autor (2022)

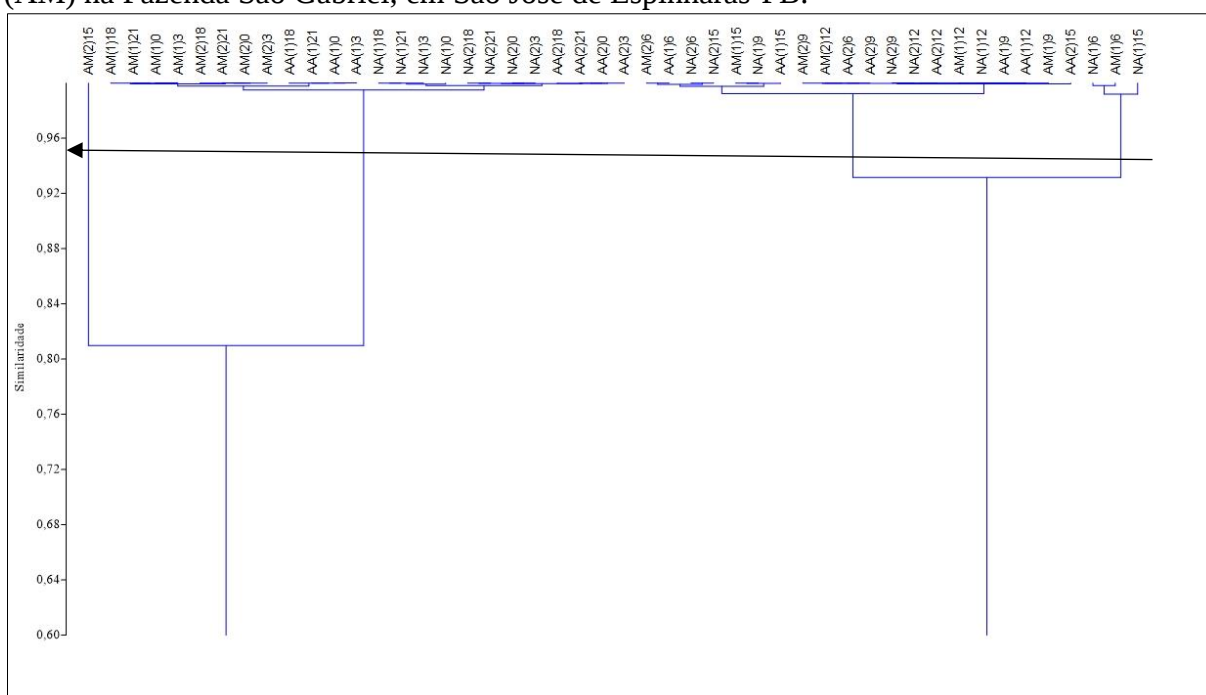
Os organismos edáficos *Blattodea* e *Scorpionidae* tem uma grande similaridade entre eles, ou seja, visualizando a correlação de Pearson (Figura 4) é possível observar que essas variáveis tem uma relação positiva. Nota-se que na figura 5 quando tem uma elevação na pluviosidade (Pp) aumenta o conteúdo de água (Ca) demonstrando dessa forma que são variáveis similares, porém o aumento de Pp diminui a temperatura do solo (Ts0, Ts7.5 e Ts15), ou seja,

elas são variáveis inversamente proporcionais, tendo o mesmo comportamento comparando com temperatura ambiente (Ta). A temperatura do solo na superfície e em profundidades (Ts0, Ts7.5 e Ts15) são variáveis similares por isso tendem a se agruparem e a permanecerem mais próximas.

Análise de agrupamento hierárquico

Na análise de agrupamento hierárquico é observado a formação de quatro grupos, realizando a leitura da direita para esquerda, considerando um nível de similaridade de 95% (Figura 14).

Figura 14 – Análise de agrupamento hierárquico dos atributos físicos do solo, condições ambientais e a abundância dos grupos da mesofauna e macrofauna edáfica em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e outra com o cultivo de *Moringa oleifera* (AM) na Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022)

O conteúdo de água e o número de indivíduos de *Blattodea* e *Scorpinidae* exerceram similaridade para formação do primeiro grupo presente na área de vegetação nativa no primeiro mês (junho) de coleta, a precipitação seguida dos indivíduos da ordem *Hemiptera* e *Araneae* apresentou similaridade na formação do grupo existente na área de cultivo da *Moringa oleifera* e área com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa* para a primeira coleta. Quando é analisado a temperatura ambiente (Ta) e luminosidade (Lm), observa-se que essas variáveis ambientais exerceram similaridade para formação do terceiro grupo nas áreas de vegetação nativa, o cultivo

de *Anadenanthera macrocarpa* (angico) (AA) e no cultivo de *Moringa oleifera* (AM), nos dois períodos (junho e outubro de 2021), nos horários de 03, 00, 18 e 21.

A espécie *Moringa oleifera* está sendo cultivada em uma área mais aberta apenas, com pouca vegetação em seu entorno, diferente da área com o cultivo de *Anadenanthera macrocarpa*, desta maneira recebendo assim muita luminosidade (Lm) devido a isso houve similaridade na formação do quarto grupo denominado AM (2)15 com uma alta temperatura do solo nesse horário.

CONCLUSÕES

1. Os indivíduos da macrofauna apresentam maior riqueza na área de vegetação nativa, sendo o grupo *Hymenoptera* dominante em todas as áreas estudadas;
2. No mês de outubro, houve uma redução no número de indivíduos, e na área de cultivo de *Moringa oleífera* houve aumento da ordem *Hymenoptera*;
3. Mesmo o grupo *Hymenoptera* possuindo maior número de indivíduos não influenciou na biomassa;
4. Na mesofauna, os ácaros apresentaram maior abundância, sendo dominante, com diminuição dos mesmos no mês mais seco.

REFERÊNCIAS

- ANTONIOLLI, Z. I.; CONCEIÇÃO, P. C.; BÖCK, V.; PORT, O.; SILVA, D. M.; SILVA, R. F. Método alternativo para estudar a fauna do solo. **Revista Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, p. 407-417, 2006.
- AESA – **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba**. Precipitação pluviométrica (mm), janeiro a dezembro de 2020 e janeiro a outubro de 2021 Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/climatologia/>. Acesso em: 14 nov. 2021.
- AGRA, A. C.; PINA, W. C. Insetos como Bioindicadores de Áreas Degradadas ou em Processo de Restauração no Bioma Caatinga. **Ensaio e Ciência**, v. 24, n. 5, p. 630-635, 2020.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 06, p. 711-728, 2014.
- ARAÚJO, C. S.; CANDIDO, D. M.; ARAÚJO, H. F.; DIAS, S. C.; VASCONCELLOS, A. Seasonal variations in scorpion activities (Arachnida: Scorpiones) in an area of Caatinga vegetation in northeastern Brazil. **Zoologia**, v. 27, n. 3, p. 372-376, 2010.
- ARAUJO, K. D.; DANTAS, R. T.; ANDRADE, A. P.; PARENTE, H. N.; JÚNIOR, E. P. Dinâmica da mesofauna edáfica em função das estações seca e chuvosa em áreas de caatinga sob pastejo. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences And Humanities Research Medium**, v. 4, n. 2, p. 663-679, 2013.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. D.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 119-170, 2011.
- BEZERRA, J. M.; LIMA, R. W. S.; LIMA, M. B. V.S.; SANTOS, E. M. C.; ARAUJO, K. D. Fauna invertebrada do solo em fragmento florestal urbano em maceió, alagoas. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 44, p. 194-214, 2022.
- BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. D. A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, Lucilia Maria *et al.* **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa. 2015. p. 113-145.
- CABRERA, G. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/ perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. **Pastos y Forrajes**, v. 35, n. 4, p. 346-363, 2012.

CARVALHO, L. A. D.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C. A. D.; CENTURION, J. F. Spatial variability of soil physical properties in two management systems in sugarcane crop. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 60-68, 2012.

COSTA, C. C. A.; OLIVEIRA, F. L.; CAMACHO, R. G. V.; DANTAS, I. M.; MARACAJA, P. B. Entomofauna presente no conteúdo da serapilheira em área de caatinga na floresta nacional do Açu-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 4, p. 50-56, 2013.

CULLINEY, T. W. Role of arthropods in maintaining soil fertility. **Agriculture**, v. 3, n. 4, p. 629–659, 2013.

DINDAL, D. L. **Soil Biology Guide**. John Wiley & Sons. New York.1990. p 1349.

FERNANDES, M. M.; MAGALHÃES, L. M. S.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; BRITO, R. J.; MOURA, M. R. Influência de diferentes coberturas florestais na Fauna do solo na flona Mário Xavier, no município de Seropédica, RJ. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 533-540, 2011.

FERREIRA, C. R.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Diversity of the edaphic macrofauna in areas managed under no-tillage for different periods. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 599-610, 2019.

FORMIGA, L. D. A. S.; PAULO, P. F. M.; SANTOS, A. M. S.; CASSUCE, M. R.; LIMA, L. B.; SANTO, M. F. S. Distribuição temporal da macrofauna edáfica em áreas de caatinga sob pastejo caprino. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 10, n. 2, p. 1551-1559, 2018.

LIMA, C. S.; DALZUCHIO, M. S.; SILVA, E. F.; PÉRICO, E. Macrofauna edáfica e sua relação com sazonalidade em sistema de uso do solo, bioma cerrado. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.2, p. 1-13, 2020.

MARQUES, G. D. V.; DEL-CLARO, Kleber. Sazonalidade, abundância e biomassa de insetos de solo em uma reserva de Cerrado. **Revista Brasileira de Zoociências**, v. 2, n. 12, p. 141-150, 2010.

MEDEIROS, M. O.; KIMURA, M. T.; FROHLICH, W. F.; SOUZA, E. A; ALVES, S. M. Comportamento populacional adulto do percevejo castanho das-raízes *Scaptocoris carvalhoi* BECKER, 1967 (HEMIPTERA, CYDNIDAE) ASSOCIADO AS VARIAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS. **Biodiversidade**, v. 19, n. 3, p. 2-23, 2020.

MONTEIRO, M. M. **Levantamento, classificação e mapeamento de solos da fazenda São Gabriel – São José de Espinharas – PB**. 2021. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, Patos, 2021.

PESSOTTO, M. D. F.; SANTANA, N. A.; JACQUES, R. J. S.; FREIBERG, J. A.; MACHADO, D. N.; PIAZZA, E. M.; ANTONIOLLI, Z. I. Relação do uso do solo com adversidade e a atividade da fauna edáfica. **Nativa**, v.8, n.3, p.397-402, 2020.

REZENDE, J. S.; ARAÚJO, V. D. S.; NOBRE, R. D. S.; MENDES, I. H. D. S. F.; CARVALHO, A. C. C.; SANTOS, C. D. M. Efeito de usos e manejos agrícolas do solo no semiárido piauiense na macrofauna e carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 161-172, 2021.

RODRIGUES, J. C.; MARTINS, A. E. S., LIMA, F. O.; SOUZA, M. T. A.; SILVA, M. R. D. A. C.; GONÇALVES, M. V. P.; ... & DA SILVA FORMIGA, L. D. A. Levantamento da mesofauna edáfica em áreas de proteção do maranhão. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 7, n.2, p. 230-238, 2021.

SANTOS, G. R., ARAUJO, K. D.; SILVA, F. G. Macrofauna edáfica na Estação Ecológica Curral do Meio, Caatinga Alagoana. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, n. 2, p. 01-21, 2018.

SANTOS, G. R. Invertebrados da macrofauna e mesofauna do solo em ambiente de caatinga arbóreo-arbustiva, em Santana do Ipanema, Semiárido Alagoano. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, n.1, p. 894-903, 2016.

SOUZA, P. F. D.; SILVA, J. A. D.; LUCENA, D. D. S.; SANTOS, W. D. S.; HENRIQUES, Í. G. N.; LUCENA, M. D. F. D. A.; SOUZA, A. D. D. Estudos fitossociológicos e dendrométricos em um fragmento de caatinga, São José de Espinharas – PB. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1317-1329, 2016.

SOUZA, M. H.; VIEIRA, B. C. R.; OLIVEIRA, A. P. G.; AMARAL, A. A. A Macrofauna do solo. **Enciclopédia biosfera**, v.11 n.22, p. 115-128. 2015.

SPILLER, M. S.; SPILLER, C.; GARLET, J. Arthropod bioindicators of environmental quality. **Revista Agro ambiente On-line**, v.12, n.1, p.41-57, 2017.

CAPÍTULO 3

**COMPORTAMENTO TERMO-HÍDRICO EM DIFERENTES SISTEMAS DE
MANEJO DE SOLO EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA TROPICAL SECA E
ÁREAS DE CULTIVO.**

RESUMO

Compreender a variação do espaço-temporal das propriedades hidrotermais é fundamental e desempenha um papel importante na garantia do rendimento agrícola local por proporcionar melhorias na fertilidade do solo. Por isso pesquisas sobre comportamento térmico do solo em áreas de Caatinga são cada vez mais solicitados, sendo assim o objetivo desse trabalho foi verificar em duas épocas do ano (junho e outubro) a dinâmica das propriedades hidrotérmicas (conteúdo de água e temperatura do solo) como também avaliar a temperatura de superfície terrestre em diferentes manejos do solo (NA, AA e AM). Para avaliação da temperatura do solo na superfície e em profundidade utilizou-se um termômetro digital, e para determinação do conteúdo de água no solo a cada três horas foram coletadas duas amostras de solos por área (NA, AA e AM) as quais foram pesadas para obter a massa úmida (M_u) e após vinte e quatro horas na estufa a 105°C foi aferido o peso da massa seca (M_s). Na temperatura de superfície terrestre utilizou-se o software Open Source QGIS versão 3.10, calculado de acordo com as bandas 4, 5 e 10, de imagens obtidas dos sensores termais do Landsat-8. Analisando os resultados entende-se que o conteúdo de água no solo é influenciado pela sazonalidade e pela classe textural. Sendo a maior amplitude térmica na superfície do solo como também nos horários entre 12h e 15h, em locais com presença de vegetação essas temperaturas são mais amenas, corroborando com os dados observados pelos sensores termais do Landsat-8, concluindo que a obtenção de imagens orbitais é uma metodologia satisfatória para estudos de amplitudes térmicas da superfície terrestre.

Palavras-Chave: propriedades hidrotermais; fluxo térmico do solo; temperatura em ambiente semiárido; landsat-8.

ABSTRACT

Understanding the space-time variation of hydrothermal properties is fundamental and plays an important role in ensuring local agricultural income by providing improvements in soil fertility. Therefore, research on soil thermal behavior in Caatinga areas is increasingly requested, so the objective of this work was to verify, in two seasons of the year (June and October), the dynamics of hydrothermal properties (water content and soil temperature) as well as to evaluate the terrestrial surface temperature in different soil managements (NA, AA and AM). To evaluate the soil temperature on the surface and in depth, a digital thermometer was used, and to determine the water content in the soil every three hours, two soil samples were collected per area (NA, AA and AM) which were weighed to obtain the wet mass (M_u) and after twenty-four hours in the oven at 105° C, the dry mass weight (M_s) was measured. For the terrestrial surface temperature, the Open Source software QGIS version 3.10 was used, calculated according to bands 4, 5 and 10, from images obtained from the thermal sensors of Landsat-8. Analyzing the results, it is understood that the water content in the soil is influenced by seasonality and by textural class. As the temperature range is greater on the ground surface as well as between 12:00 and 15:00, in places with the presence of vegetation these temperatures are milder, corroborating the data observed by the thermal sensors of Landsat-8, concluding that obtaining orbital images is a satisfactory methodology for studies of thermal amplitudes on the Earth's surface.

Keywords: hydrothermal properties; soil thermal flux; temperature in a semiarid environment; landsat-8.

INTRODUÇÃO

O bioma Caatinga representa a maior floresta seca da América do Sul, sendo uma das mais diversas do mundo possuindo uma área de 844.453 km² (BANDA-R *et al.*, 2016), onde registra-se baixa disponibilidade hídrica no solo devido à sazonalidade da precipitação que varia anualmente (KAYANO, 2009), sendo que 80% da sua vegetação já foi alterada devido as ações antrópicas (ARAÚJO FILHO, 1996).

Ao longo do tempo, esse bioma vem sendo explorado de forma inadequada, ocasionando um aumento no processo de degradação, sucessão secundária e, por consequência, acarretando na desertificação (SILVA *et al.*, 2019), provocando assim a perda da cobertura vegetal que por causa disso aumenta-se o déficit hídrico que consequentemente altera as práticas agrícolas que resulta no manejo inadequado do solo (SILVA *et al.*, 2020).

Cada vez que o solo é manejado de forma intensa, o sistema de preparo do solo provocará mudanças em sua estrutura física, podendo acarretar o aumento da densidade, como também serão modificados outros atributos tais como a porosidade, retenção de água, aeração e dificuldades no desenvolvimento do sistema radicular (CARVALHO *et al.*, 2012). Essas técnicas de preparo do solo influenciam de forma significativa na temperatura e na disponibilidade de água no solo, variáveis estas que são primordiais no processo de controle da produtividade agrícola (WANG *et al.*, 2020).

Sendo assim, compreender a variação espaço-temporal dessas propriedades hidrotermais são fundamentais (umidade do solo e temperatura do solo) desempenhando um papel importante na garantia do rendimento agrícola local (WANG *et al.*, 2021), por proporcionar melhorias na fertilidade do solo como também maiores atividades dos organismos edáficos.

A demanda por pesquisas sobre comportamento térmico do solo em áreas de Caatinga são cada vez mais solicitadas, devido essa interação entre temperatura e o conteúdo de água no solo para que possa ter um entendimento sobre como a presença de água afeta o fluxo de calor no solo.

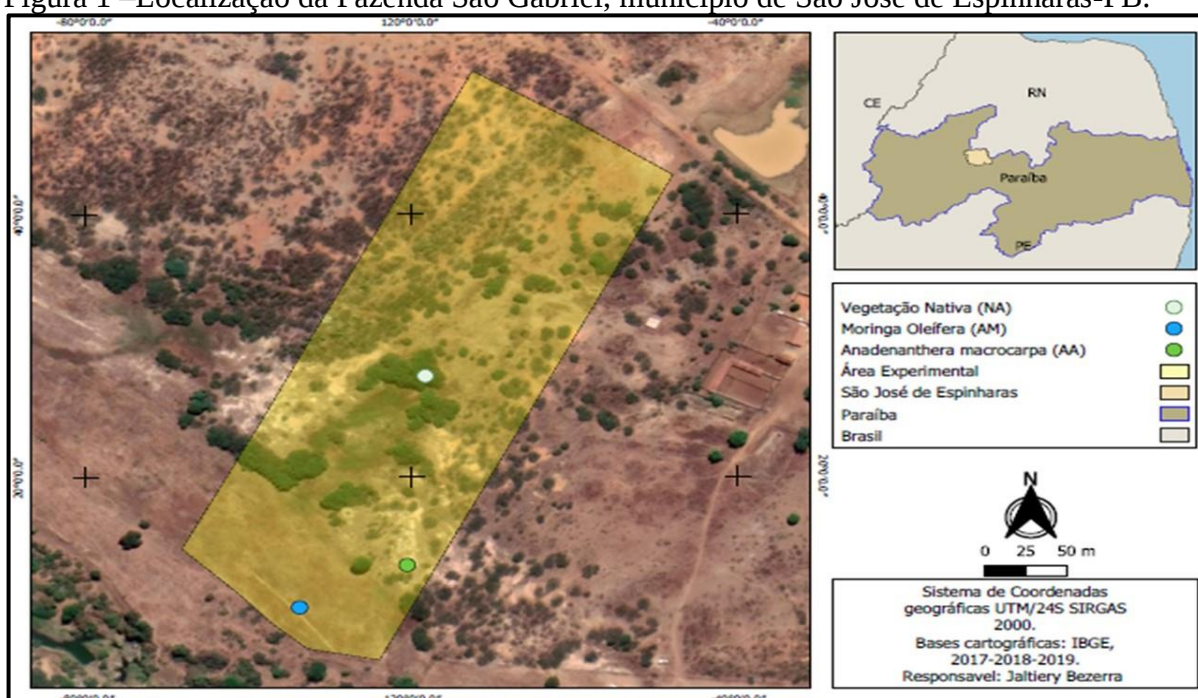
Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo verificar em duas épocas do ano a dinâmica das propriedades hidrotérmicas como também avaliar a temperatura de superfície do solo, utilizando imagens orbitais do satélite Landsat-8, sendo esses parâmetros analisados em área de caatinga preservada e em área de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda São Gabriel, localizada nas imediações do município de São José de Espinharas, situado na região imediata de Patos (Figura 1). De acordo com Koppen – Geiger o clima local se enquadra no tipo BSh, tropical semiárido (ÁLVARES, 2014), apresentando temperatura média anual de 28°C (SOUZA *et al.*, 2016) com uma pluviosidade de 884,7 mm (AESAs, 2020). O relevo possui características ondulado e suave ondulado, com presença de caatinga hiperxerófila.

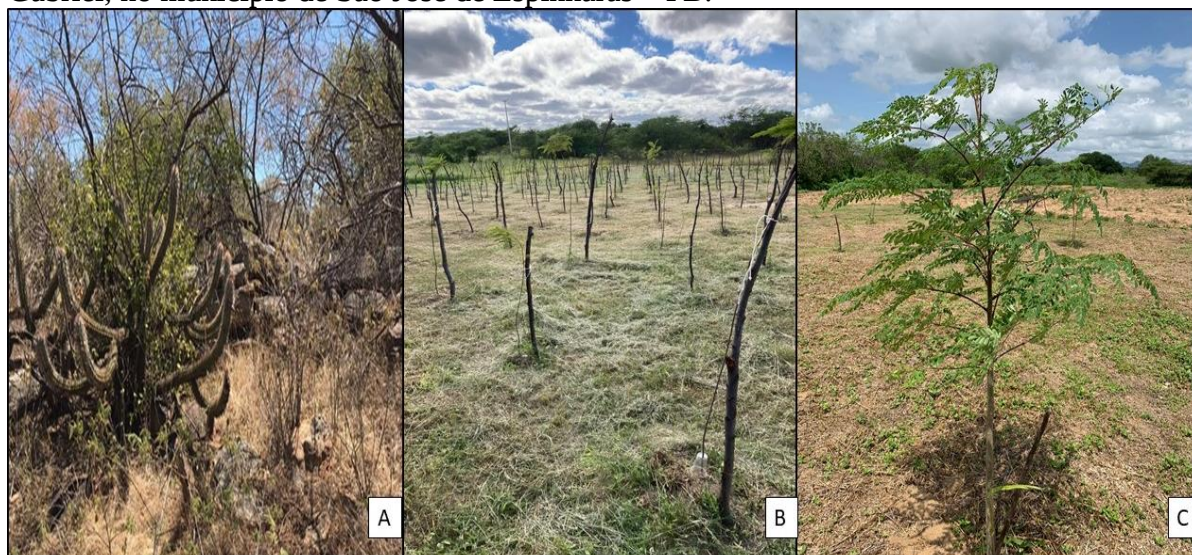
Figura 1 –Localização da Fazenda São Gabriel, município de São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022)

Para o estudo foram selecionadas três áreas, sendo uma de vegetação nativa (NA), uma com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* popularmente conhecida como angico (AA) e outra com o cultivo da *Moringa oleifera* (AM) (Figura 2), tendo suas características apresentadas na tabela – 1.

Figura 2 - Imagens das áreas (A-Vegetação nativa; B- cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* e C- cultivo da *Moringa oleifera*) selecionadas para estudos na Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas – PB.



Fonte: Autor (2022)

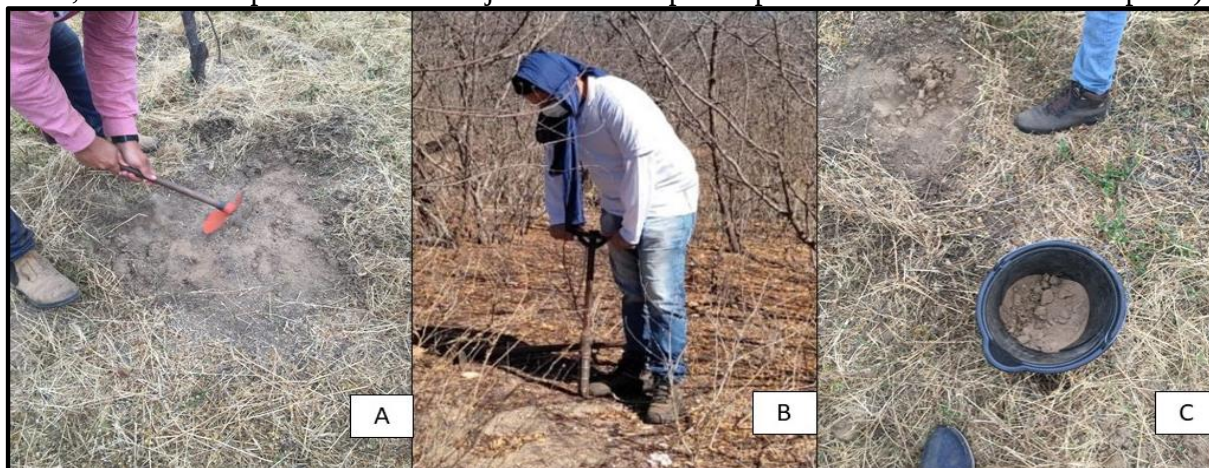
Tabela 1 – Características das áreas estudadas na Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas – PB.

Áreas	Coordenadas geográficas	Tipo de manejo
NA	06°53'25'' S 37°18'25'' O	Área localizada na parte mais alta da propriedade, com solo caracterizado como sendo Cambissolo Háplico Ta Eutróficos (MONTEIRO, 2021) onde apresenta uma vegetação nativa, típica de caatinga hiperxerófila.
AA	06°53'34'' S 37°18'28'' O	Área com solo caracterizado como sendo Planossolo Nátrico Órtico típico (MONTEIRO, 2021) que possui uma cobertura vegetal com estratos herbáceos e com presença da espécie <i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema-preta) vegetação primária típica da Caatinga. Atualmente está sendo usada para o plantio da espécie florestal <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (angico) com o uso de hidrogel.
AM	06°53'34'' S 37°18'30'' O	Área com solo caracterizado como Neossolo Flúvico Psamítico eutróico (MONTEIRO, 2021) que possui uma cobertura vegetal com estratos herbáceos e com presença de <i>Mimosa tenuiflora</i> (jurema-preta) vegetação primária típica da Caatinga. Atualmente está sendo usada para o plantio da espécie florestal <i>Moringa oleifera</i> (moringa), sendo irrigado periodicamente.

Fonte: Autor (2022)

O solo de cada área experimental foi caracterizado fisicamente através de uma amostra composta, obtida a partir de dez amostras simples, coletadas aleatoriamente na profundidade de 0 - 20 cm (Figura 3), onde os resultados são observados na tabela 2.

Figura 3 – Coletas de solo para caracterização dos atributos físicos das diferentes áreas da Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas - PB (A- Limpeza do local para colocar o trado, B- Trado na profundidade desejada e C- Recipiente para retirada da amostra composta).



Fonte: Autor (2022)

Tabela 2 - Características físicas do solo nas diferentes áreas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.

Análise física do solo				
Área	Granulometria g kg ⁻¹			Classe Textural USDA
	Areia	Silte	Argila	
NA	630	182	188	Franco arenoso
AA	509	323	168	Franco
AM	832	101	67	Areia franca

Fonte: Autor (2022)

A escolha dessa profundidade fundamentou-se no fato de que o maior volume do sistema radicular das culturas e as maiores alterações químicas e físicas em solos cultivados em plantio convencional ocorrem na profundidade de 0-20 cm.

Atributos físicos do solo (Temperatura do solo e conteúdo de água)

Nos dois períodos de coletas (junho e outubro de 2021) e nas três áreas de estudo foram realizados os levantamentos dos dados de conteúdo de água e temperatura do solo em um período de tempo de 24h.

Para avaliação do conteúdo de água no solo, a cada três horas foram coletados em capsulas de alumínio duas amostras de solos por área (NA, AA e AM), as quais foram pesadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas/CSTR/UFCG, onde se obteve o peso da massa úmida (Mu) e em seguida, foram colocadas em estufa a 105° C por um período de vinte e quatro horas, obtendo-se desta forma o peso de massa seca (Ms) (Figura 4).

Figura 4 – Coletas de solo para análise de conteúdo de água (A); Pesagem das cápsulas de alumínio para obter a Mu (B); Cápsulas de alumínio na estufa a 105° C (C) e retirada das cápsulas de alumínio após 24h para a pesagem da Ms (D).



Fonte: Autor (2022)

Diante desse processo foram determinados o conteúdo de água utilizando a equação:

$$CAS = \frac{Mu - Ms}{Mu} \times 100 \quad (3)$$

Em que, CAS = Conteúdo de água do solo (%);

Mu = Massa do solo úmido (g);

Ms = Massa do solo seco (g).

Simultaneamente foram aferidas a temperatura do solo, utilizando termômetro digital tipo espeto, na superfície do solo (A) e nas profundidades de 7,5 cm (B) e 15 cm (C) (Figura 5).

Figura 5 – Medição da temperatura (°C) do solo utilizando o termômetro digital tipo espeto na superfície (A); na profundidade de 7,5 cm (B) e na profundidade de 15 cm (C) nas três áreas avaliadas da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022)

Luminosidade, velocidade do vento e temperatura ambiente.

A luminosidade foi mensurada através de luxímetro digital portátil Icel Manaus® modelo LD505 com escala de X100:50.000 lux (A), aferida quando ocorria a estabilização do leitor de luminosidade, e a velocidade do vento foi aferida com a utilização do anemômetro digital portátil da marca Outest modelo GM816 (B), onde possuía um termômetro digital acoplado assim fazendo também a aferição da temperatura ambiente (C). Todas as leituras foram realizadas nos dois períodos de coletas e nas três áreas de estudo durante 24h (Figura 6).

Figura 6 – Instrumentos utilizados para aferir a luminosidade (A): luxímetro; a velocidade do vento, anemômetro (B) e o termômetro digital (C) para temperatura ambiente nas áreas experimentais da Fazenda São Gabriel, em São José de Espinharas-PB.



Fonte: Autor (2022)

Cálculo da Temperatura de superfície terrestre utilizando o satélite landsat 8.

Para o desenvolvimento do estudo, foram utilizadas duas imagens orbitais do satélite Landsat-8, que possui sensores Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS), as datas de imageamento foram 07/06/2021 e 29/10/2021. Essas imagens foram adquiridas através da base de dados espaciais americana da NASA/USGS (National Aeronautics and Space Administration/United States Geological Survey).

Para o processamento das imagens e cálculo automático da temperatura de superfície terrestre de acordo com as bandas 4, 5 e 10 foi utilizado o software Open Source QGIS versão 3.10 (QGIS, 2021). Quanto ao cálculo de temperatura de superfície terrestre foi necessário seguir o seguinte processo:

1º - Realizar cálculo da radiância, sendo esse feito inicialmente apenas para a Banda 10, no intervalo espectral do infravermelho termal, dado por:

$$L_{toa} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (4)$$

Onde L_{toa} é a radiância ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$) no topo da atmosfera (*top of atmosphere*), M_L é o fator multiplicativo e A_L é o fator aditivo de correção da radiância, e Q_{cal} são os valores quantizados e calibrados padrão dos pixels da Banda 10.

2º - Realizar cálculo de reflectância no topo da atmosfera, que é feito para as Bandas 4 e 5, do vermelho e infravermelho próximo. Para as duas reflectâncias o cálculo é dado por:

$$\rho_{toa} = \frac{(M\rho Q_{cal} + A\rho)}{\sin(\theta_{SE})} \quad (5)$$

Onde ρ_{toa} é a reflectância no topo da atmosfera (*top of atmosphere*), $M\rho$ é o fator multiplicativo e $A\rho$ é o fator aditivo de correção de reflectância disponíveis no documento de metadados que acompanha as imagens de satélite, Q_{cal} são os valores quantizados e calibrados padrão dos pixels de Banda 04 ou Banda 05, e θ_{SE} é o seno do ângulo zenital disponível no arquivo de metadados.

3º - Realizar cálculo do NDVI que é dado por:

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (6)$$

Onde ρ_{iv} é a reflectância da banda do infravermelho próximo e ρ_v é a reflectância da banda do vermelho.

4º - Realizar cálculo da radiância da banda termal corrigida, primeiro é necessário o cálculo de algumas variáveis. A primeira dela é o Fator de Cobertura, definido por:

$$F_c = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (7)$$

Sendo $NDVI_{\text{máx}}$ (NDVI máximo) possível igual a um (01), e o $NDVI_{\text{mín}}$ (NDVI mínimo) possível igual a um negativo (-01). Posteriormente, obtém-se a constante de emissividade, que pode ser calculada por:

$$\epsilon_0 = \epsilon_v * F_c + \epsilon_g * (1 - F_c) * (1 - 1,174 * F_c) + 1,7372 * F_c * (1 - F_c) \quad (8)$$

Onde ϵ_0 é a emissividade da superfície, ϵ_v é a emissividade da vegetação (de valor 0.985), ϵ_g é a emissividade do solo (de valor 0.960) e F_c é o fator de cobertura previamente calculado.

Finalmente, corrige-se a Radiância Espectral da banda do espectro de infravermelho termal por meio do cálculo:

$$L_T = \frac{L_{toa} - L_u - (1 - \epsilon_0) * L_d}{\epsilon_0 * t} \quad (9)$$

Onde L_T é a Radiância Espectral corrigida ($W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$), L_{toa} é a radiância espectral no topo da atmosfera ($W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$) e ϵ_0 é a emissividade da superfície.

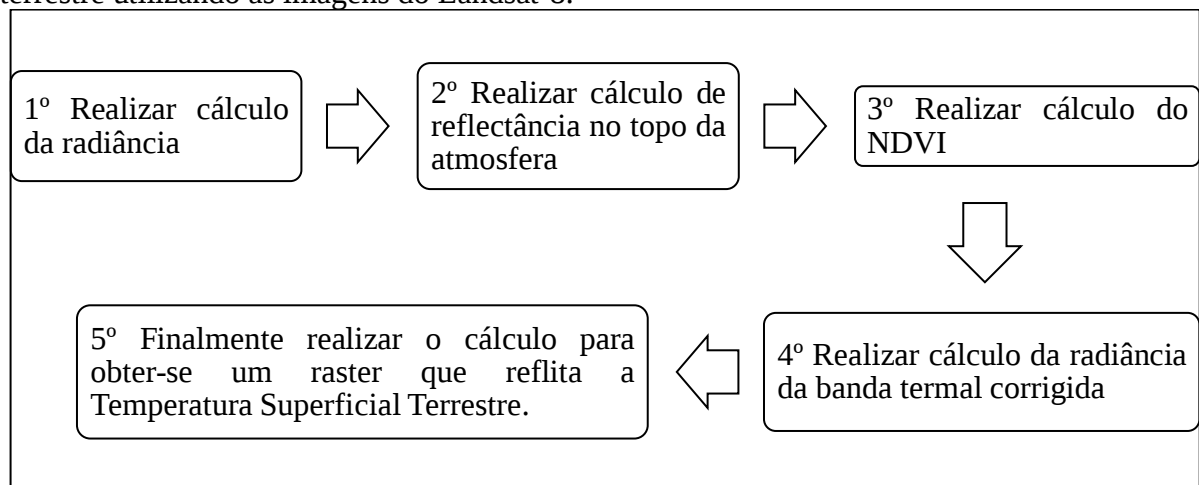
5º Finalmente realizar o cálculo para obter-se um raster que reflita a Temperatura Superficial com correção atmosférica, calcula-se a mesma pela seguinte fórmula:

$$T_s = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_t} + 1\right)} - 273.19 \quad (10)$$

Onde T_s é a Temperatura da Superfície (Graus Celsius), K_1 e K_2 correspondem a constantes termais para banda 10 espectral do infravermelho termal apresentadas nos metadados e L_t é a Radiância espectral corrigida ($W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$) (FERNANDES *et al.*, 2021).

Para melhor visualização a baixo segue um fluxograma demonstrando cada etapa para o cálculo de temperatura de superfície terrestre utilizando as imagens do Landsat 8 e sendo processadas no QGIS (Figura 7).

Figura 7 – Fluxograma demonstrando cada etapa para o cálculo de temperatura de superfície terrestre utilizando as imagens do Landsat-8.



Fonte: Autor (2022)

Análise estatística

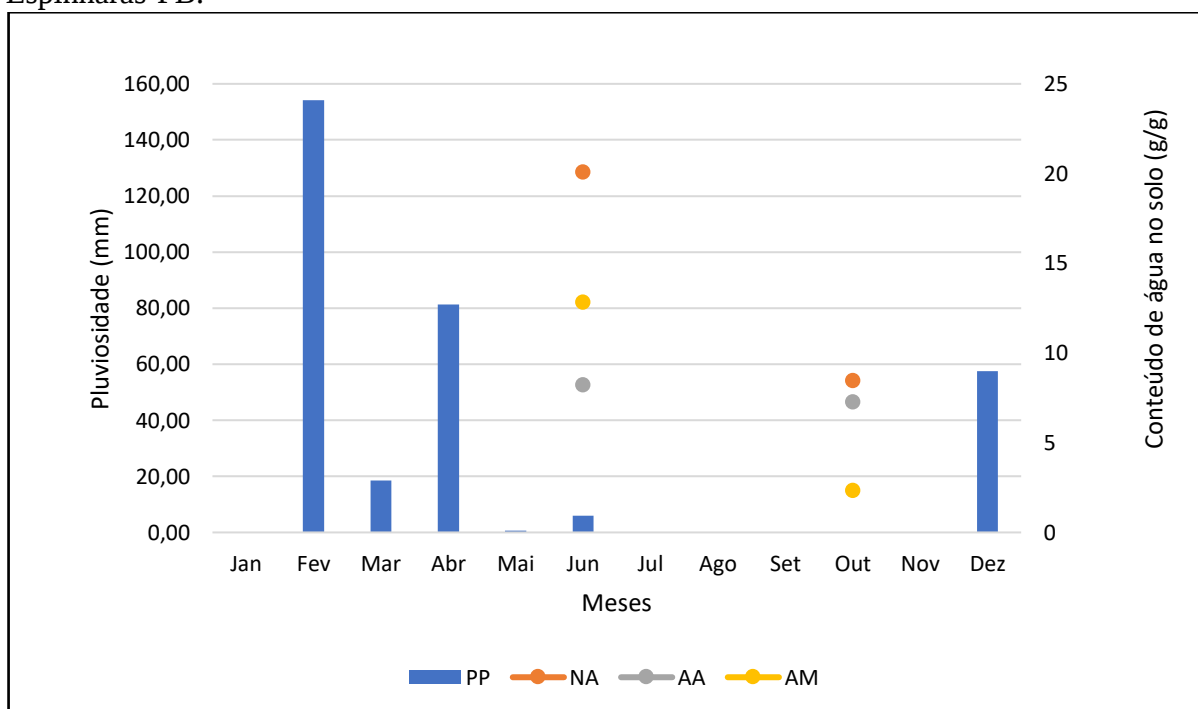
Os dados coletados referentes a temperatura e conteúdo de água no solo foram submetidos à análise de regressão em função dos horários para cada área e profundidades avaliadas. Foi realizada análise de correlação de Pearson para comparação da temperatura em cada uma das profundidades, pluviosidade e conteúdo de água no solo e variáveis ambientais: como temperatura ambiente, velocidade do vento e luminosidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pluviosidade e conteúdo de água

Durante o período de avaliação (janeiro a dezembro de 2021) registrou-se uma pluviosidade de 318 mm, com destaque para os meses de fevereiro e abril, com um pulso pluviométrico no mês junho. Com relação ao conteúdo de água do solo, dados obtidos por meio de coletas em dois períodos (junho e outubro de 2021), apresentaram maiores percentuais no mês de junho, justificado pelo fim do período chuvoso na região (Figura 8).

Figura 8 – Pluviosidade mensal e teor de água no solo (%) em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas (AN, AA e AM) da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.



PP= Pluviosidade; NA= Área de vegetação nativa; AA= Área com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* e AM= Área com o cultivo da *Moringa oleifera*; Fonte: Autor (2022)

É interessante ressaltar a redução drástica no conteúdo de água do solo no mês de outubro, indicando déficit hídrico no solo, desencadeia o processo de caducifolia da maioria das espécies da caatinga aumentando a exposição da superfície do solo à ação da radiação solar.

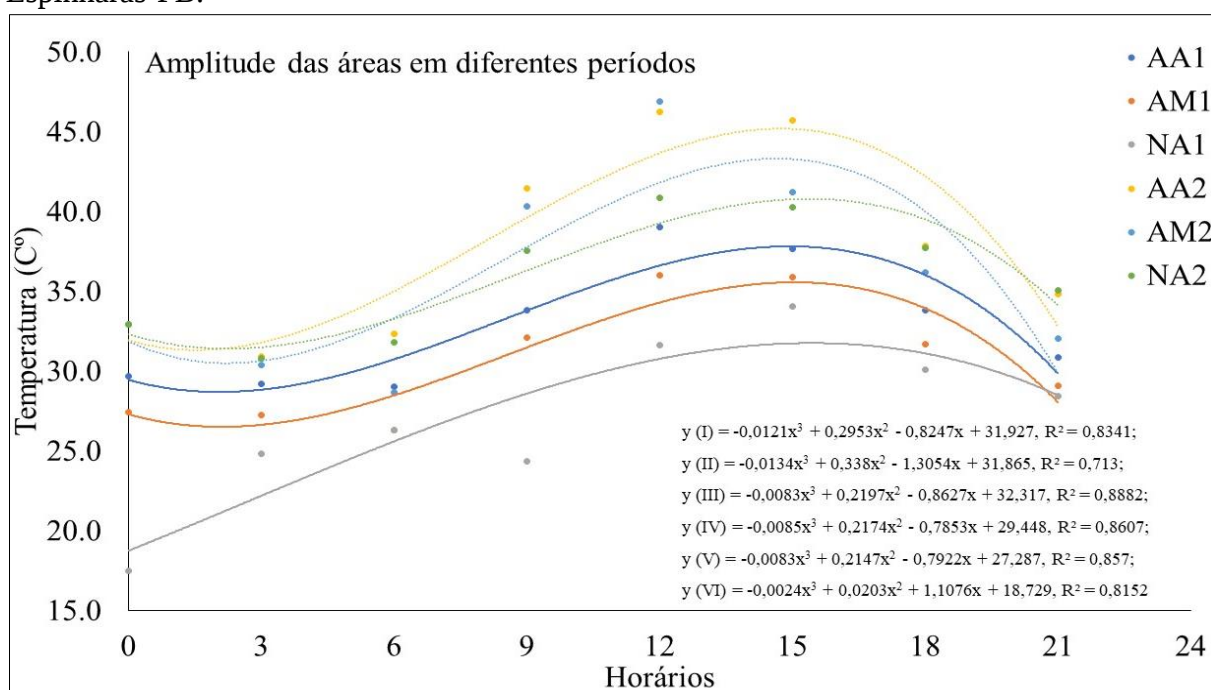
Quando se observa as áreas estudadas (Figura 8), vê-se que área com o cultivo da *Moringa oleifera* apresentou o menor conteúdo de água no mês de outubro, podendo ter sido influenciado pela textura do solo. Santos *et al.* (2011) afirmam que a umidade do solo possui elevado grau de variabilidade no espaço e no tempo, controlado por fatores como: tempo, textura do solo, vegetação e topografia.

Variação de temperatura e umidade do solo ao longo do dia

Houve efeito significativo para regressão quadrática para a variável temperatura em todas as áreas avaliadas. Também houve efeito positivo para a temperatura avaliada em cada área nas diferentes profundidades de avaliação e efeito significativo para a regressão quadrática para as áreas nas avaliações em cada profundidade (Figuras 9, 10 e 11).

Em todas as áreas a temperatura apresentou o mesmo comportamento, sendo inferior entre 00hs00 e 03h00, sendo às 12h00 o pico máximo. A partir desse horário houve uma redução gradual da temperatura em todas as áreas avaliadas (Figura 9). Esse aumento de temperatura à medida que o dia avança ocorre devido ao balanço de energia acumulado pelo solo, em que o calor absorvido é superior ao calor que é refletido novamente para a atmosfera (LIMA; ARAÚJO, 2019).

Figura 9 – Variação total da temperatura (C°) do solo em dois períodos (junho e outubro de 2021) e em três áreas (AN, AA e AM) da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.



AA1= Área com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* primeiro período; AA2= Área com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* segundo período; AM1= Área com o cultivo da *Moringa Oleifera* no primeiro período; AM2= Área com o cultivo da *Moringa Oleifera* no segundo período; NA1= Área de vegetação nativa no primeiro período; NA2= Área de vegetação nativa no segundo período; Fonte: Autor (2022)

Ainda na figura 9 é possível observar que a amplitude térmica em cada uma das áreas se comportou de maneira diferente. Na vegetação nativa as temperaturas mínimas e máximas foram de (17,5°C e 34,1°C), respectivamente para o primeiro período de coleta (NA1) e no segundo período de coleta (NA2) foram de 30,8°C e 40,8°C. Na área com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* registrou-se 29,0°C e 39,0°C para o primeiro período de coleta

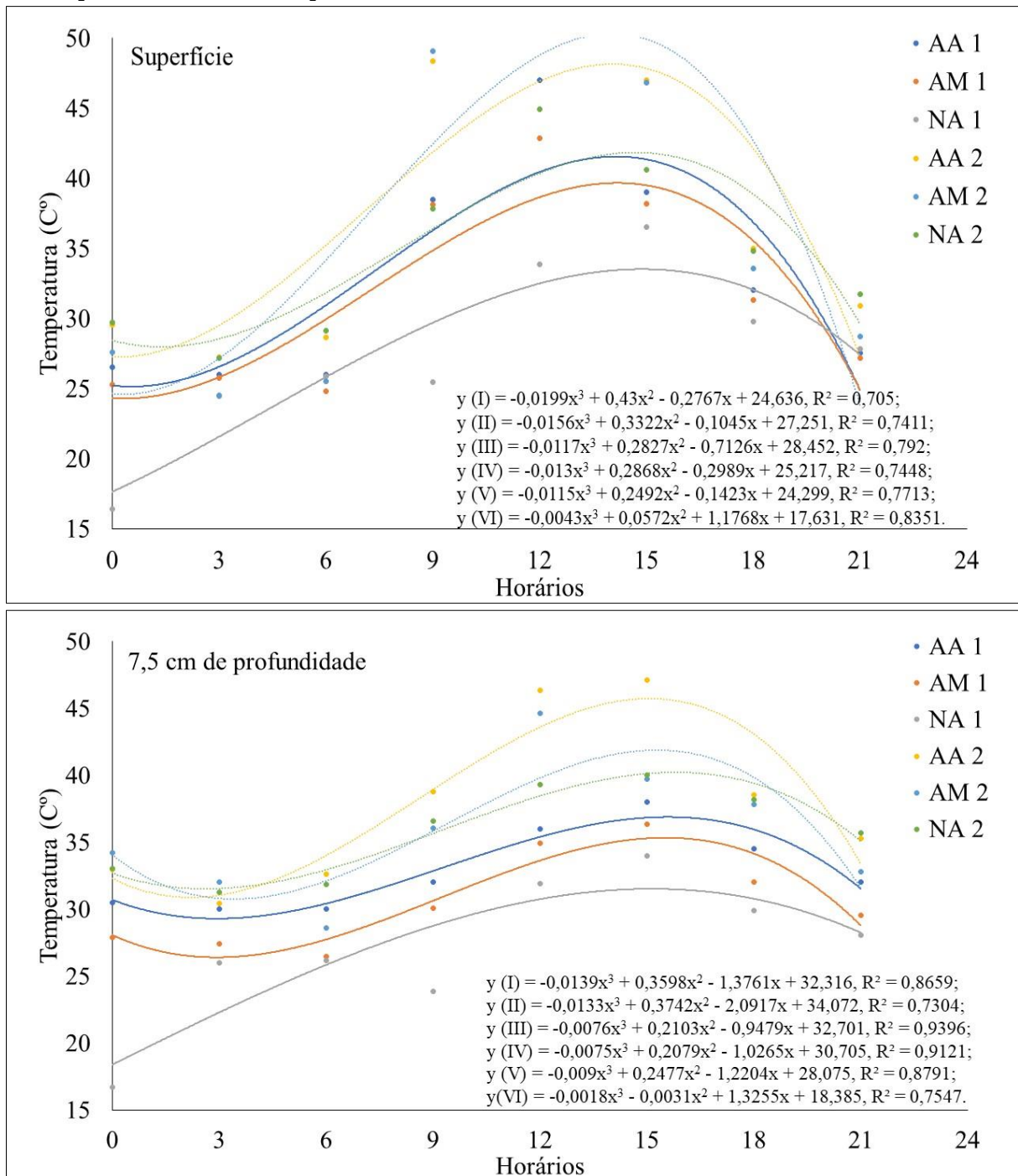
(AA1) e no segundo período 30,9°C e 46,3°C; já na área com o cultivo da *Moringa oleifera* as temperaturas mínima e máxima obtidas foram (26,3°C ; 36,0°C, AM1) e (28,7°C ; 46,9°C, AM2) durante os períodos avaliados.

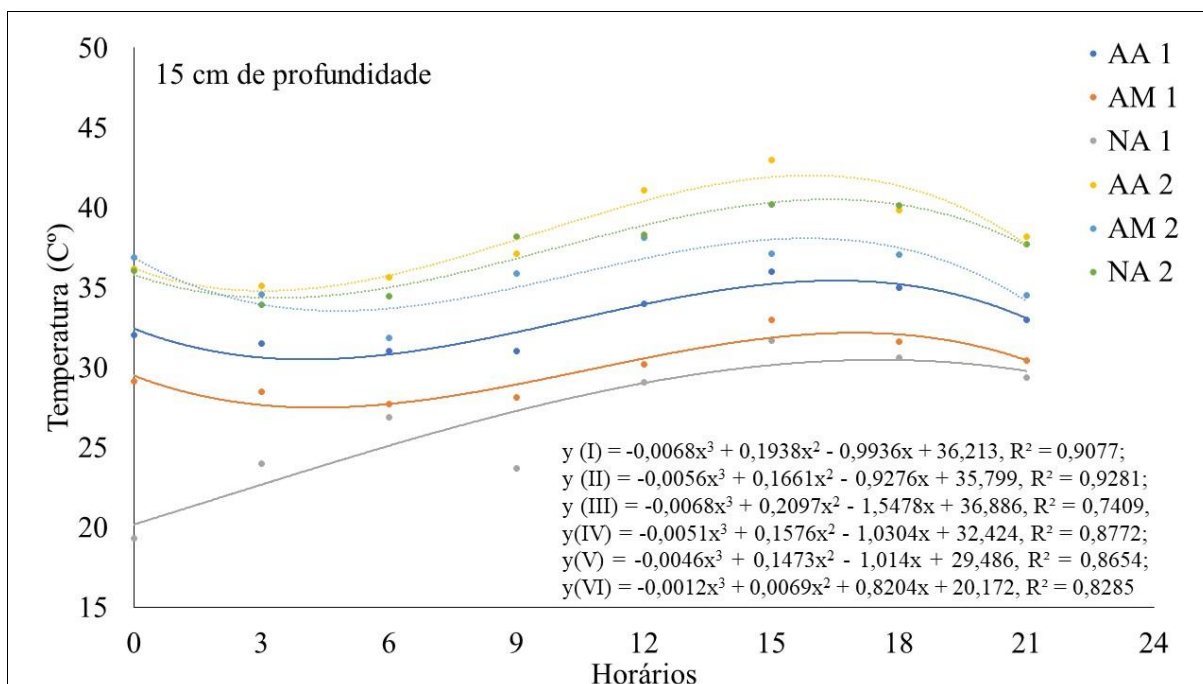
A amplitude térmica foi superior nas áreas de cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* e na de cultivo da *Moringa oleifera*, principalmente no segundo período, sendo intermediária na área de vegetação nativa, essa é uma área que apresenta árvores de médio porte, além do estrato herbáceo, diferentemente das outras áreas. Esse fator, possivelmente, contribuiu com a menor amplitude térmica nessa área em relação as demais.

De acordo com Simon *et al.* (2019), realizando um estudo sobre “Emissão de CO₂, atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes sistemas de preparo do solo”, observaram que em áreas de mata preservada a temperatura do solo é menor do que em áreas sobe sistemas de preparo de solo. Quando é observado a sazonalidade é visualizado que em períodos secos a temperatura do solo é maior (GOMES *et al.*, 2021), resultados que corroboram com o que foi encontrado na figura 9.

Para as profundidades do solo houve diferenças na variação de temperatura entre as profundidades avaliadas. Quando se observa a variação térmica nas áreas cultivadas (*Anadenanthera macrocarpa* e *Moringa oleifera*) os valores absolutos de temperatura foram superiores em relação a área de vegetação nativa (Figura 10) nos dois períodos avaliados (junho e outubro de 2021).

Figura 10 – Variação da temperatura (C°) em diferentes profundidades (cm) do solo em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas (NA, AA e AM) da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.





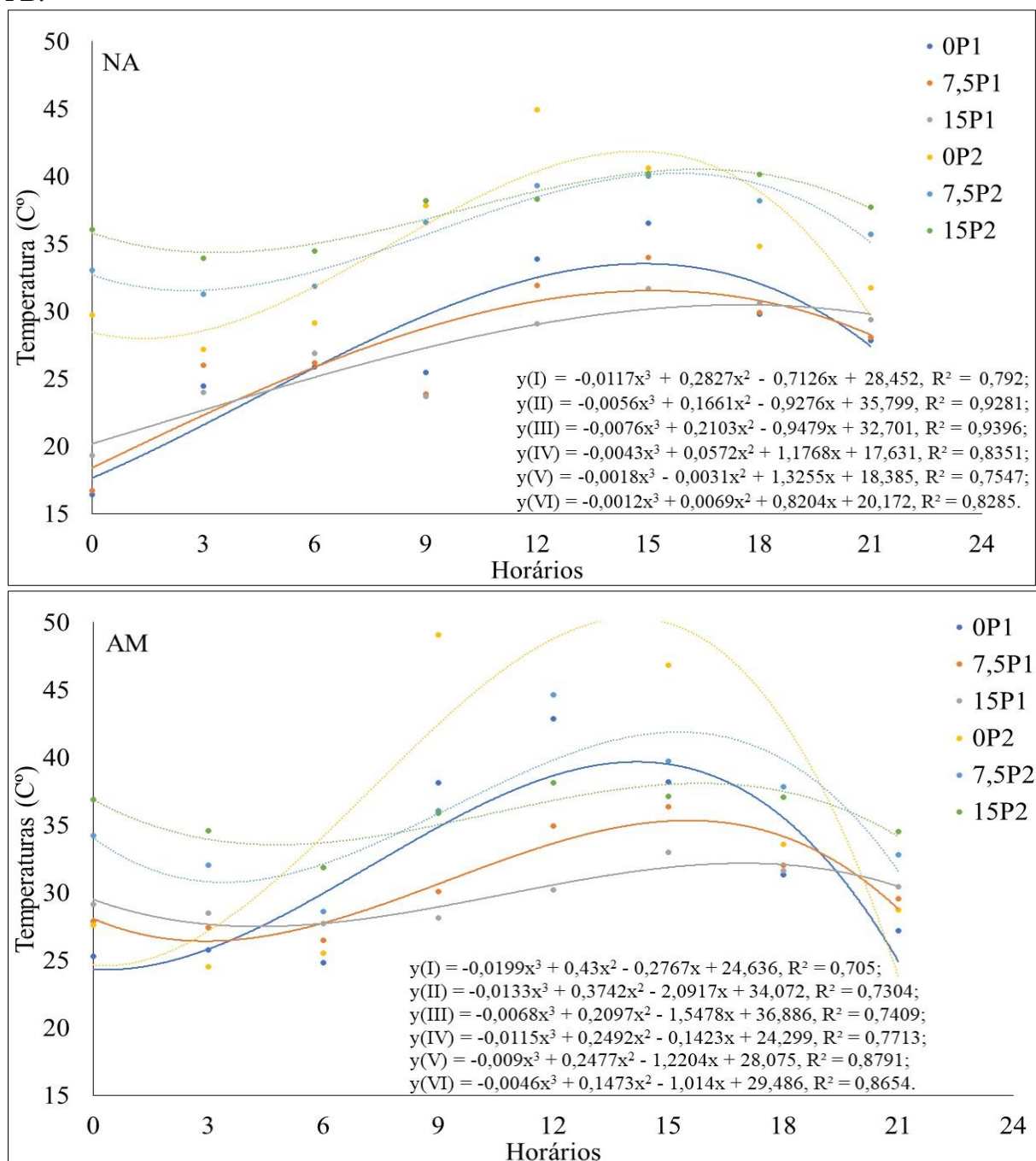
AA1= Área com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* primeiro período; AA2= Área com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* segundo período; AM1= Área com o cultivo da *Moringa oleifera* no primeiro período; AM2= Área com o cultivo da *Moringa oleifera* no segundo período; NA1= Área de vegetação nativa no primeiro período; NA2= Área de vegetação nativa no segundo período; Fonte: Autor (2022).

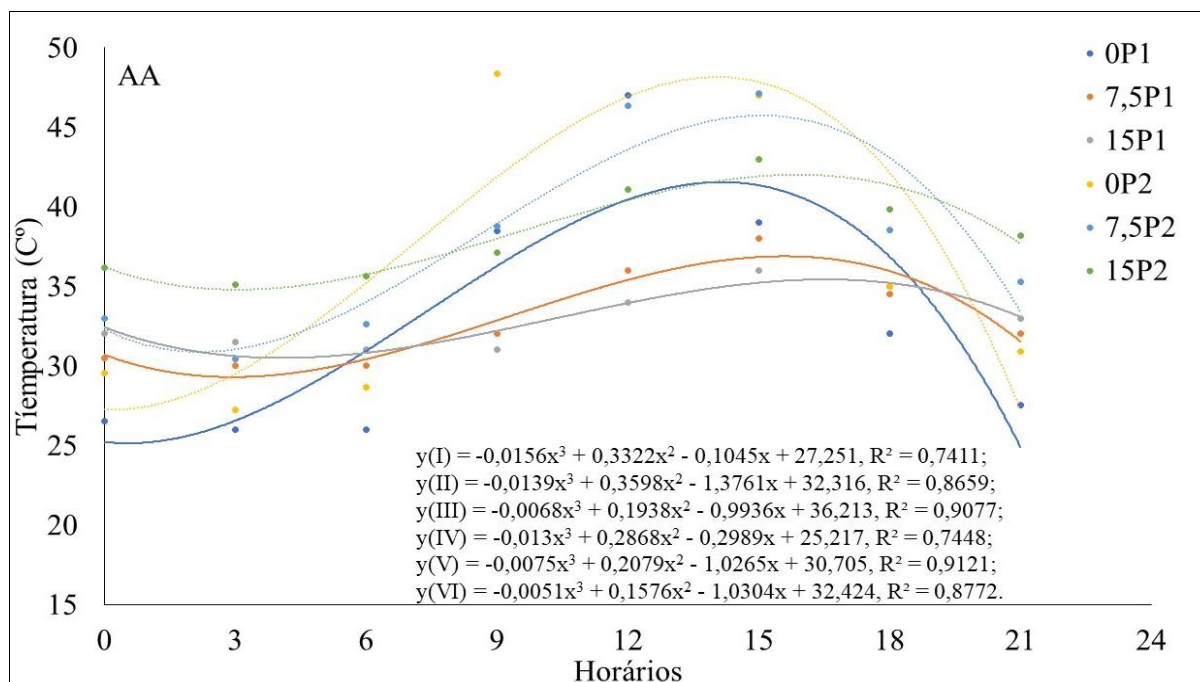
A área mais preservada com presença de uma vegetação nativa, típica de Caatinga hiperxerófila se comportou de maneira diferente, apresentando baixa capacidade de absorção da energia térmica absorvida pelos solos, o que resultou em uma amplitude térmica inferior nessa área.

Além da vegetação outros fatores podem ser considerados no armazenamento de calor do solo, onde Zhu *et al.* (2021) cita que a capacidade de um solo armazenar e transferir calor é determinada pelas suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas do local, que por sua vez influenciam todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo.

Analisando as áreas separadamente é possível constatar que entre todas as camadas avaliadas a superfície do solo destacou-se com uma maior amplitude térmica; já a camada mais profunda (15 cm) foi observada menores variações de temperatura ao longo do dia. Independente da parte estudada é possível identificar que as áreas com cultivo (*Anadenanthera macrocarpa* e *Moringa oleifera*) expressou maiores variações térmicas em todas as camadas (Figura 11).

Figura 11 – Variação da temperatura (C°) em três áreas (NA, AA e AM) na superfície do solo, 7,5 e 15 cm de profundidade da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.





NA= Área de vegetação nativa; AA= Área com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa*; AM= Área com o cultivo da *Moringa oleifera*; 0P1= aferição da temperatura na superfície no primeiro período; 0P2= aferição da temperatura na superfície no segundo período; 7,5P1= aferição da temperatura na profundidade de 7,5 cm no primeiro período; 7,5P2= aferição da temperatura na profundidade de 7,5 cm no segundo período; 15P1= aferição da temperatura na profundidade de 15 cm no primeiro período; 15P2= aferição da temperatura na profundidade de 15 cm no segundo período; Fonte: Autor (2022)

Em um estudo realizado por Leite *et al.* (2019) os autores estudaram a variação da temperatura do solo nas profundidades de 0,0; 7,5 e 15 cm ao longo de 12 meses no semiárido.

Os resultados desse estudo indicaram que à medida que a profundidade aumentava ocorria uma diminuição na temperatura do solo, demonstrando a relação entre a diminuição da amplitude térmica e o aumento da profundidade, outra característica que corrobora com os resultados desse trabalho (figura 11), é que no mês de outubro Leite *et al.* (2019) também observou maior amplitude térmica em relação ao mês de junho.

Trabalho realizado por Góes *et al.* (2021) com diferentes usos do solo (Mata nativa, Campo Nativo Pastejado e Lavoura de Soja), observaram que a Mata Nativa apresenta as temperaturas mais baixas em relação às outras áreas, essas temperaturas mais baixas na Mata Nativa podem ser explicadas em razão do tipo de cobertura vegetal que é mais adensada, evitando assim a entrada de raios solares e consequentemente proporcionando uma menor amplitude térmica no solo.

Correlação de Pearson

A relação das propriedades hidrotérmicas e sua influencias em seus componentes ambientais, observa-se que a pluviosidade (Pp) exerce uma correlação positiva com o conteúdo de água (Ca) apresentando valor de 0,67(Tabela 3).

Tabela 3 - Correlação de Pearson entre as propriedades hidrotérmicas e condições ambientais em dois períodos (junho e outubro de 2021) em três áreas (AN, AA e AM) da Fazenda São Gabriel, no município de São José de Espinharas-PB.

	Pp	Ca	Ts0	Ts7.5	Ts15	Ta	Vv	Lm
Pp	1	0,67*	-0,31*	-0,56*	-0,76*	-0,24	-0,60*	-0,12
Ca		1	-0,40*	-0,56*	-0,69*	-0,24	-0,59*	-0,26
Ts0			1	0,84*	0,59*	0,81*	0,39*	0,72*
Ts7.5				1	0,90*	0,63*	0,42*	0,43*
Ts15					1	0,40*	0,49*	0,20
Ta						1	0,41*	0,64*
Vv							1	0,15
Lm								1

Pp=Precipitação; Ca=Conteúdo de água no solo; Ts0= temperatura do solo na superfície; Ts7.5= temperatura do solo na profundidade a 7.5 cm; Ts15= temperatura do solo a 15 cm; Ta= temperatura ambiente; Vv= velocidade do vento; Lm= luminosidade.; * significância a 5 %; Fonte: Autor (2022).

De acordo com Medeiros *et al.* (2020) esse é um comportamento habitual dessas variáveis. A variável temperatura do solo foi aferida na superfície denominado Ts0 e nas profundidades de 7,5 cm e 15 cm esse parâmetro se correlacionou positivamente com outras variáveis ambientais.

Silva *et al.* (2020) afirmam que a temperatura do solo depende de fatores meteorológicos como temperatura do ambiente (Ta) e velocidade do vento (Vv), corroborando com o que foi encontrado nesse estudo, onde a correlação entre Ta e a temperatura do solo Ts0; Ts7,5; Ts15 foram (0,81; 0,63; 0,40), respectivamente, já a Velocidade do vento foi de 0,39 (Ts0); 0,42 (Ts7,5); 0,49 (Ts15).

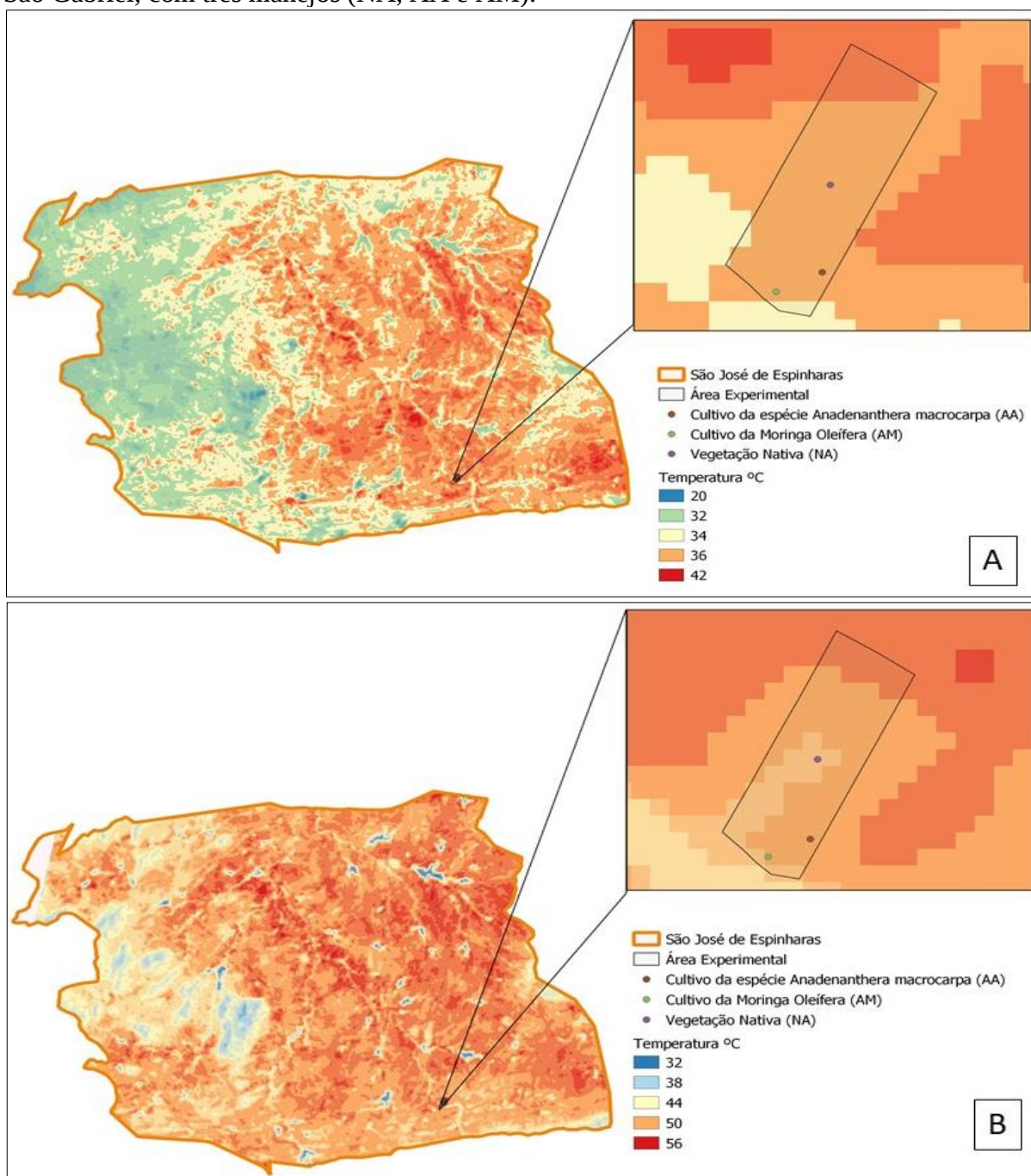
Outro fator ambiental que exerceu uma correlação positiva com as temperaturas do solo (Ts0; Ts7,5; Ts15) foi a luminosidade, onde apresentou o valor de 0,72 (Ts0); 0,43 (Ts7,5) e 0,20 (Ts15), conforme Santos *et al.* (2010) a luminosidade demonstra forte influência na temperatura do solo como também na temperatura ambiente, confirmando com a correlação positiva de 0,64 entre a Lm e Ta.

Temperatura de superfície terrestre utilizando o satélite landsat 8.

Considerando toda a extensão do município de São José de Espinharas-PB, ao longo de dois períodos (junho e outubro) do ano de 2021, observa-se de acordo com as imagens obtidas pelo satélite Landsat 8, um aumento da temperatura de superfície ao longo do ano, chegando atingir temperaturas de 20°C a 40°C no primeiro período (A) e 32°C a 56°C no segundo período (B), quando é considerado apenas a área experimental, a área com vegetação nativa teve uma temperatura média de 34,37°C no mês de junho e 48,32 no mês de outubro; já a área com o cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa* obteve os seguintes temperaturas médias: 36°C

para o primeiro período de estudo e 49,51°C para o segundo período; porém a área com o cultivo da *Moringa oleifera* apresentou um temperatura média de 34,86°C para o primeiro período analisado e 48,78 °C no segundo período (Figura 12).

Figura 12 - Temperatura de Superfície Terrestre (TST) em dois períodos (junho (A) e outubro (B) de 2021) no perímetro urbano de São José de Espinharas (PB), com destaque para a Fazenda São Gabriel, com três manejos (NA, AA e AM).



Fonte: Autor (2022).

O Landsat 8 registrou a imagem nos períodos analisados entre 12h e 13h, nesse mesmo período foi realizado três aferições (Ts0, 7,5 cm e 15 cm) de temperatura do solo, nas três áreas

de estudo utilizando um termômetro digital tipo espeto, onde as temperaturas médias registradas nas áreas foram de 31,90°C (mês de junho) e 39,30°C (mês de outubro) para área de vegetação nativa; 36,00°C (mês de junho) e 46,35°C (mês de outubro) para área de cultivo da espécie *Anadenanthera macrocarpa*, e temperaturas de 34,95°C (mês de junho) e 44,65°C (mês de outubro) para de cultivo de *Moringa oleifera*.

Diante desses resultados observa-se que as temperaturas registradas pelo satélite seguiram o mesmo parâmetro do registro feito com o termômetro digital, onde no mês de junho tiveram menores temperaturas relacionadas ao mês de outubro. Analisando as áreas separadamente, observa-se que os valores registrados pelo satélite foram próximo aos valores registrados com o termômetro, sendo que no mês de junho as áreas cultivadas (*Anadenanthera macrocarpa* e *Moringa oleifera*) apresentaram os mesmos valores de temperatura tanto no termômetro quanto no registro do satélite.

No estudo realizado por Silva *et al.* (2015), determinaram também a temperatura de superfície terrestre em uma área do semiárido do estado da Paraíba, mediante imagens do sensor termal do Landsat-8, com datas de 2004, 2005, 2006 e 2009 comparando esses valores com temperaturas do solo obtidas com geotermômetros em três profundidades (2, 5 e 10 cm).

Os valores médios de temperatura de superfície terrestre obtido por esses autores apresentaram que as temperaturas mais altas foram obtidas em superfícies com pouca ou nenhuma vegetação, concluindo que há uma grande variação térmica entre os diferentes usos do solo, corroborando com o presente estudo (Figura 12).

Silva *et al.* (2015), também encontram valores consistentes entre a temperatura obtida pelos sensores do satélite e as temperaturas médias obtidas com os geotermômetros, mostrando-se uma metodologia satisfatória quando comparado com as observações realizadas em campo.

De acordo com Oliveria *et al.* (2021), realizando um estudo de variabilidade temporal na região semiárida dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, utilizando imagens de satélite, afirmaram que as maiores amplitudes térmicas da análise da temperatura de superfície terrestre estão associados aos meses com menores acumulados de precipitação, ou seja, a redução de umidade e a diminuição do dossel vegetativo resultam no aumento da incidência da radiação sobre a superfície, consequentemente maiores valores para temperatura de superfície terrestre (Silva et al., 2014; Araújo et al., 2017), comportamento semelhante da Figura 12.

CONCLUSÕES

1. O conteúdo de água no solo é influenciado pela sazonalidade e pelas classes texturais do solo, sendo a área com o cultivo da *Moringa oleifera* apresentou o menor conteúdo de água no mês de outubro;
2. A temperatura do solo foi superior na superfície independentemente da área e época avaliada, sendo que o mês mais seco apresentou maior amplitude térmica;
3. A área de vegetação nativa apresenta as temperaturas mais baixas em relação às outras áreas nos períodos avaliados;
4. O horário das 12:00 até às 15:00 horas ocorre a maior amplitude térmica do solo, a partir desse período tem redução gradual da temperatura em todas as áreas avaliadas;
5. Fatores ambientais como velocidade do vento, temperatura ambiente e luminosidade se correlacionam positivamente com a temperatura do solo;
6. A utilização de imagens orbitais do Landsat-8, que possui sensores Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS), mostrou consistentes valores entre as temperaturas médias obtidas com os termômetros digitais, sendo uma metodologia satisfatória para estudos de amplitudes térmicas da superfície terrestre.

REFERÊNCIAS

- AESA – **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba**. Precipitação pluviométrica (mm), janeiro a dezembro de 2020 e janeiro a outubro de 2021 Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/climatologia/>. Acesso em: 14 nov. 2021.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 06, p. 711-728, 2014.
- ARAÚJO, A. L. D.; SILVA, M. T.; SILVA, B. B. D.; SANTOS, C. A. C. D.; AMORIM, M. R. B. D. Modelagem Simplificada Para Estimativa do Balanço de Energia à Superfície em Escala Regional (R-SSEB). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 433-446, 2017.
- ARAUJO FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C. **Desenvolvimento sustentado da caatinga**. 13. Ed. Sobral: Embrapa, 1997. 19 p.
- BANDA-R, K.; DELGADO-SALINAS, A.; DEXTER, K. G.; LINARES-PALOMINO, R.; OLIVEIRA-FILHO, A.; PENNINGTON, R. T. Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**, v. 353, n. 6306, p. 1383-1387, 2016.
- CARVALHO, L. A. D.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C. A. D.; CENTURION, J. F. Spatial variability of soil physical properties in two management systems in sugarcane crop. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 60-68, 2012.
- FERNANDES, R. T. V.; TINOCO, V. N. V.; SILVA, C. A. D.; SOUZA JUNIOR, A. M.; SILVEIRA, B. D. A. **Geoprocessamento e Estudos Urbanos Auxiliados por QGIS**. São Paulo: Livraria da Física, 2021. p. 1-252.
- GÓES, Q. R. D.; FREITAS, L. D. R.; LORENTZ, L. H.; VIEIRA, F. C. B.; WEBER, M. A. Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 1, p. 123-144, 2021.
- GOMES, D. S.; SANTOS, S. K.; SILVA, J. H. C. S.; MEDEIROS, T.; SANTOS, E. D. V. S.; SILVA BARBOSA, A. CO₂ flux e temperatura da superfície edáfica em áreas de caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 1898-1908, 2021.
- KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. O clima da região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A. *et al.* **Tempo e clima do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 213-233.
- LEITE, I. A.; TERTO, R. S.; GUEDES, A. F.; SILVA, M. K. C.; LEONARDO, F. D. A. P.; SOUTO, J. S. Temperatura e umidade do solo em função do uso de técnica nucleadora no Semiárido. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 15, n. 3, p. 168-173, 2019.

LIMA, G. S.; ARAÚJO, J. D. P. Um estudo das variações da temperatura do solo via equação do calor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, 2019.

OLIVERIA, V. G. D.; SILVA, M. T.; SANTOS, C. A. C. D.; SERRÃO, E. A. D. O.; SILVA, B. K. D. N.; SANTOS, M. R. D. S.; CORRÊA, I. C. P. Variabilidade Temporal da Cobertura das Terras nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 1, 125-136, 2021.

MEDEIROS, M. O.; KIMURA, M. T.; FROHLICH, W. F.; SOUZA, E. A.; ALVES, S. M. Comportamento populacional adulto do percevejo castanho das-raízes *Scaptocoris carvalhoi* BECKER, 1967 (Hemiptera, Cydnidae) ASSOCIADO AS VARIAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS. **Biodiversidade**, v. 19, n. 3, p. 2-23, 2020.

MONTEIRO, M. M. **Levantamento, classificação e mapeamento de solos da fazenda São Gabriel – São José de Espinharas – PB**. 2021. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos, Patos, 2021.

QGIS, GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM. **QGIS Association**. 2021.

SANTOS, L. L.; SEABRA JÚNIOR, S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 8, n. 1, p. 83-93, 2010.

SANTOS, T. E.; MONTENEGRO, A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 670-679, 2011.

SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SILVA, M. M. M. A.; SILVA, H. C. D.; OLIVEIRA, N. F. Space time variability of surface temperature in the semi-arid Pernambuco based image TM / Landsat. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 4, n. 4, p. 111-120, 2014.

SILVA, A. M.; SILVA, R. D.; SILVA, B. D. Determinação de temperatura da superfície e estimativa do saldo de radiação e evapotranspiração usando imagens LANDSAT e dados observados. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 6, n.67, p. 1203-1216, 2015.

SILVA, D. A. D. O.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. D. A.; SILVA, Ê. F. D. F.; SILVA, J. L. B. D.; BEZERRA, A. C. Evolução Espaço-Temporal do Risco de Degradação da Cobertura Vegetal de Petrolina PE. **Revista Brasileira de Meteorologia** v.34, n. p. 1- 11, 2019.

SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F.; ORTIZ, P. F. S.; SILVA, D. A. O.; GUEDES, R. V. S. Spatial-Temporal Monitoring of the Risk of Environmental Degradation and Desertification by Remote Sensing in a Brazilian Semiarid Region. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 544-563, 2020.

SILVA, T. T. F.; SOBRINHO, J. E.; OLIVEIRA, A. K. S.; FREITAS, I. A. S.; SILVA, J. L. B.; FERNANDES, G. S. T. Estimativa da temperatura do solo e comparação de variáveis

meteorológicas em anos extremos de pluviosidade em Mossoró-RN. **Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability**, v. 1, n. 2, 2020.

SIMON, C. P.; VITÓRIA, E. L.; LACERDA, E. G.; AVANCINI, Y. S.; RODRIGUES, T. F.; SIMON, C. A. Emissão de CO₂, atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes sistemas de preparo do solo. **Nativa**, v. 7, n. 5, p. 494, 2019.

SOUZA, P. F. D.; SILVA, J. A. D.; LUCENA, D. D. S.; SANTOS, W. D. S.; HENRIQUES, Í. G. N.; LUCENA, M. D. F. D. A.; SOUZA, A. D. D. Estudos fitossociológicos e dendrométricos em um fragmento de caatinga, São José de Espinharas – PB. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1317-1329, 2016.

WANG, J.; GAO, X.; ZHOU, Y.; WU, P.; ZHAO, X. Impact of conservation practices on soil hydrothermal properties and crop water use efficiency in a dry agricultural region of the tibetan plateau. **Soil And Tillage Research**, v. 200, p. 104619, 2020.

WANG, J.; GAO, X.; ZHAO, X.; WAN, H.; ZENG, Y.; YU, L.; WU, P. Soil hydrothermal modeling in a dry alpine agricultural zone: the effect of soil airflow. **Geoderma**, v. 402, p. 115354, 2021.

ZHU, F.; ZHOU, Y.; ZHU, S. Experimental study on moisture migration in soil during coupled heat storage and release processes. **Energy And Buildings**, v. 242, p. 110986, 2021.