

IVIS ANDREI CAMPOS E SILVA

**NEMATOIDES COMO INDICADORES DA SALINIDADE DO SOLO EM  
CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

RECIFE – PE

2024

IVIS ANDREI CAMPOS E SILVA

**NEMATOIDES COMO INDICADORES DA SALINIDADE DO SOLO EM  
CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola (Área de Concentração: Engenharia de Água e Solo).

Orientadora: Profa. Dra. Elvira Maria Régis  
Pedrosa

RECIFE – PE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

S586n	<p>Silva, Ivis Andrei Campos e. Nematoides como indicadores da salinidade do solo em condições semiáridas / Ivis Andrei Campos e Silva. – Recife, 2024. 126 f.; il.</p> <p>Orientador(a): Elvira Maria Régis Pedrosa.</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2024.</p> <p>Inclui referências.</p> <p>1. Análise faunística. 2. Biodiversidade. 3. Bioindicadores. 4. Caatinga 5. Condutividade elétrica -Solo - Qualidade . I. Pedrosa, Elvira Maria Régis, orient. II. Título</p> <p style="text-align: right;">CDD 630</p>
-------	--

IVIS ANDREI CAMPOS E SILVA

NEMATOIDES COMO INDICADORES DA SALINIDADE DO SOLO EM  
CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola (Área de Concentração: Engenharia de Água e Solo).

Tese defendida e aprovada em 18 de abril de 2024 pela banca examinadora:

Orientadora:

---

Prof. Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa  
DEAGRI – UFRPE

Examinadores:

---

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro  
DEAGRI – UFRPE

---

Prof. Dr. José Amilton Santos Junior  
DEAGRI – UFRPE

---

Dr. José Mauro da Cunha e Castro  
EMBRAPA

---

Dr. Diego Arruda Huggins de Sá Leitão  
University of Florida

À minha avó, Alaíde Alves Teixeira (*in memoriam*), pela educação, apoio, dedicação, ensinamentos, amor incondicional e pelo exemplo de vida.

Ofereço

Aos meus pais, Veronica Teixeira Campos Silva e Francisco Francimar Paulo da Silva, pelo amor e por tudo que proporcionaram para que eu pudesse concluir meus estudos. Ao meu irmão, Iuri Campos e Silva.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por sempre me dar forças para enfrentar os desafios que surgem a cada dia.

Aos meus pais, Francisco Francimar Paulo da Silva e Veronica Teixeira Campos Silva, ao meu irmão, Iuri Campos e Silva, pelo apoio, paciência e compreensão em todos os momentos.

À minha esposa, Safira Sousa da Silva Campos, e ao meu filho, André Sousa Campos, pelo amor, apoio, conselhos e incentivos durante todos esses anos de estudo.

Aos familiares que sempre me desejaram sucesso e que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desse sonho.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade de cursar o doutorado, como também, ao seu coordenador, o Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, ao vice coordenador Prof. Dr. Héilton Pandorfi e a secretária Ana Paula Rodrigues da Luz Neri.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco – FACEPE, pela concessão da bolsa de estudos (IBPG-0433-5.03/20). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Brasil (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio à condução da pesquisa.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE, em especial à minha orientadora, Profa. Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa, pelos ensinamentos e contribuições na minha formação acadêmica.

Aos membros da banca examinadora Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, Prof. Dr. José Amilton Santos Junior, Dr. José Mauro da Cunha e Castro e ao Dr. Diego Arruda Huggins de Sá Leitão por aceitarem o convite para avaliarem o trabalho e pelas considerações de melhoria.

A todos os membros do Laboratório de Fitonematologia (LAFNEMA) da UFRPE, pelos ensinamentos, ajuda e amizade.

Ao amigo Elves Obede dos Santos Nunes e à toda sua família, pela ajuda durante o desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos Josenildo Vieira de Mello e Dinalva Lima Pereira Vieira de Mello, proprietários da Fazenda Agroecológica Quilariá da Barra, pela colaboração e incentivo à pesquisa.

A todos os colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito Obrigado!

Silva, Ivis Andrei Campos e.; Ph.D.; Universidade Federal Rural de Pernambuco; Abril de 2024; **Nematoides como indicadores da salinidade do solo em condições semiáridas**. Orientadora: Profa. Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa.

## RESUMO GERAL

Embora existam ferramentas para a avaliação da qualidade do solo, a quantificação dos nematoides tem sido utilizado devido à alta sensibilidade desses organismos às mudanças da condição do solo, quanto à salinidade. A presente Tese foi desenvolvida com os objetivos de analisar a dinâmica das comunidades de nematoides em solos salinos e suas flutuações temporais nas condições do Semiárido Pernambucano através de dois estudos no município de Tabira. O primeiro estudo foi realizado em três áreas: duas ocupadas com de pastagem (uma plantada com palma forrageira ‘Orelha de Elefante Mexicana’ [*Opuntia stricta*] e a outra com capim-elefante [*Pennisetum purpureum*] ‘BRS Capiaçú’) e uma área com vegetação preservada de Caatinga. Em cada área, a amostragem foi realizada em 48 pontos, em duas épocas (estação chuvosa e estação seca). Foram realizadas análises físicas (umidade, frações granulométricas e temperatura), químicas (condutividade elétrica [CE], pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  trocáveis,  $\text{H}^+\text{Al}$ , capacidade de troca catiônica [CTC], percentagem de sódio trocável, soma de base e saturação total) e biológicas (respiração microbiana do solo, abundância de táxons e estrutura trófica da comunidade de nematoides, índices de maturidade, maturidade 2-5, parasitas de planta, canal, enriquecimento, e pegadas metabólicas) do solo. As análises estatísticas fundamentaram-se no escalonamento multidimensional não métrico, análise multivariada permutacional de variância, dispersão, similaridade e correspondência canônica. Na área com maior salinidade do solo, cultivada com capim elefante, verificou-se a menor diversidade de nematoides, em ambos os períodos. Em todas as áreas avaliadas constatou-se maior quantidade de nematoides cp<sub>2</sub>, com exceção da pastagem com palma, no período seco, com maior número de nematoides cp<sub>4</sub>. Verificou-se maior abundância da guilda H<sub>3</sub> nas áreas de pasto do que na área preservada, independentemente da maior diversidade e dominância de Ba<sub>1</sub> e Ba<sub>2</sub> em todas as áreas. Apesar dos diferentes índices de maturidade das três áreas, os baixos valores indicaram baixa

maturidade da cadeia alimentar do solo. A pegada dos parasitos de plantas foi significativamente superior na pastagem com capim elefante, influenciada pelo elevado número dos gêneros *Pratylenchus* e *Helicotylenchus*. Entretanto, em condição de maior CE do solo, que ocorreu no período de estiagem, a pegada metabólica dos onívoros foi significativamente reduzida na respectiva área. O teor de areia e argila, bem como, a temperatura, umidade, pH, carbono orgânico, CTC e CE tiveram influência significativa nas comunidades de nematoides do solo. O segundo estudo foi realizado em cinco áreas de produção agrícola (cana-de-açúcar [*Saccharum* spp.], palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana', capim elefante [*Pennisetum purpureum*], capim elefante 'BRS Capiçu' e canteiros cultivados com diferentes hortaliças) e uma área com vegetação preservada de Caatinga. As avaliações fundamentaram-se nas análises físicas (temperatura do solo, umidade), químicas (pH, carbono orgânico e CE) e nematológicas de amostras de solo coletadas bimensalmente em cada área. A temperatura do solo, umidade, pH, carbono orgânico e CE correlacionaram-se significativamente com as comunidades de nematoides do solo. Contudo, não ocorreram variações significativas nas comunidades dos nematoides (parasitos de plantas e de vida livre) ao longo do tempo, nas áreas em estudo. O número de parasitos de planta foi superior ao número de nematoides de vida livre nas áreas de maior salinidade do solo, sugerindo que os parasitos de plantas conseguem suportar melhor condições de maior salinidade do solo do que os de vida livre, principalmente, bacteriófagos e predadores.

**Palavras-chave:** Análise faunística, Biodiversidade, Bioindicadores, Caatinga, Condutividade elétrica, Qualidade de solo

Silva, Ivis Andrei Campos e.; Ph.D.; Universidade Federal Rural de Pernambuco; April 2024; **Nematodes as soil salinity indicator under semiarid conditions** **idas**. Advisor: Prof. Dr. Elvira Maria Régis Pedrosa.

### GENERAL ABSTRACT

Although there are tools for assessing soil quality, the quantification of soil nematodes has stood out due to the high sensitivity of these organisms to changes in soil conditions, including salinity. The objectives of the Thesis were to analyze the dynamics of nematode communities in saline soils and their temporal fluctuations in the Brazilian semi-arid region. Two studies were followed through in the municipality of Tabira, state of Pernambuco, Brazil. The first study was carried out in two areas under grazing of forage palm 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*) and elephant grass (*Pennisetum purpureum*) 'BRS Capiáçu', in addition to an area under preserved Caatinga vegetation. In each area, 48 soil cores were sampled in the rainy and dry seasons. Evaluations consisted in soil physical (moisture, particle size fractions and temperature), chemical (electrical conductivity [EC], pH, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup>, exchangeable H+Al, cation exchange capacity [CEC], percentage of exchangeable sodium, sum of bases, and total saturation), and biological (soil microbial respiration, nematode taxa abundance, community trophic structure, and indices of maturity, maturity 2-5, plant parasites, channel, enrichment, and metabolic footprints) characterization. The statistical analyses were based on non-metric multidimensional scaling, permutational multivariate analysis of variance, dispersion, similarity, and canonical correspondence. The area with the highest soil salinity, grazing elephant grass, showed lower nematode diversity in both seasons. There was higher amount of cp<sub>2</sub> nematodes in all areas, except for forage palm in the dry season with more abundance of cp<sub>4</sub> nematodes. The H<sub>3</sub> guild abundance was higher in pasture than in preserved area, but Ba<sub>1</sub> and Ba<sub>2</sub> sustained the greatest nematode diversity and dominance. Despite of significant differences in maturity index among areas, the low values indicated low maturity of the soil food chain. The herbivore footprint was significantly higher under grazing of elephant grass, influenced by the high number of *Pratylenchus* and *Helicotylenchus* genera. However, under greater EC, which took place in the dry

season, the omnivores metabolic footprint decreased significantly. Sand and clay contents, temperature, moisture, pH, organic carbon, CEC, and EC had significant influence on soil nematode communities. The second study was carried out in five agricultural production areas (sugarcane (*Saccharum* spp.), forage palm 'Orelha de Elefante Mexicana', elephant grass, elephant 'BRS Capiçu', and beds cultivated with different vegetables) as well in an area with preserved Caatinga vegetation. Evaluations based on physical (soil temperature, moisture), chemical (pH, organic carbon, and CE) and nematode community analyses of soil samples collected bimonthly in each area. Soil temperature, moisture, pH, organic carbon, and EC significantly correlated with soil nematode communities. However, there were no significant variations within nematode communities (plant and free-living parasites) over time in the areas. The number of plant parasites was higher than the free-living nematodes in the higher soil salinity areas, suggesting that plant parasites are better fitted to withstand conditions of higher soil salinity than free-living nematodes, mainly bacteriophages and predators.

**Keywords:** Faunistic analysis, Biodiversity, Bioindicators, Caatinga, Electrical conductivity, Soil quality

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>22</b>
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>23</b>
QUALIDADE DO SOLO.....	23
NEMATOIDES DO SOLO.....	24
NEMATOIDES COMO BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO.....	25
MOVIMENTAÇÃO DOS NEMATOIDES NO SOLO .....	33
SALINIDADE DO SOLO.....	34
SEMIÁRIDO BRASILEIRO .....	37
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>
<b>CAPÍTULO III: IMPACTOS DA SALINIDADE DO SOLO NA DIVERSIDADE E ESTRUTURA DA CADEIA ALIMENTAR DE COMUNIDADES DE NEMATOIDES EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS .....</b>	<b>53</b>
<b>RESUMO:.....</b>	<b>54</b>
<b>ABSTRACT:.....</b>	<b>55</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>58</b>
ÁREA DO ESTUDO E AMOSTRAGEM DO SOLO .....	58
ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO.....	60
ANÁLISES BIOLÓGICAS DO SOLO .....	61
ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	62
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>78</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>84</b>
<b>CAPÍTULO IV: VARIAÇÃO TEMPORAL DAS COMUNIDADES DE NEMATOIDES EM SOLOS SALINOS NO SEMIÁRIDO .....</b>	<b>95</b>
<b>RESUMO:.....</b>	<b>96</b>
<b>ABSTRACT:.....</b>	<b>97</b>

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>97</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>99</b>
ÁREA DO ESTUDO.....	99
AMOSTRAGEM DO SOLO .....	102
ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO.....	103
EXTRAÇÃO DOS NEMATÓIDES DO SOLO.....	104
ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE DE NEMATÓIDES.....	104
ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	105
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>105</b>
<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>113</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>116</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>117</b>
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>126</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>127</b>

## **CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO**

## INTRODUÇÃO

A salinidade do solo é descrita como qualquer grupo de sais solúveis que podem ser prejudiciais às plantas, sendo causada principalmente por fatores naturais e pelo uso inadequado da terra em consequência das atividades humanas (KAPUR *et al.*, 2018; MACHADO & SERRALHEIRO, 2017). Geralmente, solos salinos contêm sais como sulfato e cloreto de cálcio, magnésio, sódio e potássio, ocorrendo, principalmente, em regiões áridas e semiáridas de todo mundo (DALIAKOPOULOS *et al.*, 2016; ZAMAN *et al.*, 2002). O clima, a drenagem natural, a topografia, a geologia, o material de origem e a distância ao mar são os principais fatores naturais da ocorrência de solos salinos; enquanto, práticas inadequadas de irrigação, drenagem insuficiente e má gestão da terra estão entre os fatores antrópicos (YANG *et al.*, 2002; RIBEIRO; RIBEIRO FILHO & JACOMINE, 2016).

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura estimou que solos afetados por sais recobrem, aproximadamente, 397 milhões de hectares no mundo, ocorrendo em todos os continentes do planeta (FAO, 2021). No Brasil, a situação não é diferente, os problemas causados em função de áreas salinizadas estão concentrados na região semiárida do Nordeste, abrangendo uma área superior a 5000 km<sup>2</sup> (BOUAZIZ; MATSCHULLAT & GLOAGUEN, 2011; MOREIRA; TEIXEIRA & GALVÃO, 2014).

Os impactos da salinidade do solo não se limitam apenas ao meio ambiente, estendendo-se à esfera econômica. Estima-se que a salinidade do solo em terras irrigadas cause um impacto negativo na economia mundial de US\$ 27 bilhões por ano (QADIR *et al.*, 2014). A salinidade do solo afeta negativamente o crescimento das plantas, induzindo a perdas na produção, qualidade do solo e da água. Contudo, os riscos são bem maiores, visto que, uma vez degradada pelos sais, a utilização agrícola dessas áreas é quase impossível (QADIR *et al.*, 2006). Esse processo regressivo de degradação dos solos, exibe mudanças que estão associadas às características da vegetação, fertilidade do solo, atividades microbianas e da fauna, ameaçando à biodiversidade do solo e suas múltiplas funções do ecossistema (AHLSTRÖM *et al.*, 2015; CHEN *et al.*, 2020; ZHOU *et al.*, 2019). A previsão dessas mudanças nos ecossistemas é limitada pela má compreensão da influência da degradação

dessas áreas na estrutura trófica das comunidades do solo que, eventualmente, atuam na decomposição da matéria orgânica do solo e na ciclagem de nutrientes e carbono, afetando a multifuncionalidade do sistema (FRANCO *et al.*, 2019; WAGG *et al.*, 2014).

Identificar os efeitos da degradação do solo sobre a biodiversidade é importante para compreender melhor o impacto das atividades humanas no funcionamento dos ecossistemas, possibilitando o desenvolvimento de estratégias de gestão eficazes para solos degradados, além de, garantir uma utilização mais sustentável deste importante recurso para a produção agropecuária (BOYD, 2010; MARTÍN *et al.*, 2014). Vários métodos têm sido propostos para avaliar a qualidade ambiental dos solos utilizando abordagens químicas ou biológicas (CALDWELL, 2005; EDWARDS, 2002). Entre as abordagens biológicas, as comunidades de nematoides têm sido consideradas como bioindicadores adequados para avaliar a perturbação do solo em sistemas terrestres, especialmente em solos degradados (BONGERS & BONGERS, 1998; BONGERS & FERRIS, 1999; DE SÁ *et al.*, 2021).

Os nematoides são o grupo de metazoários mais abundante e diversificado no solo, sendo amplamente distribuídos em diversos habitats (BONGERS & BONGERS, 1998). Esses animais desempenham um importante papel na decomposição da matéria orgânica do solo, mineralização do nitrogênio e ciclagem de nutrientes (NEHER, 2001). Também apresentam morfologia e ciclo de vida relacionados às suas características de habitat (GUTIÉRREZ *et al.*, 2016; MOURA & FRANZENER, 2017). Portanto, os nematoides têm potencial como bioindicador da qualidade do solo por serem sensíveis às mudanças ambientais (BONGERS & BONGERS, 1998; NEHER, 2001).

Os estudos da diversidade de nematoides, tanto em áreas agrícolas como naquelas cobertas pela vegetação primária, têm despertado crescente interesse pelo progressivo aumento das perdas econômicas causadas pelos parasitos de plantas à atividade agrícola, como também, pela possibilidade do uso da abundância, diversidade e diferentes grupos tróficos da nematofauna como bioindicadores de perturbação ecológica (CAIXETA *et al.*, 2016; CARDOSO *et al.*, 2015). As nossas hipóteses são i) que a densidade populacional e a composição taxonômica dos nematoides irá variar de acordo com os níveis de salinidade do solo - em solos mais salinos, espera-se que haja uma diminuição

na diversidade e na abundância de certas espécies de nematoides, enquanto outras podem se tornar mais predominantes; ii) A presença e a concentração de íons na solução do solo irão afetar a comunidade dos nematoides, por exemplo, íons como sódio, cálcio, magnésio e potássio podem influenciar a diversidade e a abundância da comunidade de nematoides; iii) A variação populacional e a estrutura das comunidades de nematoides será afetada pelas mudanças sazonais, principalmente temperatura e umidade do solo, especialmente em solos salinos nas condições semiáridas, que se caracterizam por apresentar duas estações distintas: seca e chuvosa.

A presente Tese foi desenvolvida com o objetivo de analisar a qualidade de solos com diferentes graus de salinidade no semiárido pernambucano, empregando a diversidade de nematoides como indicador de perturbação ecológica. Especificamente, buscou-se i) Caracterizar a diversidade de nematoides presentes em áreas cultivadas e em solos naturais da Caatinga; ii) Encontrar indicadores na comunidade de nematoides que possam ser empregados na avaliação das condições ecológicas do solo nessas áreas; iii) Correlacionar indicadores das comunidades de nematoides com variáveis físicas e químicas do solo, visando à melhor compreensão dos fatores que afetam a qualidade do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLSTRÖM, A.; RAUPACH, M. R.; SCHURGERS, G.; SMITH, B.; ARNETH, A.; JUNG, M.; REICHSTEIN, M.; CANADELL, J. G.; FRIEDLINGSTEIN, P.; JAIN, A. K.; KATO, E.; POULTER, B.; SITCH, S.; STOCKER, B. D.; VIOVY, N.; WANG, Y. P.; WILTSHIRE, A.; ZAEHLE, S.; ZENG, N. The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO<sub>2</sub> sink. **Science**, vol. 348, nº 6237, p. 895–899, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaa1668>.
- BONGERS, T.; BONGERS, M. Functional diversity of nematodes. **Applied Soil Ecology**, vol. 10, nº 3, p. 239–251, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00123-1](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00123-1).

- BONGERS, T.; FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology & Evolution**, vol. 14, nº 6, p. 224–228, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01583-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01583-3).
- BOUAZIZ, M.; MATSCHULLAT, J.; GLOAGUEN, R. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil. **Comptes Rendus Geoscience**, vol. 343, nº 11–12, p. 795–803, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2011.09.003>.
- BOYD, R. S. Heavy Metal Pollutants and Chemical Ecology: Exploring New Frontiers. **Journal of Chemical Ecology**, vol. 36, nº 1, p. 46–58, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9730-5>.
- CAIXETA, L. B.; PEREIRA, T. J.; CASTAÑEDA, N. E. N.; CARES, J. E. Nematode communities as indicators of the status of a soil ecosystem influenced by mining practices in Brazil. **Nematology**, vol. 18, nº 3, p. 265–276, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1163/15685411-00002958>.
- CALDWELL, B. A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. **Pedobiologia**, vol. 49, nº 6, p. 637–644, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.06.003>.
- CARDOSO, M. O.; PEDROSA, E. M. R.; FERRIS, H.; ROLIM, M. M.; VICENTE, T. F. S.; DAVID, M. F. L. Comparing sugarcane fields and forest fragments: the effect of disturbance on soil physical properties and nematode assemblages. **Soil Use and Management**, vol. 31, nº 3, p. 397–407, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12190>.
- CHEN, T.; TANG, G.; YUAN, Y.; GUO, H.; XU, Z.; JIANG, G.; CHEN, X. Unraveling the relative impacts of climate change and human activities on grassland productivity in Central Asia over last three decades. **Science of The Total Environment**, vol. 743, p. 140649, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140649>.
- DALIAKOPOULOS, I. N.; TSANIS, I. K.; KOUTROULIS, A.; KOURGIALAS, N. N.; VAROUCHAKIS, A. E.; KARATZAS, G. P.; RITSEMA, C. J. The threat of soil salinity: A European scale review. **Science of The Total Environment**, vol. 573, p. 727–739, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>.
- DE SÁ, C. S. B.; SHIOSAKI, R. K.; SANTOS, A. M.; CAMPOS, M. A. S. Salinization causes abrupt reduction in soil nematode abundance in the

- Caatinga area of the Submedio San Francisco Valley, Brazilian semiarid region. **Pedobiologia**, vol. 85–86, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150729>.
- EDWARDS, C. A. Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, vol. 38, no 3– 4, p. 225–231, 2002. DOI: DOI: [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(02\)01150-0](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(02)01150-0).
- FAO. The State of the World’s Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021). **The State of the World’s Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021)**, 2021. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(02\)01150-0](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(02)01150-0).
- FRANCO, A. L. C.; GHERARDI, L. A.; TOMASEL, C. M.; ANDRIUZZI, W. S.; ANKROM, K. E.; SHAW, E. A.; BACH, E. M.; SALA, O. E.; WALL, D. H. Drought suppresses soil predators and promotes root herbivores in mesic, but not in xeric grasslands. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, vol. 116, nº 26, p. 12883–12888, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1900572116>.
- GUTIÉRREZ, C.; FERNÁNDEZ, C.; ESCUER, M.; CAMPOS-HERRERA, R.; BELTRÁN RODRÍGUEZ, M. E.; CARBONELL, G.; RODRÍGUEZ MARTÍN, J. A. Effect of soil properties, heavy metals and emerging contaminants in the soil nematodes diversity. **Environmental Pollution**, vol. 213, p. 184–194, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.012>.
- KAPUR, S.; AYDIN, M.; AKÇA, E.; REICH, P. Climate Change and Soils. *In*: KAPUR, S.; GUNAL, H.; AKÇA, E. (orgs.). **The Soils of Turkey**. Gewerbestrasse: Springer Nature, 2018. p. 45–55. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-64392-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64392-2_4).
- YANG, S.; YANO, T.; AYDIN, M.; KITAMURA, Y.; TAKEUCHI, S. Short term effects of saline irrigation on evapotranspiration from lysimeter-grown citrus trees. **Agricultural Water Management**, vol. 56, nº 2, p. 131–141, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00010-0).
- MACHADO, R.; SERRALHEIRO, R. Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization. **Horticulturae**, vol. 3, nº 2, p. 30, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020030>.

- MOREIRA, L.; TEIXEIRA, A. S.; GALVÃO, L. Laboratory Salinization of Brazilian Alluvial Soils and the Spectral Effects of Gypsum. **Remote Sensing**, vol. 6, nº 4, p. 2647–2663, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6042647>.
- MOURA, G. S.; FRANZENER, G. Biodiversity of nematodes biological indicators of soil quality in the agroecosystems. **Arquivos do Instituto Biológico**, vol. 84, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1808-1657000142015>.
- NEHER, D. A. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. **Journal of nematology**, vol. 33, nº 4, p. 161–8, 2001.
- QADIR, M.; NOBLE, A. D.; SCHUBERT, S.; THOMAS, R. J.; ARSLAN, A. Sodicity-induced land degradation and its sustainable management: problems and prospects. **Land Degradation & Development**, vol. 17, nº 6, p. 661–676, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.751>.
- QADIR, M.; QUILLÉROU, E.; NANGIA, V.; MURTAZA, G.; SINGH, M.; THOMAS, R. J.; DRECHSEL, P.; NOBLE, A. D. Economics of salt-induced land degradation and restoration. **Natural Resources Forum**, vol. 38, nº 4, p. 282–295, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>.
- RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (orgs.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. 2º ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 9–16.
- MARTÍN, J. A. R.; GUTIÉRREZ, C.; ESCUER, M.; GARCÍA-GONZÁLEZ, M. T.; CAMPOS-HERRERA, R.; ÁGUILA, N. Effect of mine tailing on the spatial variability of soil nematodes from lead pollution in La Union (Spain). **Science of The Total Environment**, vol. 473–474, p. 518–529, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.075>.
- WAGG, C.; BENDER, S. F.; WIDMER, F.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, vol. 111, nº 14, p. 5266–5270, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>.
- ZAMAN, B.; ALI, A.; SALIM, M.; HUSSAIN, K. Growth of Wheat as Affected by Sodium Chloride and Sodium Sulphate Salinity. *Pakistan Journal of*

Biological Sciences, vol. 5, no 12, p. 1313–1315, 2002. DOI: DOI:  
<https://doi.org/10.3923/pjbs.2002.1313.1315>.

ZHOU, J.; WILSON, G. W. T.; COBB, A. B.; YANG, G.; ZHANG, Y. Phosphorus and mowing improve native alfalfa establishment, facilitating restoration of grassland productivity and diversity. **Land Degradation & Development**, vol. 30, n° 6, p. 647–657, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3251>.

## **CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Qualidade do solo

O solo é um recurso natural essencial para o funcionamento dos ecossistemas, em que diferentes organismos interagem e contribuem para a manutenção da vida na terra, portanto, faz-se necessária sua preservação dentro dos ecossistemas (SILVA *et al.*, 2021). A qualidade do solo pode ser considerada como a capacidade de um saudável de funcionar, dentro dos limites do ecossistema natural ou gerenciado, visando sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e dos animais (BARETTA *et al.*, 2010).

A qualidade do solo pode ser avaliada tanto em agroecossistemas em que o principal, embora não exclusivo, serviço ecossistêmico é a produtividade, quanto em ecossistemas naturais, onde os principais objetivos são a manutenção da qualidade ambiental e a conservação da biodiversidade (BÜNEMANN *et al.*, 2018). Para isso, a qualidade do solo pode ser avaliada a partir da integração de dados físicos (textura, porosidade, densidade), químicos (matéria orgânica total, pH e salinidade) e biológicos (abundância de diferentes organismos do solo, biomassa microbiana, atividade enzimática). Entretanto, esses indicadores nunca devem ser usados de maneira isolada para a determinação da qualidade do solo (BÜNEMANN *et al.*, 2018; FREITAS *et al.*, 2012; ROUSSEAU *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2020; STONE *et al.*, 2016).

Os solos, geralmente, reagem lentamente às mudanças no seu uso e manejo, por esse motivo, pode ser mais difícil detectar mudanças na qualidade desses ambientes antes que ocorram danos irreversíveis (NORTCLIFF, 2002). Portanto, um componente importante da avaliação da qualidade do solo é a identificação de um conjunto de atributos sensíveis que reflitam a capacidade de um solo funcionar e que possam ser usados como indicadores de qualidade. Esses indicadores, além de se apresentarem sensíveis às alterações no solo devem ter boa correlação com funções benéficas do solo, utilidade em revelar processos ecossistêmicos, compreensibilidade e utilidade para os gestores da terra, além de serem baratos e de fácil medição (PARISI *et al.*, 2005).

Dentre os organismos que constituem a biodiversidade do solo, os nematoides são considerados como ótimos candidatos à bioindicação da

qualidade do solo, pois além de estarem abundantemente presentes em várias condições ambientais, a taxonomia e o hábito alimentar são aspectos bem compreendidos (GUTIÉRREZ *et al.*, 2016; MOURA & FRANZENER, 2017; NEHER, 2001).

### **Nematoides do solo**

Os nematoides pertencem ao Filo Nematoda, um dos maiores do reino animal, com ampla diversidade e abundância de indivíduos, que inclui, além de parasitas de plantas e animais, espécies de vida livre que habitam todos os tipos de habitats (ALI *et al.*, 2015; LAZAROVA *et al.*, 2021). São micro-organismos semiaquáticos que apresentam grande diversidade em tamanho (300 µm a 4 mm), ecologia, morfologia e ciclo de vida (BLAXTER, 2011). Podem ser encontrados nos mais diversos lugares do planeta a exemplo dos desertos (TREONIS; MARAIS & MAGGS-KÖLLING, 2022; ZHANG *et al.*, 2020), das florestas (DA SILVA *et al.*, 2020; MACHADO *et al.*, 2022; MÜLLER *et al.*, 2019), das restingas (SANTOS; CARDOSO & MARIA, 2019), dos sistemas de cultivos agrícolas (KRASHEVSKA *et al.*, 2019; LORANGER-MERCIRIS *et al.*, 2022; STROM *et al.*, 2020), além das áreas afetadas por processos de degradação, como as salinizadas e em processo de desertificação (DE SÁ *et al.*, 2021; LUO *et al.*, 2022).

Com base em estudos para analisar a morfologia do estoma e do esôfago desses indivíduos, Yeates *et al.* (1993) propuseram uma classificação quanto aos hábitos alimentares dos nematoides, sendo os grupos tróficos divididos em:

- a) parasitos de plantas: que se alimentam de plantas vasculares, e.g., *Pratylenchus*;
- b) micófagos: que se alimentam de hifas fúngicas, e.g., *Aphelenchus*;
- c) bacteriófagos: que se alimentam de qualquer fonte que contenha grande quantidade de bactérias, e.g., *Acrobeles*;
- d) predadores: aqueles nematoides que se alimentam de invertebrados, como rotíferos, protozoários e até mesmo outros nematoides, e.g., *Mononchulus*;
- e) onívoros: nematoides que possuem mais de uma fonte alimentar no seu ciclo de vida, se alimentando desde os parasitos de plantas até os parasitos de animais, e.g., *Eudorylaimus*.

Os nematoides parasitos de plantas fazem parte do grupo de maior importância econômica, visto que, englobam um importante fator biótico que limita a produção das culturas. Além disso, os nematoides parasitos de plantas desempenham um papel importante em complexos de doenças envolvendo outros patógenos (KUMAR; KHAN & WALIA, 2020). Com isso, as perdas econômicas anuais de rendimento das culturas, em função dos fitonematoides, são estimadas em US\$ 173 bilhões (ELLING, 2013). Por outro lado, os nematoides de vida livre apresentam-se de maneira benéfica à agricultura. Por meio do seu hábito alimentar, decompõem resíduos orgânicos e alimentam-se de bactérias, fungos, outros nematoides e artrópodes no solo, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e, inclusive, para o controle de agentes causadores de doenças em plantas (LU *et al.*, 2020; MOURA & FRANZENER, 2017; NEHER, 2001).

### **Nematoides como bioindicadores da qualidade do solo**

O uso de microrganismos como indicadores da qualidade do solo tem como vantagens: a) sensibilidade a mudanças no manejo, b) bem correlacionado com funções benéficas solo, c) útil para elucidar processos ecossistêmicos, e d) compreensível e útil para os gestores de terras (MANN *et al.*, 2019). Visto isso, os nematoides, por serem componentes importantes da biodiversidade do solo, apresentam-se como candidatos favoráveis para bioindicação da qualidade do solo, pois além de estarem abundantemente presentes em várias condições ambientais, sua taxonomia e hábito alimentares são bem compreendidos (GUTIÉRREZ *et al.*, 2016; MOURA & FRANZENER, 2017; NEHER, 2001).

Existem, aproximadamente, 25.000 espécies de nematoides conhecidas, sendo que, 35% destes, vivem no solo, e cerca de 10% parasitam plantas. Mais de três bilhões de nematoides podem existir em aproximadamente 0,5 ha de terra em que a grande parte das espécies ocupam os primeiros 30 cm do solo (MOURA & FRANZENER, 2017). Várias espécies são importantes na agricultura devido aos danos causados à produção, entretanto, os de vida livre, se destacam pelo seu efeito benéfico à agricultura (RITZINGER & FANCELLI, 2006).

Os nematoides como bioindicadores desempenham papel fundamental na decomposição da matéria orgânica do solo, ciclagem de nutrientes e são importantes nas teias alimentares do solo como consumidores em vários níveis,

além de responderem rapidamente a distúrbios que ocorrem no ecossistema (GUTIÉRREZ *et al.*, 2016; MOURA & FRANZENER, 2017). Bongers (1990) definiu que os nematoides fossem classificados em uma escala colonizador-persistente (c-p). Assim, os nematoides foram distribuídos de acordo com sua estratégia de vida em uma escala que varia de 1 (c) a 5 (p). Logo, cada unidade dessa escala pode ser definida como descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das características dos nematoides de acordo com a classificação da escala colonizadores-persistente (c-p).

c-p	Característica	Exemplos
1	Nematoides com curto ciclo de vida em condições ambientais favoráveis, produzindo muitos ovos pequenos resultando em um crescimento populacional explosivo em condições ricas em alimentos. São relativamente tolerantes ao estresse induzido pela poluição. Possuem alta atividade metabólica quando o ambiente está com alta atividade de organismos oportunistas (bactérias). Formam <i>dauer larvae</i> à medida que atividade microbiana diminui.	Diplogastridae, Rhabditidae.
2	Nematoides com ciclo de vida curto e alta taxa de reprodução, mas não formam <i>dauer larvae</i> . Ocorrem em condições ricas ou pobres em alimentos e são muito tolerantes a condições adversas.	Aphelenchidae, Cephalobidae, Panagrolaimidae, Tylenchidae.
3	Nematoides com características intermediárias entre as c-p 2 e 4. Nematoides com ciclo de vida mais longo e são relativamente mais sensíveis a distúrbios que o c-p2.	Prismatolaimidae, Tripylidae.
4	Longo ciclo de vida, cutícula permeável e maior sensibilidade a poluentes que c-p3.	Alaimidae, Mononchidae, Trichodoridae.

5	Nematoides grandes, com ciclo de vida maior que os demais grupos e baixa taxa de reprodução. Eles produzem poucos ovos, mas grandes e têm baixa motilidade. Cutícula semipermeável, sendo muito sensíveis a poluentes e outros distúrbios no ecossistema.  Predominantemente predadores e onívoros.	Aporcelaimidae, Discolaimidae, Dorylaimidae, Thornenematidae.
---	---	--

Os números de 1 – 5 são correspondentes aos escores c-p. Adaptado de Bongers (1990); Bongers & Bongers (1998); Ferris; Bongers & De Goede (1999); Martinez (1992); Wilson (1999).

Os nematoides parasitos de plantas não podem ser encaixados na escala c-p, pois, por serem parasitas obrigatórios, dependem do estabelecimento das plantas. Além disso, os fitonematoides podem manifestar-se em condições de estresse, sugerindo que sua estratégia de vida não se assemelha a dos nematoides de vida livre. Assim, uma nova escala (escala p-p) foi desenvolvida para classificar esses nematoides, abrangendo desde p-p2 até p-p5 (BONGERS, 1990), conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Escalonamento das famílias de nematoides parasitos de plantas (escala p-p) com base na escala c-p.

p-p <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> )	p-p <sub>3</sub> (H <sub>3</sub> )	p-p <sub>4</sub> (H <sub>4</sub> )	p-p <sub>5</sub> (H <sub>5</sub> )
	Hoplolaimidae;		
Tylenchidae;	Pratylenchidae;		
Psilenchidae;	Heteroderidae;	Trichodoridae	Longidoridae
Paratylenchidae;	Meloidogynidae;		
Anguinidae;	Criconematidae;		
	Hemicycliophoridae		

H: parasitos de plantas. Os números de 2 – 5 são correspondentes aos escores p-p. Adaptado de Bongers (1988, 1990).

Após a observação de Bongers & Bongers (1998) de que tanto a classificação dos grupos tróficos quanto a classificação c-p não forneciam informações suficientes para os estudos de ecologia do solo, surgiram as guildas funcionais de nematoides. Um estudo foi conduzido para integrar as classificações dos grupos tróficos (bacteriófagos, micófagos, onívoros,

predadores e parasitos de plantas) com as categorias dos grupos c-p, resultando em uma classificação de guildas funcionais com interações fortes dentro dos grupos e fracas entre os grupos (Tabela 3).

Tabela 3. Diagrama que representa as diversas combinações entre os grupos tróficos e as estratégias de vida.

Grupo trófico	Classificação c-p				
	1	2	3	4	5
Bacteriófagos (Ba)	Ba <sub>1</sub>	Ba <sub>2</sub>	Ba <sub>3</sub>	Ba <sub>4</sub>	
Micófagos (Mi)		Mi <sub>2</sub>	Mi <sub>3</sub>	Mi <sub>4</sub>	
Predadores (Pr)			Pr <sub>3</sub>	Pr <sub>4</sub>	Pr <sub>5</sub>
Onívoros (On)				On <sub>4</sub>	On <sub>5</sub>
Parasitos de plantas (H)		H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>

Ba<sub>1</sub>: guilda funcional para bacteriófagos com c-p<sub>1</sub>; Ba<sub>2</sub>: guilda funcional para bacteriófagos com c-p<sub>2</sub>; Ba<sub>3</sub>: guilda funcional para bacteriófagos com c-p<sub>3</sub>; Ba<sub>4</sub>: guilda funcional para bacteriófagos com c-p<sub>4</sub>; Ba<sub>5</sub>: guilda funcional para bacteriófagos com c-p<sub>5</sub>; Mi<sub>2</sub>: guilda funcional para micófagos com c-p<sub>2</sub>; Mi<sub>3</sub>: guilda funcional para micófagos com c-p<sub>3</sub>; Mi<sub>4</sub>: guilda funcional para micófagos com c-p<sub>4</sub>; Mi<sub>5</sub>: guilda funcional para micófagos com c-p<sub>5</sub>; Pr<sub>3</sub>: guilda funcional para predadores com c-p<sub>3</sub>; Pr<sub>4</sub>: guilda funcional para predadores com c-p<sub>4</sub>; Pr<sub>5</sub>: guilda funcional para predadores com c-p<sub>5</sub>; On<sub>4</sub>: guilda funcional para onívoros com c-p<sub>4</sub>; On<sub>5</sub>: guilda funcional para onívoros com c-p<sub>5</sub>; H<sub>2</sub>: guilda funcional para parasitos de plantas com p-p<sub>2</sub>; H<sub>3</sub>: guilda funcional para parasitos de plantas com p-p<sub>3</sub>; H<sub>4</sub>: guilda funcional para parasitos de plantas com p-p<sub>4</sub>; H<sub>5</sub>: guilda funcional para parasitos de plantas com p-p<sub>5</sub>. Adaptado de Bongers (1988, 1990).

A partir da escala de classificação c-p, índices, como forma indicativa da fase de sucessão ecológica em que se encontra uma comunidade de nematoides e como medida de perturbação ambiental, foram propostos. O índice de maturidade (IM) leva em consideração apenas os nematoides de vida livre, incluindo todos os valores c-p (BONGERS, 1990). Avalia as modificações ambientais resultantes de perturbações e varia de 1 a 5. Valores baixos (< 2) indicam um estágio de sucessão inicial (primário ou secundário) ou um nível temporário de maior disponibilidade de nutrientes. Valores próximos de 2 indicam um alto nível de perturbação com baixa estrutura da cadeia alimentar do solo, enquanto valores intermediários (2,5 – 3) indicam alguma maturidade da cadeia alimentar do solo. Valores elevados (> 3) indicam uma cadeia alimentar

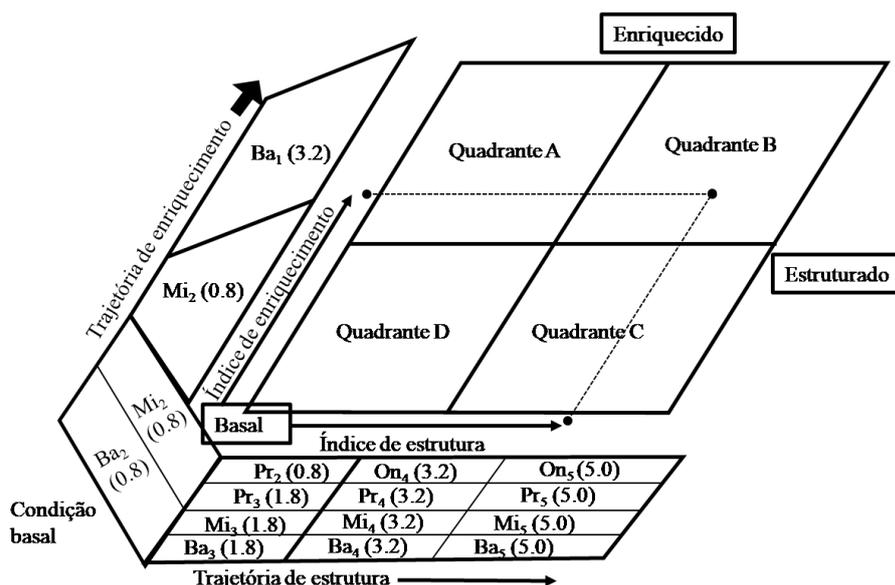
do solo bem estruturada e complexa, provavelmente com conectividade e fluxo de energia entre os níveis tróficos (SÁNCHEZ-MORENO & FERRIS, 2018).

O Índice de parasitas de plantas (IPP) leva em consideração apenas os nematoides parasitos de plantas e varia de 2 a 5. Valores baixos (próximos de 2) indicam comunidades de nematoides parasitos de plantas dominadas por ectoparasitas de pequeno e médio porte que se alimentam de células vegetais únicas. Valores maiores indicam comunidades dominadas por nematoides (semi)endoparasitas médios e grandes ou por nematoides ectoparasitas transmissores de vírus (SÁNCHEZ-MORENO & FERRIS, 2018).

O Índice de maturidade 2-5 ( $IM_{2-5}$ ) avalia as modificações ambientais resultantes de perturbações não relacionadas ao enriquecimento de nutrientes em campos agrícolas, variando de 2 a 5 (BONGERS & BONGERS, 1998). Valores baixos (próximos de 2) indicam perturbações substanciais resultantes de perturbações não relacionadas ao enriquecimento de nutrientes. Valores altos (> 3) indicam maior maturidade com mínimo ou nenhum efeito resultante de perturbações (SÁNCHEZ-MORENO & FERRIS, 2018).

Um quadro conceitual foi criado combinando a escala c-p com os hábitos alimentares para aprimorar o IM, indicando se a comunidade do solo está enriquecida, mas desestruturada (Quadrante A), enriquecida e estruturada (Quadrante B), limitada em recursos e estruturada (Quadrante C) ou com recursos esgotados e com estrutura mínima (Quadrante D) (Figura 1). Neste quadro, as guildas funcionais dos nematoides originaram o índice de enriquecimento (IE) e o índice de estrutura (IS) que são baseados nas trajetórias de enriquecimento e estrutura da cadeia trófica (FERRIS; BONGERS & DE GOEDE, 2001; FERRIS; VENETTE & SCOW, 2004).

Figura 1. Quadro conceitual que representa a análise faunística dos nematoides.



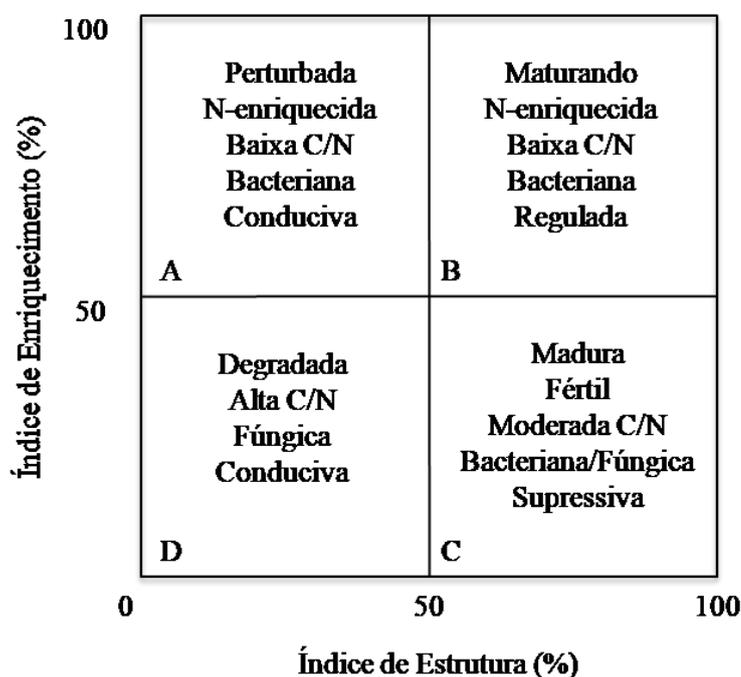
Ba<sub>1</sub>: guilda funcional para bacteriófagos com c-p 1; Ba<sub>2</sub>: guilda funcional para bacteriófagos com c-p 2; Ba<sub>3</sub>: guilda funcional para bacteriófagos com c-p 3; Ba<sub>4</sub>: guilda funcional para bacteriófagos com c-p 4; Ba<sub>5</sub>: guilda funcional para bacteriófagos com c-p 5; Mi<sub>2</sub>: guilda funcional para micófitos com c-p 2; Mi<sub>3</sub>: guilda funcional para micófitos com c-p 3; Mi<sub>4</sub>: guilda funcional para micófitos com c-p 4; Mi<sub>5</sub>: guilda funcional para micófitos com c-p 5; Pr<sub>3</sub>: guilda funcional para predadores com c-p 3; Pr<sub>4</sub>: guilda funcional para predadores com c-p 4; Pr<sub>5</sub>: guilda funcional para predadores com c-p 5; On<sub>4</sub>: guilda funcional para onívoros com c-p 4; On<sub>5</sub>: guilda funcional para onívoros com c-p 5. Adaptado de Ferris, Bongers & De Goede (2001).

Os IE e IS foram utilizados para criar o perfil faunal, que consiste na representação gráfica bidimensional dos valores médios do IE e IS (Figura 2). O IE avalia a resposta da cadeia alimentar do solo aos recursos disponíveis, alcançando valores elevados quando há aumento da atividade microbiana, o que resulta na predominância dos nematoides micófitos e bacteriófagos na comunidade do solo (FERRIS, BONGERS & DE GOEDE, 2001). Valores baixos (0 – 30), intermediários (30 – 60) e altos (60 – 100) indicam níveis equivalentes de disponibilidade de alimentos (ex. carbono) e enriquecimento de nutrientes (SÁNCHEZ-MORENO & FERRIS, 2018).

O IS avalia a estrutura e complexidade da cadeia alimentar do solo, bem como, perturbações devido a casualidades ambientais (por exemplo, salinidade e seca) ou antropogênicas (exemplo, lavoura, mineração ou poluição química), varia de 0 a 100. Valores baixos (0 – 30), intermediários (30 – 60) e altos (60 – 100) indicam níveis equivalentes de complexidade da cadeia alimentar do solo. Valores mais baixos são indicativos de teias alimentares do solo perturbadas,

enquanto valores mais altos indicam uma teia alimentar do solo estruturada (SÁNCHEZ-MORENO & FERRIS, 2018).

Figura 2. Representação bidimensional dos valores médios dos índices de estrutura e de enriquecimento.



C/N: relação entre carbono e nitrogênio. Adaptado de Ferris, Bongers & De Goede (2001).

Na figura 2, cada quadrante delinea uma condição ambiental específica. Por exemplo, o quadrante A retrata um ambiente altamente perturbado, com enriquecimento de nitrogênio devido à decomposição da matéria orgânica por bactérias, e um solo conducente ao desenvolvimento de organismos oportunistas (FERRIS, BONGERS & DE GOEDE, 2001).

O Índice basal (IB) é derivado da abundância de nematoides oportunistas, e serve para avaliar a condição perturbada da cadeia alimentar do solo, varia de 0 a 100. (FERRIS, BONGERS & DE GOEDE, 2001). Valores baixos (0 – 30), intermediários (30 – 60) e altos (60 – 100) indicam níveis equivalentes de perturbação do solo. Portanto, valores mais elevados (> 50) são indicativos de uma cadeia alimentar do solo esgotada e danificada (SÁNCHEZ-MORENO & FERRIS, 2018).

Já o Índice de canal (IC) revela a principal via de decomposição da matéria orgânica do solo, comparando as populações de nematoides que se alimentam de bactérias com aqueles que se alimentam de fungos (FERRIS, BONGERS &

DE GOEDE, 2001). Valores baixos (< 50) indicam aumento do domínio da decomposição por bactérias, enquanto valores mais altos (> 50) indicam aumento do domínio da decomposição por fungos. A dominância bacteriana indica presença de matéria orgânica rapidamente decomposta, enquanto a decomposição dominada por fungos indica a decomposição lenta da matéria orgânica mais complexa. O foco em alimentadores oportunistas de bactérias e fungos torna este índice altamente responsivo, que pode ser usado para detectar caminhos alternados de decomposição ao longo do tempo (SÁNCHEZ-MORENO & FERRIS, 2018).

Os índices citados, desenvolvidos e implementados para a avaliação da qualidade ambiental e estrutura da cadeia trófica do solo indicam o potencial para as funções e serviços dos ecossistemas baseados na abundância relativa das guildas estruturais e funcionais dos nematoides (BONGERS, 1990; BONGERS & FERRIS, 1999; FERRIS & BONGERS, 2009). Entretanto, não indicam a provável magnitude dos serviços, a qual é fornecida pela análise da pegada metabólica dos nematoides (FERRIS, 2010).

A pegada de enriquecimento é a atividade metabólica dos nematoides que respondem mais rapidamente ao enriquecimento de recursos. A pegada de estrutura é a atividade metabólica de níveis tróficos mais altos que podem ter uma função reguladora na cadeia alimentar e que são indicativos da abundância de organismos de funções semelhantes em táxons não-nematoides. A pegada funcional é a combinação das duas pegadas citadas (enriquecimento e estrutura) (FERRIS, 2010).

Nos últimos anos, estudos vêm corroborando o conhecimento sobre a importância dos nematoides como bioindicadores da qualidade do solo (DU PREEZ *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2022; LIU, Li *et al.*, 2021; PANKLANG *et al.*, 2022). Da Silva *et al.* (2021), indicaram que mudanças do uso da terra em áreas na Caatinga afetaram negativamente as magnitudes das funções ecossistêmicas das guildas funcionais dos nematoides. Luo *et al.* (2022), analisando diferentes manejos de recuperação de áreas salinizadas, concluíram que, a análise da estrutura da comunidade de nematoides forneceu importantes indicadores de mudanças nas teias alimentares do solo durante a recuperação das áreas agrícolas salinizadas.

Em pesquisa desenvolvida em região semiárida da China, Zhang et al. (2020b), relataram valores de 2,19 e 2,05 para IM e mMI, respectivamente. Já Leiririo; Karuri & Nyaga (2022), também em região semiárida no Quênia, encontraram variações de 2,37 a 2,47 para IM; 2,52 para mMI e 2,67 a 2,83 para IPP. Vale destacar que, altos valores do IM indicam espécies de nematoides persistentes e condições de solo estáveis enquanto valores baixos indicam um sistema perturbado ou solo altamente enriquecido devido a fertilizantes (BONGERS, 1990).

### **Movimentação dos nematoides no solo**

Um fator importante na sobrevivência dos animais é a capacidade de se dispersar e migrar para encontrar um habitat no qual suas características fisiológicas possam funcionar melhor, localizar e pegar seu alimento e encontrar um companheiro (WALLACE, 1968). Os nematoides cumprem essas funções via o filme de água que recobre as partículas do solo.

Os nematoides se movimentam no solo a partir de movimentos típicos, denominados propulsão ondulatória, sendo realizados por meio de contrações musculares unilaterais (FERRAZ & BROWN, 2016). Entretanto, existem exceções (GRAY, 1939), como nematoides anelados que fazem parte do grupo de fitonematoides cosmopolitas com estrias cuticulares transversais marcantes, que realizam um movimento denominado “estica e puxa”, semelhante à locomoção das minhocas (FERRAZ & BROWN, 2016).

Na maioria dos casos, quando em movimento, os corpos dos nematoides formam curvas que se propagam em direção oposta àquela em que o nematoide está se movendo, logo, à medida que o nematoide avança, as ondas retrocedem e, ao inverter, as ondas progridem. Essas ondas são produtos de eventos de contração e relaxamento dos músculos dorsoventrais, controlados pelo sistema neuromuscular dos mesmos (WALLACE, 1968).

Os nematoides se movimentam na ordem de centímetros durante o ano. Mas, os nematoides contam com outras formas de dispersão, sendo essas consideradas passivas, por meio da movimentação de solo contaminado, suspenso em água ou aderido à implementos agrícolas, calçados, ferramentas e pés de animais dentro da área de cultivo, principalmente, a curtas distâncias. A longas distâncias, as mudas contaminadas constituem a principal forma de

disseminação dos nematoides parasitos de plantas (FERRAZ & BROWN, 2016). Dentre os fatores que podem influenciar a movimentação dos nematoides no solo, destacam-se agentes físicos e químicos do mesmo, como a porosidade (FUJIMOTO *et al.*, 2009, 2010), umidade (PINKERTON *et al.*, 1987), textura (PROT & VAN GUNDY, 1981), temperatura (LEITÃO *et al.*, 2021; MORRIS *et al.*, 2011; PINKERTON *et al.*, 1987), gases (ROBINSON, 1995) e sais (SILVA, *et al.*, 2022; QI *et al.*, 2015).

O padrão de distribuição espacial dos nematoides pode ser analisado por dois componentes, sendo um macro, quando é observado em escala generalizada de campo e afetado por variáveis ambientais, o micro, quando a ocorrência é em escala menor (reboleiras), sendo relacionado com o ciclo de vida e estratégia de alimentação dos nematoides (LIU; HU & LI, 2019).

A padronização espacial dos nematoides do solo ocorre tanto verticalmente, através do perfil do solo, quanto horizontalmente (LIU; HU & LI, 2019). Freitas *et al.* (2017) destacaram que, a distribuição dos nematoides não segue exatamente um padrão, sendo frequentemente considerada como agregada. A distribuição espacial dos nematoides pode ser motivada por fatores geográficos (isolamento geográfico) (SOHLENIUS & BOSTRÖM, 2005) e fatores ambientais, como clima (temperatura, precipitação), tipo de vegetação e propriedades do solo (textura, densidade, matéria orgânica, pH etc.) (NIELSEN *et al.*, 2014; WU; CHEN & ZHANG, 2016).

### **Salinidade do solo**

A salinização do solo é considerada um problema que pode ocasionar impactos adversos à produção agrícola, em que, segundo estimativas realizadas com base em dados da FAO/ONU, mais de 3% da área total do mundo é afetada por sais (FAO, 2021). Esse problema se torna ainda mais preocupante quando esse número tende a aumentar persistentemente a uma taxa de 2 Mha por ano (SINGH, 2018).

No Brasil, os problemas associados a áreas com salinização ocorrem principalmente no Semiárido nordestino, em que, aproximadamente 5000 km<sup>2</sup> apresentam problemas de salinização (BOUAZIZ; MATSCHULLAT & GLOAGUEN, 2011; MOREIRA; TEIXEIRA & GALVÃO, 2014). Contudo, esse problema também é recorrente em outros locais, como no norte de Minas Gerais,

no Pantanal Mato-Grossense e no Rio Grande do Sul, respectivamente (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO & JACOMINE, 2016).

Os solos afetados por sais, também denominados de halomórficos ou solos salinos e sódicos, são desenvolvidos, geralmente, em condições imperfeitas de drenagem, que se caracterizam pela presença de sais solúveis em camadas próximas à superfície. Os principais sais encontrados são cloretos e sulfatos de sódio ( $\text{Na}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ); entretanto, menores quantidades de carbonatos e nitratos podem ser observados (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO & JACOMINE, 2016).

Esses solos podem ser subdivididos em: salinos (quando os sais são encontrados em elevadas concentrações, a ponto de prejudicar o rendimento econômico das culturas); salino-sódicos (quando a percentagem de sódio trocável [PST] atinge valores elevados e o nível de salinidade permanece alto); e sódicos (que ocorrem em um processo denominado de solonização, sendo que, na primeira etapa, a sodificação, ocorre pela passagem do íon  $\text{Na}^+$  da solução do solo para o complexo de troca, formando os solos salino-sódicos e; na etapa final, a dessalinização, que ocorre com a lavagem dos sais solúveis, resultando na formação de solos sódicos) (PEDROTTI *et al.*, 2015; RIBEIRO; RIBEIRO FILHO & JACOMINE, 2016).

Os solos podem ser classificados quanto aos problemas de salinidade levando em consideração o pH, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) e a PST. De acordo com esses parâmetros, os solos podem ser denominados de normal, salino, salino-sódico e sódico (RICHARDS, 1954), como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação dos solos afetados por sais segundo Richards (1954).

Solos	CE ( $\text{dS.m}^{-1}$ )	PST (%)	pH
Normal	< 4	< 15	< 8,5
Salino	> 4	< 15	< 8,5
Salino-sódico	> 4	> 15	< 8,5
Sódico	< 4	> 15	> 8,5

CE: Condutividade elétrica do solo; PST: Percentagem de sódio trocável.

Quanto ao processo de salinização dos solos, esse fenômeno pode ocorrer de duas maneiras distintas: natural ou antrópica. O processo de salinização natural está relacionado aos fatores ambientais, sendo eles: intemperismo do material de origem, invasão das zonas costeiras pela água do mar, acúmulo de sais carregados pelo escoamento superficial ou drenagem lateral de áreas vizinhas, ascensão capilar dos sais e o acúmulo de sais causados pela drenagem de áreas mais altas. Dentre os fatores antrópicos, destacam-se: acúmulo de sais causados pelo uso de água de irrigação contendo sais e manejo inadequado da irrigação associado à ausência de drenagem (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO & JACOMINE, 2016).

Os solos salinos têm influência direta no desenvolvimento das plantas por meio de efeitos osmóticos, efeitos específicos de toxicidade iônica e desequilíbrios nutricionais (SCUDIERO; SKAGGS & CORWIN, 2017). Nos solos sódicos, o excesso de Na trocável e a baixa concentração de sais solúveis leva à expansão e dispersão das argilas, ocasionando degradação da estrutura porosa do solo e a formação de camada de baixa permeabilidade, afetando negativamente o crescimento das raízes, a capacidade de retenção de água no solo e o favorecimento de erosões. Já nos solos salino-sódicos, há o excesso de Na trocável e de sais solúveis, entretanto, a força eletrostática resultante dos sais dissolvidos na água do solo impede a dispersão das argilas e consequentes impactos (WEIL & BRADY, 2017).

Contudo, Qadir & Drechsel (2010), listam algumas técnicas que podem ser empregadas para tentar minimizar o efeito da salinidade no solo e nas plantas, como: a) seleção de culturas ou variedades tolerantes à salinidade; b) utilização de métodos de irrigação que reduzam a exposição das culturas aos sais; c) aplicação de lâminas de lixiviação para remover o excesso de sais da zona radicular das plantas; d) aplicação, sempre que possível, de corretivos de fornecimento de cálcio durante a irrigação com águas sódicas para mitigar os efeitos do sódio no solo e na planta e; e) instalação de sistemas de drenagem eficiente.

Além dos atributos físico-químicos, a salinidade do solo pode afetar as comunidades de microrganismos presentes no meio. Esses micro-organismos exercem funções importantes no solo, como influência nos processos de ciclagem de nutrientes, afetando a matéria orgânica do solo, agregação do solo,

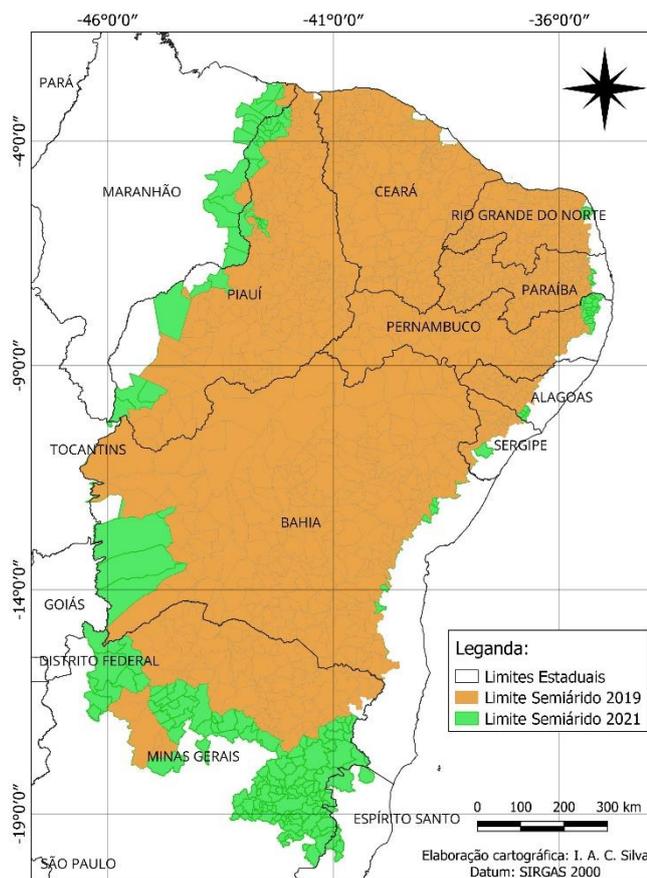
porosidade e disponibilidade de nutrientes (XU *et al.*, 2016). Dentre os organismos do solo limitados pela salinidade, destacam-se os nematoides, que podem ser afetados pelo baixo potencial osmótico da solução do solo e pelo grande número de íons tóxicos resultando na alteração do equilíbrio ecológico, apresentando comunidades de nematoides menos estruturadas, menos complexas e com alta taxa de mortalidade (POAGE *et al.*, 2008; ŠALAMÚN *et al.*, 2014; WU *et al.*, 2015).

Estudo realizado por de Sá *et al.* (2021) mostrou que a salinização afeta negativamente os nematoides do solo da Caatinga no Semiárido brasileiro, apresentando redução da abundância de todos os grupos tróficos, o que compromete a funcionalidade do ecossistema. Nguyen *et al.* (2021), relataram alterações negativas na comunidade de nematoides do solo, devido à intrusão da água salgada em áreas cultivadas com arroz. Além disso, a infectividade e o desenvolvimento de *Meloidogyne incognita* foram prejudicados pelo aumento da concentração de sais na solução do solo (EDONGALI; DUNCAN & FERRIS, 1982).

### **Semiárido brasileiro**

Desde a última delimitação, ocorrida no ano de 2021, o Semiárido brasileiro abrange 1427 municípios, situados em todos os Estados do Nordeste, parte setentrional de Minas Gerais (o Norte mineiro e o Vale do Jequitinhonha) e do Espírito Santo. Em número de municípios, os estados com maior quantidade são Bahia (283), Piauí (215), Minas Gerais (209), Paraíba (188) e Ceará (171) (Figura 3) (SUDENE, 2021).

Figura 3. Municípios inseridos na delimitação do Semiárido brasileiro.



Adaptado de SUDENE (2021).

O Semiárido brasileiro, comparado a outras regiões semiáridas do planeta, é relativamente mais chuvoso, com precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm, porém, com insolação média de 2800 h.ano<sup>-1</sup>, temperaturas médias anuais variando de 23 a 27 °C, evaporação média de 2000 mm.ano<sup>-1</sup> e umidade relativa do ar média em torno de 50% (SILVA *et al.*, 2010). Caracteristicamente, apresenta forte insolação, temperaturas relativamente altas e regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações em um curto período, de três a quatro meses em média, apresentando volumes de água insuficientes em seus mananciais para atendimento das necessidades da população (SILVA *et al.*, 2010). Portanto, os critérios técnicos estabelecidos para a delimitação municipal do semiárido brasileiro são: precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,5, e percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano (SUDENE, 2021).

A escassez hídrica, aliada à alta variabilidade espaço-temporal das chuvas são responsáveis pela ocorrência de secas estacionais e periódicas. Trata-se de uma característica dessa região, sendo um fenômeno natural e cíclico, que, de acordo com registros, vem sendo observado, nessa parte do território brasileiro, desde o ano de 1605 (MENDES, 1997).

O relevo da região semiárida é bastante variado, com altitude média de 400 a 500 m, mas podendo atingir 1000 m. A região semiárida brasileira está dividida em três áreas geológicas, classificadas de acordo com o seu material de origem: áreas do cristalino, áreas do cristalino recobertas por materiais mais ou menos arenosos e áreas sedimentares. Quanto às principais classes de solos encontrados no Semiárido brasileiro, quatro, de um total de quinze, ocupam 66% da área sob Caatinga, especialmente fracionados (Latosolos – 19%; Neossolos Litólicos – 19%; Argissolos – 15% e Luvisolos – 13%) (ARAÚJO, 2011; CUNHA *et al.*, 2008; GAMA & JESUS, 2020; SILVA, 2000).

A vegetação típica é do tipo savana estépica, também conhecida como Caatinga, que ocupa área superior a 734 mil km<sup>2</sup>, equivalente a cerca de 11% do território nacional (CUNHA *et al.*, 2015). A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, logo, parte desse patrimônio biológico é encontrado unicamente no Nordeste do Brasil. Entretanto, é considerado um dos ecossistemas mais ameaçados do país (SILVA *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2017).

Na Caatinga, existem aproximadamente 1000 espécies de plantas, das quais, 380 são consideradas endêmicas, em que se podem destacar: *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Aroeira), *Spondias tuberosa* Arruda (Umbu), *Aspidosperma pyrifolium* Mart. (Pereiro), *Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore (Carnaúba), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. Ex DC.) Mattos (Pau D'arco), *Tabebuia aurea* Benth. & Hook. F. ex S. Moore (Caibreira), *Bromelia laciniosa* Mart. Ex Schultze f. (Macambira), *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J. B. Gillett (Umburana), *Pilosocereys gounellei* (Weber) Byles & Rowley (Xique-xique), *Tacinga inamoena* (K. Schum.) N. P. Taylor e Stuppy (Palma), *Cynophalla flexuosa* (L.) (Feijão bravo), *Crataeva tapia* L. (Trapiá), *Cnidocolus quercifolius* Pohl (Faveleira), *Manihot pseudoglaziovii* Pax & K. Hoffm. (Maniçoba), *Jatropha mollissima* (Pohl.) Paill (Pinhão bravo), *Croton jacobinensis* Baill (Marmeleiro), *Poincianella pyramidalis* (Tul.) (Catingueira), *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (Angico), *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke (Jurema branca),

*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir. (Jurema preta), *Erythrina velutina* Willd. (Mulungu), *Wissadula* sp. (Malva branca), *Sida* sp. (Vassourinha), *Ziziphus joazeiro* Mart. (Juazeiro), *Sideroxylon obtusifolium* (Roemer & Schultes) Penn. (Quixabeira) (ARAÚJO FILHO, 2013; LUCENA *et al.*, 2015; SABINO; CUNHA & SANTANA, 2016; SILVA; LIMA & MENDONÇA, 2014).

Desde o século XVII, a região semiárida do Brasil vem passando por sérios processos de degradação ambiental, com destaque para a histórica atividade agropecuária extensiva, associada ao superpastejo da Caatinga, extrativismo predatório, substituição da vegetação nativa por culturas, principalmente por meio de queimadas e da retirada de madeira, surgindo assim os monocultivos de sequeiro. Adicionalmente, os cultivos irrigados surgiram a partir do desmatamento de áreas, associadas ao manejo inadequado do solo e da água (GIONGO *et al.*, 2011; NOGUEIRA & SIMÕES, 2009).

Segundo Silva (2000), 82 % da região apresenta solos de baixo potencial produtivo, seja por limitações de fertilidade e de profundidade do perfil, seja por limitações de drenagem e de elevados teores de sódio trocável, problemas esses, intensificados pelos fatores já mencionados.

Previsões climáticas sobre a região da Caatinga indicam alterações em torno de 22% na redução das chuvas e elevação da temperatura em até 6 °C (MARENGO *et al.*, 2014). Logo, a Caatinga oferece uma excelente oportunidade para examinar como a conversão para a agricultura, as mudanças nas condições de nutrientes do solo e a variação das chuvas, podem afetar as comunidades de nematoides do solo e a magnitude de suas funções no ecossistema (DA SILVA *et al.*, 2021).

Estudos recentes têm mostrado que as modificações provocadas em áreas semiáridas de Caatinga pelas alterações no tipo de uso e pela salinização em função de manejos inadequados têm provocado mudanças negativas na abundância e na comunidade de nematoides do solo (DA SILVA *et al.*, 2021, 2020; DE SÁ *et al.*, 2021).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, M. A.; ABBAS, A.; AZEEM, F.; JAVED, N.; BOHLMANN, H. Plant-nematode Interactions: From Genomics to Metabolomics. **International Journal of Agriculture and Biology**, vol. 17, nº 06, p. 1071–1082, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0037>.
- ARAÚJO FILHO, J. A. de. **Manejo pastoril sustentável da Caatinga**. Recife: FIDA. Building Capacities for Results-based Management and Scaling up for Innovations in Public Policies to Combat Rural Poverty in North-east Brazil, 2013.
- ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica - Revista Científica da FASETE**, vol. 5, nº 5, p. 89–98, 2011.
- BARETTA, D.; BROWN, G. G.; CARDOSO, N.; BRAN, E. J. Potencial da macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Acta Zoológica Mexicana - Número Especial**, vol. 26, p. 135–150, 2010.
- BLAXTER, M. Nematodes: The Worm and Its Relatives. **PLoS Biology**, vol. 9, nº 4, p. e1001050, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001050>.
- BONGERS, T. De nematoden van Nederland: een identificatietabel voor de in Nederland aangetroffen zoetwater-en bodembewonende nematoden. **Natuurhistorische bibliotheek van de KNNV**, vol. 46, nº 46, p. 408, 1988.
- BONGERS, T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. **Oecologia**, vol. 83, nº 1, p. 14–19, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00324627>.
- BONGERS, T.; BONGERS, M. Functional diversity of nematodes. **Applied Soil Ecology**, vol. 10, nº 3, p. 239–251, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00123-1](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00123-1).
- BONGERS, T.; FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology & Evolution**, vol. 14, nº 6, p. 224–228, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01583-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01583-3).
- BOUAZIZ, M.; MATSCHULLAT, J.; GLOAGUEN, R. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil.

- Comptes Rendus Geoscience**, vol. 343, n° 11–12, p. 795–803, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2011.09.003>.
- BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKELE, W.; VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 120, p. 105–125, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>.
- CUNHA, A. P. M.; ALVALÁ, R. C.; NOBRE, C. A.; CARVALHO, M. A. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 214–215, p. 494–505, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.09.010>.
- CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B.; SILVA, M. S. L.; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B.; CAVALCANTE, A. C. Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola. Petrolina, p. 60, 2008. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br>.
- DA SILVA, J. V. C. de L.; FERRIS, H.; CARES, J. E.; ESTEVES, A. M. Effect of land use and seasonality on nematode faunal structure and ecosystem functions in the Caatinga dry forest. **European Journal of Soil Biology**, vol. 103, p. 103296, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103296>.
- DA SILVA, J. V. C. de L.; HIRSCHFELD, M. N. C.; CARES, J. E.; ESTEVES, A. M. Land use, soil properties and climate variables influence the nematode communities in the Caatinga dry forest. **Applied Soil Ecology**, vol. 150, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103474>.
- DE SÁ, C. S. B.; SHIOSAKI, R. K.; SANTOS, A. M.; CAMPOS, M. A. S. Salinization causes abrupt reduction in soil nematode abundance in the Caatinga area of the Submedio San Francisco Valley, Brazilian semiarid region. **Pedobiologia**, vol. 85–86, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150729>.
- DU PREEZ, G. C.; DANEEL, M. S.; WEPENER, V.; FOURIE, H. Beneficial nematodes as bioindicators of ecosystem health in irrigated soils. **Applied Soil Ecology**, vol. 132, p. 155–168, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.08.008>.

- EDONGALI, E. A.; DUNCAN, L.; FERRIS, H. Influence of salt concentration on infectivity and development of *Meloidogyne incognita* on tomato. **Revue de Nématologie**, vol. 5, n° 1, p. 111–117, 1982.
- ELLING, A. A. Major Emerging Problems with Minor *Meloidogyne* Species. **Phytopathology®**, vol. 103, n° 11, p. 1092–1102, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-13-0019-RVW>.
- FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021). **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021)**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb7654en>.
- FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. Manaus: Norma Editora, 2016.
- FERRIS, H. Form and function: Metabolic footprints of nematodes in the soil food web. **European Journal of Soil Biology**, vol. 46, n° 2, p. 97–104, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.01.003>.
- FERRIS, H.; BONGERS, T. Indices developed specifically for analysis of nematode assemblages. *In*: WILSON, M.; KAKOULI-DUARTE, T. (orgs.). **Nematodes as Environmental Biondicators**. Wallingford: CABI, 2009. p. 124–145.
- FERRIS, H.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G. M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. **Applied Soil Ecology**, vol. 18, n° 1, p. 13–29, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00152-4).
- FERRIS, H.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G. M. de. Nematode faunal indicators of soil food web condition. **Journal of Nematology**, vol. 31, p. 534–535, 1999.
- FERRIS, H; VENETTE, R. C.; SCOW, K. M. Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function. **Applied Soil Ecology**, vol. 25, n° 1, p. 19–35, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.07.001>.
- FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURTI, N. Soil quality indexes under different forestry and adjacent native scrubland use and

- management systems. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 43, nº 3, p. 417–428, 2012.
- FREITAS, J. R. B.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; SILVA, J. F.; SIQUEIRA, D. S.; BARBOSA, B. F. F.; SOARES, P. L. M.; PEREIRA, G. T. Soil Factors Influencing Nematode Spatial Variability in Soybean. **Agronomy Journal**, vol. 109, nº 2, p. 610–619, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2016.03.0160>.
- FUJIMOTO, T.; HASEGAWA, S.; OTOBE, K.; MIZUKUBO, T. Effect of water flow on the mobility of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in columns filled with glass beads, sand or andisol. **Applied Soil Ecology**, vol. 43, nº 2–3, p. 200–205, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.07.006>.
- FUJIMOTO, T.; HASEGAWA, S.; OTOBE, K.; MIZUKUBO, T. The effect of soil water flow and soil properties on the motility of second-stage juveniles of the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 42, nº 7, p. 1065–1072, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.03.003>.
- GAMA, D. C.; JESUS, J. B. de. Principais solos da região semiárida do Brasil favoráveis ao cultivo do Eucalyptus L' Heritier. **BIOFIX Scientific Journal**, vol. 5, nº 2, p. 214, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5380/biofix.v5i2.70968>.
- GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. S. M.; GAVA, C. A. T. Carbono no Sistema Solo-planta no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 4, nº 6, p. 1233–1253, 2011. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i6.232769>.
- GRAY, J. Studies in Animal Locomotion. **Journal of Experimental Biology**, vol. 16, nº 1, p. 9–17, 1939. DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.16.1.9>.
- GUTIÉRREZ, C.; FERNÁNDEZ, C.; ESCUER, M.; CAMPOS-HERRERA, R.; BELTRÁN RODRÍGUEZ, M. E.; CARBONELL, G.; RODRÍGUEZ MARTÍN, J. A. Effect of soil properties, heavy metals and emerging contaminants in the soil nematodes diversity. **Environmental Pollution**, vol. 213, p. 184–194, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.02.012>.
- KRASHEVSKA, V.; KUDRIN, A. A.; WIDYASTUTI, R.; SCHEU, S. Changes in Nematode Communities and Functional Diversity With the Conversion of

- Rainforest Into Rubber and Oil Palm Plantations. **Frontiers in Ecology and Evolution**, vol. 7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00487>.
- KUMAR, V.; KHAN, M. R.; WALIA, R. K. Crop Loss Estimations due to Plant-Parasitic Nematodes in Major Crops in India. **National Academy Science Letters**, vol. 43, n° 5, p. 409–412, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40009-020-00895-2>.
- LAZAROVA, S.; COYNE, D.; G. RODRÍGUEZ, M. G.; PETEIRA, B.; CIANCIO, A. Functional Diversity of Soil Nematodes in Relation to the Impact of Agriculture—A Review. **Diversity**, vol. 13, n° 2, p. 64, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/d13020064>.
- LEIRIRIO, J. L.; KARURI, H.; NYAGA, J. M. Nematode-based soil food web condition in mung bean under semi-arid conditions. **Journal of Agriculture and Food Research**, vol. 10, p. 100465, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100465>.
- LEITÃO, D. A.; PEDROSA, E. M.; DICKSON, D. W.; OLIVEIRA, A. K. S.; ROLIM, M. M. Temperature: a driving factor for migration toward different hosts. **Journal of Nematology**, v. 53, n° 1, p. 1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21307/jofnem-2021-074>.
- LI, Z.; CHEN, X.; LI, J.; LIAO, X.; LI, D.; HE, X.; ZHANG, W.; ZHAO, J. Relationships between Soil Nematode Communities and Soil Quality as Affected by Land-Use Type. **Forests**, vol. 13, n° 10, p. 1658, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13101658>.
- LIU, L.; LI, S.; WILSON, G. W. T.; COBB, A. B.; ZHOU, C.; LI, J.; LI, J.; GUO, L.; HUANG, D. Nematode communities indicate anthropogenic alterations to soil dynamics across diverse grasslands. **Ecological Indicators**, vol. 132, p. 108338, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108338>.
- LIU, T.; HU, F.; LI, H. Spatial ecology of soil nematodes: Perspectives from global to micro scales. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 137, p. 107565, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107565>.
- LORANGER-MERCIRIS, G.; OZIER-LAFONTAINE, H.; DIMAN, J. L.; SIERRA, J.; LAVELLE, P. Fast improvement of macrofauna communities and soil quality in plantain crops converted to agroecological practices. **Pedobiologia**, vol. 93–94, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2022.150823>.

- LU, Q.; LIU, T.; WANG, N.; DOU, Z.; WANG, K.; ZUO, Y. A review of soil nematodes as biological indicators for the assessment of soil health. **Frontiers of Agricultural Science and Engineering**, vol. 7, nº 3, p. 275, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020327>.
- LUCENA, D. S.; LUCENA, M. F. A.; SOUSA, J. M.; SILVA, R. F. L.; SOUZA, P. F. Flora vascular de um inselbergue na mesorregião do sertão paraibano, nordeste do Brasil. **Scientia Plena**, vol. 11, nº 1, 2015.
- LUO, Y.; ZHANG, F.; CHENG, Z.; YANG, L.; YANG, X. Effect of reclamation of abandoned salinized farmland on nematode community in arid northwest China. **Pedobiologia**, vol. 90, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2022.150790>.
- MACHADO, A. C. Z.; ZAGATTO, M. R. G.; SKORA NETO, F.; SILVA, S. A.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Impact of crop management systems on soil nematode communities in south Brazil. **Scientia Agricola**, vol. 79, nº 1, p. 1–7, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2020-0088>.
- MANN, C.; LYNCH, D.; FILLMORE, S.; MILLS, A. Relationships between field management, soil health, and microbial community composition. **Applied Soil Ecology**, vol. 144, p. 12–21, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.06.012>.
- MARENGO, M. G. J.; BOULANGER, J. P.; BUCKERIDG, M. S.; CASTELLANOS, E.; POVEDA, G.; SCARANO, F.; VICUNA, S. Central and South America, Climate Changes 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. **Working Group II of the IPCC**, p. 1499–1566, 2014.
- MARTINEZ, N. D. Constant Connectance in Community Food Webs. **The American Naturalist**, vol. 139, nº 6, p. 1208–1218, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1086/285382>.
- MENDES, B. v. **Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável do Semi-árido**. Fortaleza: SEMACE, 1997.
- MOREIRA, L.; TEIXEIRA, A. S.; GALVÃO, L. Laboratory Salinization of Brazilian Alluvial Soils and the Spectral Effects of Gypsum. **Remote Sensing**, vol. 6, nº 4, p. 2647–2663, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6042647>.
- MORRIS, K. S.; HORGAN, F. G.; DOWNES, M. J.; GRIFFIN, C. T. The effect of temperature on hatch and activity of second-stage juveniles of the root-knot

- nematode, *Meloidogyne minor*, an emerging pest in north-west Europe. **Nematology**, vol. 13, n° 8, p. 985–993, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1163/138855411X571902>.
- MOURA, G. S.; FRANZENER, G. Biodiversity of nematodes biological indicators of soil quality in the agroecosystems. **Arquivos do Instituto Biológico**, vol. 84, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1808-1657000142015>.
- MÜLLER, C. A.; PEREIRA, L. M. ; LOPES, C.; CARES, J.; BORGES, L. G. A; GIONGO, A.; TEIXEIRA, C. G; MORASSUTTI, A. L. Meiofaunal diversity in the Atlantic Forest soil: A quest for nematodes in a native reserve using eukaryotic metabarcoding analysis. **Forest Ecology and Management**, vol. 453, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117591>.
- NEHER, D. A. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. **Journal of nematology**, vol. 33, n° 4, p. 161–8, 2001.
- NGUYEN, V. S.; CHAU, M. K.; VO, Q. M.; LE, V. K.; NGUYEN, T. K. P.; ARAKI, M.; PERRY, R. N.; TRAN, A. D.; DANG, D. M.; TRAN, B. L.; CHOL, G. L.; TOYOTA, K. Impacts of saltwater intrusion on soil nematodes community in alluvial and acid sulfate soils in paddy rice fields in the Vietnamese Mekong Delta. **Ecological Indicators**, vol. 122, p. 107284, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107284>.
- NIELSEN, U. N.; AYRES, E.; WALL, D. H.; LI, G.; BARDGETT, R. D.; WU, T.; GAREY, J. R. Global-scale patterns of assemblage structure of soil nematodes in relation to climate and ecosystem properties. **Global Ecology and Biogeography**, vol. 23, n° 9, p. 968–978, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12177>.
- NOGUEIRA, F. R. B.; SIMÕES, S. V. D. Uma abordagem sistêmica para a agropecuária e a dinâmica evolutiva dos sistemas de produção no nordeste semi-árido. **Revista Caatinga**, vol. 22, n° 2, p. 01–06, 2009.
- NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 88, n° 2, p. 161–168, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00253-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00253-5).
- PANKLANG, P.; THALER, P.; THOUMAZEAU, A.; CHIARAWIPA, R.; SDOODEE, S.; BRAUMAN, A. How 75 years of rubber monocropping affects soil fauna and nematodes as the bioindicators for soil biodiversity quality index. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant**

- Science**, vol. 72, nº 1, p. 612–622, 2022. DOI:  
<https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2034930>.
- PARISI, V.; MENTA, C.; GARDI, C.; JACOMINI, C.; MOZZANICA, E.  
Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity:  
a new approach in Italy. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol.  
105, nº 1–2, p. 323–333, 2005. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.02.002>.
- PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. do N.; LUCAS,  
A. A. T.; DOS SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de  
salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e  
Tecnologia Ambiental**, vol. 19, nº 2, p. 1308–1324, 2015. DOI:  
<https://doi.org/10.5902/2236117016544>.
- PINKERTON, J. N.; MOJTAHEDI, H.; SANTO, G. S.; O'BANNON, J. H. Vertical  
Migration of *Meloidogyne chitwoodi* and *M. hapla* under Controlled  
Temperature. **Journal of nematology**, vol. 19, nº 2, p. 152–7, 1987.
- POAGE, M. A.; BARRETT, J. E.; VIRGINIA, R. A.; WALL, D. H. The influence  
of soil geochemistry on nematode distribution, Mcmurdo Dry Valleys,  
Antarctica. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, vol. 40, nº 1, p. 119–  
128, 2008. DOI: [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(06-  
051\)\[POAGE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(06-051)[POAGE]2.0.CO;2).
- PROT, J. C.; VAN GUNDY, S. D. Effect of Soil Texture and the Clay  
Component on Migration of *Meloidogyne incognita* Second-stage Juveniles.  
**Journal of nematology**, vol. 13, nº 2, p. 213–7, 1981.
- QADIR, M.; DRECHSEL, P. Managing salts while irrigating with wastewater.  
**CABI Reviews**, vol. 2010, p. 1–11, 2010. DOI:  
[10.1079/PAVSNNR20105016](https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20105016).
- QI, Y.; MENG, L.; CAO, S.; LI, M.; CHEN, S.; YE, D. Chemotaxis of  
*Meloidogyne incognita* in Response to Different Salts. **Agricultural  
Sciences**, vol. 06, nº 09, p. 900–907, 2015. DOI:  
<https://doi.org/10.4236/as.2015.69086>.
- RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e  
classificação dos solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.;  
LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (orgs.). **Manejo da Salinidade na**

- Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. 2º ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 9–16.
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. **United States Department of Agriculture - Handbook**, vol. 60, p. 160–160, 1954.
- RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M. Manejo integrado de nematóides na cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol. 28, nº 2, p. 331–338, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000200041>.
- ROBINSON, A. F. Optimal Release Rates for Attracting *Meloidogyne incognita*, *Rotylenchulus reniformis*, and Other Nematodes to Carbon Dioxide in Sand. **Journal of nematology**, vol. 27, nº 1, p. 42–50, 1995.
- ROUSSEAU, L.; FONTE, S. J.; TÉLLEZ, O.; VAN DER HOEK, R.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. **Ecological Indicators**, vol. 27, p. 71–82, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.020>.
- SABINO, F. G. S.; CUNHA, M. C. L.; SANTANA, G. M. Estrutura da Vegetação em Dois Fragmentos de Caatinga Antropizada na Paraíba. **Floresta e Ambiente**, vol. 23, nº 4, p. 487–497, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.017315>
- ŠALAMÚN, P.; KUCANOVÁ, E.; BRÁZOVÁ, T.; MIKLISOVÁ, D.; RENČO, M.; HANZELOVÁ, V. Diversity and food web structure of nematode communities under high soil salinity and alkaline pH. **Ecotoxicology**, vol. 23, nº 8, p. 1367–1376, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1278-7>.
- SÁNCHEZ-MORENO, S.; FERRIS, H. Nematode ecology and soil health. In: SIKORA, R.; COYNE, D.; HALLMANN, J.; TIMPER, P. (Eds.). **Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture**. Wallingford: CAB International, 2018. p. 62–86.
- SANTOS, G. H. C.; CARDOSO, R. S.; MARIA, T. F. Bioindicators or sediment relationships: Evaluating ecological responses from sandy beach nematodes. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol. 224, p. 217–227, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.04.035>.
- SCUDIERO, E.; SKAGGS, T. H.; CORWIN, D. L. Simplifying field-scale assessment of spatiotemporal changes of soil salinity. **Science of The Total**

- Environment**, vol. 587–588, p. 273–281, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.136>.
- SILVA, I. A. C.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, E. F. F.; ROLIM, M. M.; VICENTE, T. F. S. Motility and migration of nematodes in saline environments. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 865-876, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n414rc>.
- SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. The Caatinga: Understanding the Challenges. *In*: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (orgs.). **Caatinga**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 3–19. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3>.
- SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONCESA, M. T.; LINS, L. V. **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. 1º ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004.
- SILVA, J. R. C. Erosão e produtividade do solo no Semi-árido. *In*: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JÚNIOR, R. R.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. (orgs.). **Agricultura, sustentabilidade e o Semiárido**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará: SBCS, 2000. p. 168–213.
- SILVA, M. O.; SANTOS, M. P.; SOUSA, A. C. P.; SILVA, R. L. V.; MOURA, I. A. A.; SILVA, R. S.; COSTA, K. D. S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, vol. 7, nº 1, p. 6853–6875, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-463>.
- 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**, vol. 6, nº 7, p. 47838–47855, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-431>.
- SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. *In*: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (orgs.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Empraba Semiárido, 2010. p. 18–48.
- SILVA, R. M. P.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C. de. Alteração da cobertura vegetal na Sub-Bacia do Rio Espinharas de 2000 a 2010. **Revista Brasileira**

- de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 18, nº 2, p. 202–209, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000200011>.
- SOHLENIUS, B.; BOSTRÖM, S. The geographic distribution of metazoan microfauna on East Antarctic nunataks. **Polar Biology**, vol. 28, nº 6, p. 439–448, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00300-004-0708-z>.
- STONE, D.; COSTA, D.; DANIELL, T. J.; MITCHELL, S. M.; TOPP, C. F. E.; GRIFFITHS, B. S. Using nematode communities to test a European scale soil biological monitoring programme for policy development. **Applied Soil Ecology**, vol. 97, p. 78–85, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.017>.
- STROM, N.; HU, W.; HAARITH, D.; CHEN, S.; BUSHLEY, K. Interactions between soil properties, fungal communities, the soybean cyst nematode, and crop yield under continuous corn and soybean monoculture. **Applied Soil Ecology**, vol. 147, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103388>.
- SUDENE. **Delimitação do Semiárido - 2021**. Recife: [s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acessado em: 13 fev. 2022.
- TREONIS, A. M.; MARAIS, E.; MAGGS-KÖLLING, G. Nematode communities indicate diverse soil functioning across a fog gradient in the Namib Desert gravel plains. **Ecology and Evolution**, vol. 12, nº 6, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.9013>.
- WALLACE, H. R. The Dynamics of Nematode Movement. **Annual Review of Phytopathology**, vol. 6, nº 1, p. 91–114, 1968. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.py.06.090168.000515>.
- WEIL, R. R.; BRADY, N. C. Soil of dry regions: alkalinity, salinity, and sodicity. *In*: WEIL, R. R.; BRADY, N. C. (orgs.). **The nature and properties of soil**. 15º ed. London: Pearson Education, 2017. p. 438–481.
- WILSON, J. B. Guilds, Functional Types and Ecological Groups. **Oikos**, vol. 86, nº 3, p. 507, 1999. DOI: <https://doi.org/10.2307/3546655>.
- WU, J.; CHEN, H.; ZHANG, Y. Latitudinal variation in nematode diversity and ecological roles along the Chinese coast. **Ecology and Evolution**, vol. 6, nº 22, p. 8018–8027, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.2538>.

- WU, Y.P.; ZHANG, Y.; BI, Y.M.; SUN, Z. J. Biodiversity in Saline and Non-Saline Soils Along the Bohai Sea Coast, China. **Pedosphere**, vol. 25, n° 2, p. 307–315, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60015-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60015-7).
- XU, J.; FENG, Y.; WANG, Y.; LUO, X.; TANG, J.; LIN, X. The foliar spray of *Rhodopseudomonas palustris* grown under *Stevia* residue extract promotes plant growth via changing soil microbial community. **Journal of Soils and Sediments**, vol. 16, n° 3, p. 916–923, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1269-1>.
- YEATES, G. W.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G.; FRECKMAN, D. W.; GEORGIEVA, S. S. Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists. **Journal of nematology**, vol. 25, n° 3, p. 315–31, 1993.
- ZHANG, G.; SUI, X.; LI, Y.; JIA, M.; WANG, Z.; HAN, G.; WANG, L. The response of soil nematode fauna to climate drying and warming in *Stipa breviflora* desert steppe in Inner Mongolia, China. **Journal of Soils and Sediments**, vol. 20, n° 4, p. 2166–2180, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02555-5>.
- ZHANG, X.; QU, J.; LI, H.; LA, S.; TIAN, Y.; GAO, L. Biochar addition combined with daily fertigation improves overall soil quality and enhances water-fertilizer productivity of cucumber in alkaline soils of a semi-arid region. **Geoderma**, vol. 363, p. 114170, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114170>.

**CAPÍTULO III: IMPACTOS DA SALINIDADE DO SOLO NA DIVERSIDADE E  
ESTRUTURA DA CADEIA ALIMENTAR DE COMUNIDADES DE  
NEMATOIDES EM CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS**

## **Impactos da salinidade do solo na diversidade e estrutura da cadeia alimentar de comunidades de nematoides em condições semiáridas**

**RESUMO:** Os nematoides desempenham papéis fundamentais na regulação biológica e na fertilidade do solo, contudo, a salinidade do solo pode comprometer suas funções, impactando a produtividade agrícola e a sustentabilidade ambiental. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a dinâmica das comunidades de nematoides em solos salinos no Semiárido Pernambucano. O estudo foi realizado no município de Tabira, Pernambuco, em duas áreas de pastagem, uma plantada com palma forrageira 'Orelha de elefante mexicana' (*Opuntia stricta*) e a outra com capim elefante (*Pennisetum purpureum*) 'BRS Capiáçu', e uma área com vegetação preservada de Caatinga. Em cada área, a amostragem foi realizada em 48 pontos, em duas épocas (estação chuvosa e estação seca). Foram realizadas análises físicas (umidade, frações granulométricas e temperatura), químicas (condutividade elétrica [CE], pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  trocáveis, H+Al, capacidade de troca de catiônica [CTC], percentagem de sódio trocável, soma de base e saturação total) e biológicas (respiração microbiana do solo, abundância de táxons e estrutura trófica da comunidade de nematoides, índices ecológicos e pegadas metabólicas) do solo. As análises estatísticas fundamentaram-se no escalonamento multidimensional não métrico, análise multivariada permutacional de variância, dispersão, similaridade, e correspondência canônica. A área de maior salinidade do solo, cultivada com capim elefante, apresentou a menor diversidade de nematode, em ambos os períodos. Todas as áreas avaliadas apresentaram maior quantidade de nematoides cp<sub>2</sub>, com exceção da pastagem com palma, no período seco, com maior número de nematoides cp<sub>4</sub>. A guilda H<sub>3</sub> foi mais abundante nas áreas de pasto do que na área preservada, apesar da maior diversidade e dominância de Ba<sub>1</sub> e Ba<sub>2</sub> em todas as áreas. Apesar dos diferentes índices de maturidade das três áreas, os baixos valores (2,04 – 2,64) indicaram baixa maturidade da cadeia alimentar do solo. A pegada dos parasitos de plantas foi significativamente superior na pastagem com capim elefante, influenciada pelo elevado número dos gêneros *Pratylenchus* e *Helicotylenchus*. Entretanto, em condição de maior condutividade elétrica do solo, que ocorreu no período de estiagem, a pegada metabólica dos

onívoros foi significativamente reduzida na respectiva área. O teor de areia e argila, bem como, a temperatura, umidade, pH, carbono orgânico, CTC e CE, tiveram influência significativa nas comunidades de nematoides do solo.

**Palavras-chave:** Análise faunística, Bioindicadores, Caatinga, Pegada metabólica, Qualidade de solo

### **Impacts of soil salinity on the diversity and structure of nematode food web under semi-arid conditions**

**ABSTRACT:** The nematode play fundamental roles in the soil biological regulation and fertility, however, soil salinity can compromise their functions, impacting agricultural productivity and environmental sustainability. The objective of this study was to evaluate the nematode community dynamics under saline soils in the semi-arid region. The study was carried out in the municipality of Tabira, state of Pernambuco, Brazil, in two areas under grazing of spineless cactus 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*) and elephant grass (*Pennisetum purpureum*) 'BRS Capiáçu', besides an area under preserved Caatinga vegetation. In each area, 48 soil cores were sampled in the rainy and dry seasons. Evaluations consisted in soil physical (moisture, particle size fractions and temperature), chemical (electrical conductivity [EC], pH, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> exchangeable H+Al, cation exchange capacity [CEC], percentage of exchangeable sodium, base sum and total saturation), and biological (soil microbial respiration, nematode taxa abundance, community trophic structure, ecological indices and metabolic footprints) characterization, and statistical analyzes were based on non-metric multidimensional scaling, permutational multivariate analysis of variance, dispersion, similarity, and canonical correspondence. The area with the highest soil salinity, grazed elephant grass, showed lower nematode diversity in both seasons. There was higher amount of cp<sub>2</sub> nematode in all areas, except for cp<sub>4</sub> surpass under spineless cactus in dry season. H<sub>3</sub> abundance was higher in pasture than in preserved areas, but Ba<sub>1</sub> and Ba<sub>2</sub> sustained the greatest nematode diversity and dominance. Despite the significant differences in the maturity index among areas, the low values (2.04 – 2.64) indicated low maturity of the soil food chain. The herbivore footprint was significantly higher under grazing of elephant grass, influenced by the high

number of *Pratylenchus* and *Helicotylenchus* genus. However, under conditions of greater EC, in the dry season, the metabolic footprint of omnivores was significantly reduced in the respective area. Sand and clay contents, temperature, humidity, pH, organic carbon, CEC, and EC had significant influence on soil nematode communities.

**Keywords:** Faunistic analysis, Bioindicators, Caatinga, Metabolic footprints, Soil quality

## INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro, caracterizado por condições climáticas adversas, é uma região desafiadora para a vida vegetal e animal (SCHOLES, 2020). Nesse contexto, a salinidade do solo pode ser percebida como um fator ambiental crucial, exercendo efeitos substanciais sobre a biodiversidade e as interações tróficas nos ecossistemas locais (MARROQUIN; HOLMES; SALAZAR, 2023; ZHANG *et al.*, 2023).

A salinidade do solo refere-se à presença excessiva de sais solúveis, uma condição que frequentemente compromete a capacidade do solo de sustentar a vida vegetal e, por conseguinte, influencia as dinâmicas das comunidades biológicas (HOU *et al.*, 2021; LI *et al.*, 2021; SINGH, 2022; STAVI; THEVS; PRIORI, 2021). No Semiárido brasileiro, onde a água é um recurso escasso, a concentração de sais no solo aumenta devido à intensa evaporação da água, contribuindo para um ambiente desfavorável ao desenvolvimento de plantas e organismos do solo (HAYASHI, 2013; OTLEWSKA *et al.*, 2020). Entre os componentes biológicos impactados, as comunidades de nematoides são particularmente sensíveis a variações nas condições edáficas (LUO *et al.*, 2022; YANG; ZHANG; LUO, 2021).

As comunidades de nematoides, constituídas por organismos microscópicos essenciais para a saúde do solo, que desempenham papéis fundamentais nos ciclos biogeoquímicos e na estrutura do solo, são afetadas diretamente pela salinidade (DE SÁ *et al.*, 2021; YANG; ZHANG; LUO, 2021). Esses organismos, que compõem uma diversidade significativa de espécies, desempenham funções distintas na cadeia alimentar e na decomposição da matéria orgânica (FERRIS, 2010). A alteração nas condições de salinidade,

entretanto, desencadeia uma série de efeitos adversos nessas comunidades, influenciando a sua diversidade e a estrutura da cadeia alimentar (DE SÁ *et al.*, 2021).

A diversidade de nematoides é um indicador crucial da saúde do solo, refletindo a complexidade e a resiliência do ecossistema (GAO *et al.*, 2020; TAHAT *et al.*, 2020). A salinidade, ao perturbar o equilíbrio hídrico e a disponibilidade de nutrientes no solo, impacta diretamente a composição e a abundância das diferentes espécies de nematoides (NGUYEN *et al.*, 2021; ŠALAMÚN *et al.*, 2014). Espécies mais sensíveis são frequentemente suprimidas em ambientes salinos, enquanto organismos mais tolerantes podem se proliferar. Isso resulta em mudanças na distribuição relativa das populações de nematoides, o que, por sua vez, afeta as interações tróficas e a estabilidade do ecossistema (BONGERS; FERRIS, 1999; NEHER, 2001; YEATES, 2003).

A estrutura da cadeia alimentar das comunidades de nematoides também é profundamente afetada pela salinidade do solo (DE SÁ *et al.*, 2021). Estes organismos participam de interações tróficas complexas, atuando como predadores, parasitos de plantas e decompositores (YEATES *et al.*, 1993). Em ambientes não salinos, as relações tróficas são equilibradas, com diferentes espécies desempenhando papéis específicos na transferência de energia ao longo da cadeia alimentar (BONGERS, 1990; BONGERS; FERRIS, 1999). Contudo, em solos salinos, as alterações na disponibilidade de recursos e nas condições ambientais podem modificar essas interações, levando a desequilíbrios e perturbações na cadeia alimentar (LUO *et al.*, 2022).

A compreensão dos impactos da salinidade do solo nas comunidades de nematoides no Semiárido é essencial não apenas para a ecologia desses ambientes, mas também para a agricultura local. Dada a importância desses organismos na promoção da fertilidade do solo e no controle de pragas, a compreensão das respostas das comunidades de nematoides à salinidade é crucial para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis e estratégias de manejo do solo nessas regiões desafiadoras. Portanto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar o efeito da salinidade do solo nas comunidades de nematoides, índices da cadeia alimentar e nas pegadas metabólicas em solos no Semiárido pernambucano.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área do estudo e Amostragem do solo

O estudo foi realizado em três áreas, sendo duas de pastagem cultivada e uma de vegetação nativa preservada (Caatinga). Todas as áreas estão localizadas no município de Tabira, pertencente à bacia do rio Pajeú, dentro dos limites do semiárido do estado de Pernambuco (SUDENE, 2021) (Figuras 1A e 1B). O clima da região é 'BSh', segundo classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), e a vegetação local é classificada como Caatinga hiperxerófila (CPRM, 2005). As áreas de pastagem estão localizadas na comunidade rural Campos Novos, Fazenda Quilariá da Barra situada a 7°36'34" latitude sul e 37°28'35" longitude oeste, altitude de 575 m (Figura 1C) e, a área com vegetação nativa está situada na comunidade rural Nova Espanha, localizada a 7°32'12" latitude sul e 37°29'18" longitude oeste, com altitude de 608 m (Figura 1C).

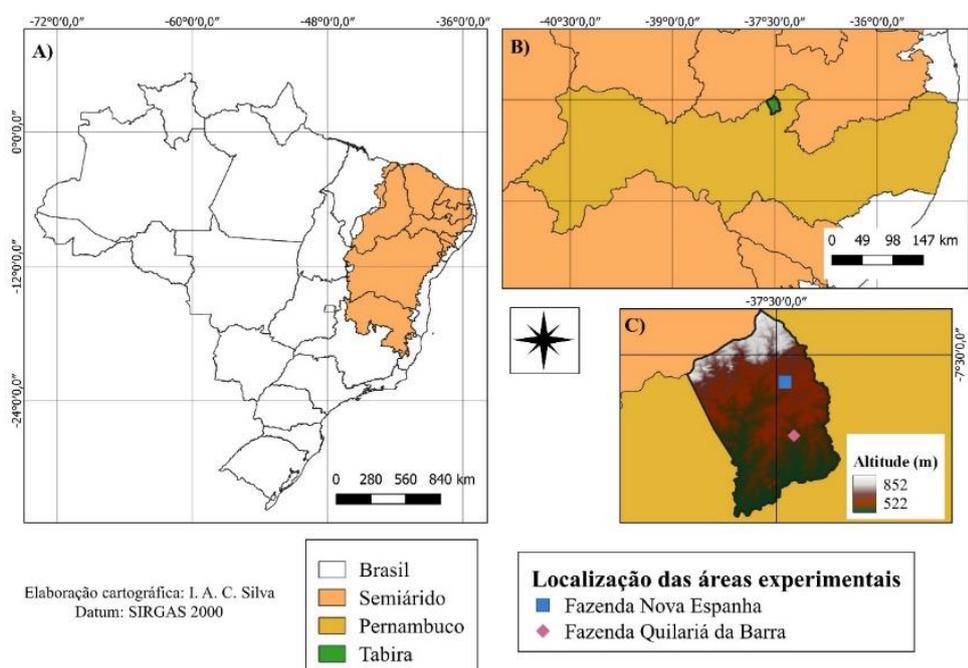


Figura 1. Localização da região semiárida do Brasil (A) e estado de Pernambuco (B). Localização das fazendas Nova Espanha e Quilariá da Barra localizadas no município de Tabira, Pernambuco(C).

As áreas de pastagem eram cultivadas com palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) e capim elefante (*Pennisetum*

*purpureum* Schum) 'BRS Capiaçú', os quais foram implantadas nas áreas há três anos. Antes da utilização das respectivas áreas, para a produção agrícola, as mesmas eram utilizadas para o pastoreio do gado que, ocorreu por mais de 10 anos. A irrigação era localizada, realizada apenas no período de estiagem das chuvas (Figura 2) e, exclusivamente, na área cultivada com capim elefante. O sistema era ligado por 40 minutos uma vez por semana, utilizando água proveniente de poço artesiano da propriedade. A adubação realizada nas duas áreas era proveniente de esterco bovino produzido no pasto e da adição de material vegetal ao solo, em decorrência da capina do mato existente no local, em função do manejo agroecológico adotado pela propriedade.

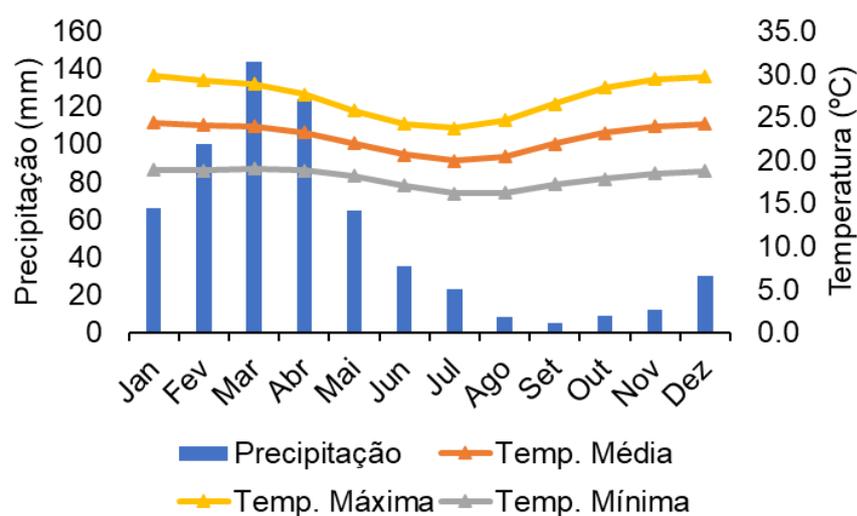


Figura 2. Precipitação média e temperaturas máximas, mínimas e médias mensais do município de Tabira, Pernambuco, Brasil (FICK & HIJMANS, 2017).

A vegetação encontrada na área de Caatinga não tem histórico de supressão, ou seja, nunca foi substituída por produção agrícola ou outra atividade. As espécies vegetais mais frequentes encontradas na área foram: *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Jurema preta), *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz (Catingueira), *Amburana cearenses* (Allemão) A. C. Smith (Amburana), *Ziziphus joazeiro* Mart. (Juazeiro), *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan. (Angico), *Tacinga inamoena* (K. Schum.) N. P. Taylor & Stuppy (Quipá), *Senna spectabilis* (DC.) H. S. Irwin & Barneby (Canafístula), *Bromelia laciniosa* Mart. Ex Schultez f. (Macambira), *Wissadula* sp. (Malva Branca), *Pilosocereus pachycladus* (Facheiro), *Melocactus zehntneri* (Coroa de frade),

*Cereus jamacaru* P. DC. (Mandacaru), *Erythrina velutina* Willd. (Mulungu) e outras espécies das famílias Cactaceae e Urticaceae.

Em cada áreas, foram coletadas 48 amostras de solo, em um grid regular, com os pontos espaçados a cada 8 m, em duas épocas, estação seca (20/09/2022) e estação chuvosa (01/05/2023). As amostras foram coletadas na camada de solo correspondente a 0,10 – 0,30 m.

### **Análises físicas e químicas do solo**

Cada amostra de solo foi tratada separadamente e para isso, as amostras coletadas foram postas para secar ao ar e, posteriormente, destorroadas e separadas em peneira de 2 mm para as análises físicas e químicas.

A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico e as frações granulométricas foram determinadas pelo método do densímetro de Boyoucos (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A temperatura do solo foi aferida no momento da coleta do solo, em cada ponto amostral, com auxílio de um termômetro digital do tipo espeto.

As análises químicas consistiram da determinação da condutividade elétrica, a partir do extrato de saturação das amostras de solo, com condutivímetro de bancada; pH do solo em água (1:25) com auxílio de um peagâmetro; cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e magnésio ( $Mg^{2+}$ ) trocáveis extraídos em KCl 1 mol  $L^{-1}$ , por espectrometria de absorção atômica; sódio ( $Na^+$ ) e potássio ( $K^+$ ) trocáveis extraídos em solução de Mehlich 1, por fotometria de chama (BEZZERA NETO; BARRETO, 2011) e; H+Al por titulometria (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A partir desses resultados, foi determinada a capacidade de troca de catiônica (CTC), percentagem de sódio trocável (PST), soma de base (SB) e saturação total (V) (Equações 1, 2, 3 e 4).

$$CTC = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ + (H + Al) \quad \text{Eq. 1}$$

$$PST = \frac{Na^+}{CTC} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

$$SB = K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} \quad \text{Eq. 3}$$

$$V = 100 \times \frac{SB}{CTC} \quad \text{Eq. 4}$$

O teor de carbono orgânico total do solo foi determinado pela metodologia de Yeomans & Bremner (1988), por meio da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico.

### **Análises biológicas do solo**

A respiração microbiana do solo foi realizada por meio da evolução C-CO<sub>2</sub> do solo de acordo com a metodologia de Grisi (1978). Assim, 100 g de solo foram mantidas em frascos de vidro, hermeticamente fechados, contendo um recipiente com 10 ml de KOH 0,5 N. Após incubação por 15 dias, o CO<sub>2</sub> absorvido foi determinado por titulação com HCl 0,1 N, usando-se fenolftaleína e alaranjado de metila como indicadores.

Para as análises nematológicas, as amostras de solo, em condição de umidade natural, foram homogeneizadas e processadas com auxílio de duas peneiras (60 e 400 mesh) para extração, a partir de 300 cm<sup>3</sup> de solo, utilizando-se o método da flotação centrífuga com solução de sacarose (JENKINS, 1964). As suspensões de nematoides obtidas foram mantidas em refrigeração (4 – 6 °C), por não mais do que três dias, até a identificação e contagem dos espécimes.

A densidade populacional dos nematoides do solo foi estimada por meio de uma alíquota de 1 ml na lâmina de Peters, sob microscópio óptico, em uma objetiva de 40 ou 100 x, em duas repetições. Os nematoides parasitos de plantas foram identificados a nível de gênero (MAY *et al.*, 1996; MEKETE *et al.*, 2012) e os nematoides de vida livre a nível de família/gênero, conforme a chave de identificação de Tarjan; Esser & Chang (1977). A abundância foi computada em número de espécimens por 300 cm<sup>3</sup> de solo.

Foi calculada a abundância absoluta dos táxons ocorrentes, além da estrutura trófica em: parasitos de plantas (H), bacteriófagos (Ba), micófagos (Mi), onívoros (On) e predadores (Pr). Os nematoides foram classificados de acordo com a escala colonizador-persistente (cp<sub>1-5</sub>) a partir da qual foram calculados os índices de maturidade (IM), de maturidade 2-5 (IM<sub>2-5</sub>) e parasitos de plantas (IPP) (Equação 5). O IM<sub>2-5</sub> não incluiu os nematoides cp<sub>1</sub> e o IPP baseou-se exclusivamente nos nematoides parasitos de plantas (BONGERS, 1990). Utilizando as guildas funcionais dos nematoides (micófagos, Mix; bacteriófagos, Bax; parasitos de plantas, Ppx; onívoros, Onx; e predadores, Prx; onde x representa a classe cp), a condição da teia alimentar foi descrita usando os índices índice basal (IB), de enriquecimento (IE), canal (IC) e de estrutura (IS) (FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001) (Equações 6 - 9).

$$IM \text{ ou } IM_{2-5} = \sum_{i=1}^n v(i) \times f(i) \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

$v(i)$  = valor c-p ou p-p do táxon;

$f(i)$  = frequência do táxon na amostra.

$$IE = 100 \times \frac{e}{(e + b)} \quad \text{Eq. 6}$$

$$IS = 100 \times \frac{s}{(s + b)} \quad \text{Eq. 7}$$

$$IC = 100 \times \frac{0,8 \times Fu_2}{3,2 \times Ba_1 + 0,8 \times Fu_2} \quad \text{Eq. 8}$$

$$IB = 100 \times \frac{b}{(e + s + b)} \quad \text{Eq. 9}$$

Em que:

$e = 3,2 \times Ba_1 + 0,8 \times Mi_2$ ;

$s = 1,8 \times (Ba_3 + Mi_3 + On_3 + Pr_3) + 3,2 \times (Ba_4 + Mi_4 + On_4 + Pr_4) + 5 \times (Ba_4 + Mi_5 + On_5 + Pr_5)$ ;

$b = 0,8 \times (Ba_2 + Mi_2)$ .

A pegada metabólica dos nematoides foi calculada pela Equação 10 (FERRIS, 2010):

$$F = \sum \left( N_t \times \left( 0,1 \left( \frac{W_t}{M_t} \right) + 0,273 \times (W_t^{0,75}) \right) \right) \quad \text{Eq. 10}$$

Em que:  $F$  = atividade metabólica;  $N_t$  = número de nematoides em cada táxon;  $W_t$  = peso estimado dos nematoides ( $\mu\text{g}$ ) e;  $M_t$  = classificação cp do táxon t.

### Análise estatística

Foi realizado o teste t para a comparação das médias das áreas entre as estações avaliadas. Além disso, os padrões espaciais das comunidades de nematoides na área de Caatinga e nas áreas de palma e capim elefante foram avaliados usando o escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) (CLARKE, 1993) com base no índice de Jaccard. Análise multivariada permutacional de variância (PERMANOVA) (ANDERSON, 2001), seguida de análise multivariada permutacional de dispersão (PERMDISP) (ANDERSON, 2006), foi utilizada para avaliar as diferenças entre as comunidades de

nematoides nas áreas experimentais. A contribuição dos gêneros de nematoides para as dissimilaridades entre os locais foi determinada usando análise percentual de similaridade (SIMPER). Todas as análises foram realizadas no pacote *vegan* do R versão 4.1.2 (R Core Team, 2021) utilizando as funções *metaMDS*, *adonis*, *betadisper* e *simper* (OKSANEN *et al.*, 2022).

A análise de correspondência canônica (CCA) foi utilizada para investigar a influência das propriedades do solo na estrutura da comunidade dos nematoides. As variáveis utilizadas na CCA foram selecionadas com base em seus fatores de inflação de variância ( $VIF < 10$ ) e na significância de seus P valores permutacionais usando as funções *vif.cca* e *envfit*, respectivamente no pacote *vegan* (OKSANEN *et al.*, 2022).

## RESULTADOS

Foram identificados 33 taxa de nematoides nas áreas estudadas durante os períodos de avaliação, sendo 31 a nível de gênero e dois a nível de família (Tabela 1). Na estação chuvosa, 25 gêneros e duas famílias de nematoides foram observados. Na estação seca, esse quantitativo correspondeu a 24 gêneros e duas famílias. Os gêneros *Cephalobus*, *Ditylenchus*, *Doryllium*, *Tylencholaimellus*, *Mononchulus*, *Mononchus* e *Tylenchus* foram encontrados apenas no período chuvoso. Os gêneros *Diplogaster*, *Nothotylenchus*, *Tripyla*, *Dorylaimodes*, *Thornia* e *Paratylenchus* foram encontrados apenas no período seco. Por outro lado, os gêneros *Acrobeles*, *Aphelenchoides*, *Aphelenchus*, *Eudorylaimus*, *Criconemoides*, *Helicotylenchus* e *Pratylenchus* foram encontrados em todas as áreas nos dois períodos avaliados (Tabela 1).

Em ambos os períodos avaliados, os nematoides parasitos de plantas e bacteriófagos foram os taxa mais dominantes (Tabela 1). No período chuvoso, na área de Caatinga, a dominância dos parasitos de plantas correspondeu a 51,80% seguido dos bacteriófagos (38,21%), micófagos (6,83%), onívoros (2,73%) e predadores (0,43%). Na área cultivada com palma, os nematoides bacteriófagos representaram 47,82% da dominância, os parasitos de plantas, 29,88%, onívoros, 9,81%; micófagos, 8,51% e os predadores representaram 3,97%. Já na área do capim elefante, a maior dominância foi dos nematoides

parasitos de plantas (62,19%), seguida dos bacteriófagos (25,47%), onívoros (11,03%), micófagos (1,31%) e predadores, que não foram detectados (0,00%).

No período seco, na área de Caatinga, a dominância dos parasitos de plantas correspondeu a 48,60%, bacteriófagos 28,06%, onívoros 14,37%, micófagos 6,68% e predadores 2,29% (Tabela 1). Na área cultivada com palma, os nematoides bacteriófagos representaram 35,78% da dominância, onívoros, 32,99%; já os parasitos de plantas, 26,33%; micófagos, 3,19% e os predadores representaram 1,71%. Já na área do capim elefante, a maior dominância foi dos nematoides parasitos de plantas (64,34%), seguida pelos bacteriófagos (18,41%), onívoros (9,60%), micófagos (7,65%) e predadores (0,00%), que não foram detectados.

Dentre os nematoides parasitos de plantas, o gênero *Helicotylenchus* foi o mais dominante com 34,88% na área de Caatinga, 21,67% na área de capim e 18,06% na área de palma no período chuvoso (Tabela 1). Já entre os nematoides de vida livre, o gênero *Acrobeles* foi o mais dominante em todas as áreas, com 18,41% na área de Caatinga, 15,74% na área de palma e 9,91% na área cultivada com capim elefante. No período seco, a dominância do gênero *Helicotylenchus* foi o superior em todas as áreas com 34,43, 19,23 e 23,50% nas áreas de Caatinga, palma e capim elefante, respectivamente. Dentre os gêneros de nematoides de vida livre, destaque foi observado para a dominância do *Acrobeles* na área de Caatinga (15,68%) e para os nematoides da família Rhabditidae na área da palma (18,85%) e na área de capim elefante (13,24%) (Tabela 1).

Na área de vegetação nativa preservada, o número de *Panagrolaimus*, *Prismatolaimus*, *Rhabditis* e *Aphelenchoides* foi 63,0; 56,5; 85,2 e 61,2% significativamente maior no período de chuva em relação ao período seco. A população de Rhabditidae e *Mesodorylaimus* foi 81,0 e 74,4% significativamente maior no período seco quando comparado ao período chuvoso e, os gêneros *Labronema*, Mononchidae, *Prodorylaimus* e *Thornia* foram observados, apenas, no período seco na respectiva área (Tabela 1).

Na área cultivada com palma, ocorreu um número significativamente maior de *Prismatolaimus* (41,7%), *Aphelenchoides* (64,3%), *Aphelenchus* (43,4%), *Criconemoides* (41,1%) e *Paratrachodorus* (74,6%) na estação chuvosa, em relação à seca, além disso, os gêneros *Panagrolaimus*,

*Prodorylaimus* e *Tylenchorynchus* foram detectados apenas na estação chuvosa para a respectiva área (Tabela 1). Por outro lado, a população de Rhabditidae, *Eudorylaimus*, *Labronema* e *Laimydorus* foram 33,8; 61,7; 78,5 e 79,2% significativamente superior na época seca.

Os números de *Acrobeles* e *Eudorylaimus* foram 35,0 e 36,1% significativamente superior no período chuvoso, na área cultivada com capim elefante, quando comparados ao período seco, além disso, os gêneros *Panagrolaimus*, *Prismatolaimus*, *Rhabditis*, *Mesodorylaimus*, *Paratrichodorus* e *Tylenchorynchus* foram observados apenas no período chuvoso. Ao contrário, a população de *Aphelenchoides* foi 68,4% maior no período seco, em relação ao período chuvoso e, Rhabditidae e *Labronema* foi observado apenas na respectiva estação (Tabela 1).

Tabela 1. Abundância média e dominância dos gêneros e famílias de nematoides presentes em área preservada de Caatinga e áreas cultivadas com palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*) e capim elefante (*Pennisetum purpureum*) 'BRS Capião', nas estações chuvosa e seca, do município de Tabira, Pernambuco, Brasil.

Gênero	GF	Chuvosa						Seca					
		Caatinga		Palma		Capim		Caatinga		Palma		Capim	
		Média±DP	D (%)										
<i>Acrobeles</i>	Ba <sub>2</sub>	1,97±0,47a	18,41	1,57±0,92a	15,74	1,37±1,08a	9,91	1,74±0,74a	15,68	1,46±0,80a	10,67	0,89±0,92b	5,17
<i>Cephalobus</i>	Ba <sub>2</sub>	0,72±0,82a	2,90	0,75±0,97a	5,22	1,45±0,84a	7,11	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00b	0,00
<i>Diplogaster</i>	Ba <sub>1</sub>	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,55±0,76a	2,29	0,42±0,75a	2,42	0,00±0,00a	0,00
<i>Panagrolaimus</i>	Ba <sub>1</sub>	0,73±0,82a	3,42	0,91±0,97a	7,30	0,92±0,87a	2,76	0,27±0,61b	0,92	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00b	0,00
<i>Prismatolaimus</i>	Ba <sub>3</sub>	1,15±0,82a	5,78	1,03±0,92a	6,60	0,86±0,86a	2,64	0,50±0,73b	1,79	0,60±0,73b	2,47	0,00±0,00b	0,00
Rhabditidae	Ba <sub>1</sub>	0,23±0,56b	0,63	1,27±0,95b	12,95	0,00±0,00b	0,00	1,21±0,82a	6,73	1,92±0,30a	18,85	1,81±0,57a	13,24
<i>Rhabditis</i>	Ba <sub>1</sub>	1,08±0,93a	7,07	0,00±0,00b	0,00	1,14±0,86a	3,04	0,16±0,49b	0,66	0,22±0,59a	1,37	0,00±0,00b	0,00
<i>Aphelenchoides</i>	Mi <sub>2</sub>	0,85±0,78a	2,96	0,42±0,66a	1,48	0,24±0,55b	0,31	0,33±0,66b	1,42	0,15±0,45b	1,20	0,76±0,87a	3,56
<i>Aphelenchus</i>	Mi <sub>2</sub>	0,00±0,00b	0,00	0,83±0,75a	4,02	0,54±0,71a	1,00	0,34±0,64a	1,28	0,47±0,68b	1,53	0,79±0,78a	2,81
<i>Ditylenchus</i>	Mi <sub>4</sub>	0,72±0,89a	3,59	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00
<i>Doryllium</i>	Mi <sub>4</sub>	0,00±0,00a	0,00	0,29±0,66a	3,01	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00a	0,00
<i>Nothotylenchus</i>	Mi <sub>2</sub>	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00b	0,00	0,86±0,82a	3,98	0,12±0,40a	0,46	0,47±0,75a	1,28
<i>Tylencholaimellus</i>	Mi <sub>4</sub>	0,09±0,37a	0,28	0,00±0,00a	0,00								
Mononchidae	Pr <sub>4</sub>	0,00±0,00b	0,00	0,44±0,70a	2,63	0,00±0,00a	0,00	0,50±0,72a	2,00	0,45±0,74a	1,31	0,00±0,00a	0,00
<i>Mononchulus</i>	Pr <sub>4</sub>	0,00±0,00a	0,00	0,15±0,52a	1,03	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00a	0,00
<i>Mononchus</i>	Pr <sub>4</sub>	0,20±0,49a	0,43	0,10±0,39a	0,32	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00
<i>Tripyla</i>	Pr <sub>3</sub>	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,09±0,37a	0,29	0,15±0,45a	0,40	0,00±0,00a	0,00
<i>Eudorylaimus</i>	On <sub>4</sub>	0,73±0,75a	2,06	0,59±0,94b	4,46	1,83±0,71a	9,02	0,52±0,80a	2,66	1,54±0,83a	13,83	1,17±0,84b	5,17

<i>Dorylaimodes</i>	On <sub>4</sub>	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,19±0,50a	0,62	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00
<i>Labronema</i>	On <sub>4</sub>	0,00±0,00b	0,00	0,26±0,59b	1,55	0,00±0,00b	0,00	0,83±0,93a	5,87	1,21±0,93a	10,06	0,57±0,85a	4,43
<i>Laimydorus</i>	On <sub>4</sub>	0,00±0,00a	0,00	0,15±0,44b	0,41	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,72±0,96a	5,34	0,00±0,00a	0,00
<i>Mesodorylaimus</i>	On <sub>4</sub>	0,22±0,54b	0,66	0,64±0,83a	2,88	0,78±0,82a	2,01	0,86±0,89a	4,16	0,63±0,87a	3,76	0,00±0,00b	0,00
<i>Prodorylaimus</i>	On <sub>4</sub>	0,00±0,00b	0,00	0,13±0,43a	0,51	0,00±0,00a	0,00	0,12±0,42a	0,36	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00a	0,00
<i>Thornia</i>	On <sub>4</sub>	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,28±0,59a	0,71	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00
<i>Criconemoides</i>	H <sub>3</sub>	0,91±0,98a	7,30	0,90±0,93a	5,37	0,92±1,17a	6,41	1,28±0,94a	11,59	0,53±0,86b	4,12	0,94±1,21a	12,06
<i>Helicotylenchus</i>	H <sub>3</sub>	2,19±0,69a	34,88	1,72±0,78a	18,06	1,64±1,42a	21,67	2,16±0,71a	34,43	1,58±0,99a	19,23	1,95±0,88a	23,50
<i>Meloidogyne</i>	H <sub>3</sub>	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,44±0,87a	3,53	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,38±0,71a	2,01
<i>Paratrichodorus</i>	H <sub>4</sub>	0,00±0,00a	0,00	0,67±0,86a	3,09	0,52±0,81a	1,21	0,00±0,00a	0,00	0,17±0,46b	0,34	0,00±0,00b	0,00
<i>Paratylenchus</i>	H <sub>2</sub>	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,49±0,88a	3,76
<i>Pratylenchus</i>	H <sub>3</sub>	0,22±0,55a	0,59	0,19±0,52a	0,55	2,06±0,78a	17,55	0,15±0,46a	0,48	0,37±0,66a	1,29	1,90±0,81a	20,80
<i>Trichodorus</i>	H <sub>4</sub>	0,00±0,00a	0,00	0,56±0,75a	1,67	0,87±0,97a	3,17	0,00±0,00a	0,00	0,41±0,69a	1,35	0,64±0,81a	2,21
<i>Tylenchorynchus</i>	H <sub>3</sub>	0,32±0,68a	2,27	0,20±1,86a	1,15	0,46±0,96a	5,21	0,41±0,78a	2,10	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00b	0,00
<i>Tylenchus</i>	H <sub>2</sub>	1,28±0,79a	6,75	0,00±0,00a	0,00	1,01±0,90a	3,44	0,00±0,00b	0,00	0,00±0,00a	0,00	0,00±0,00b	0,00

GF = guilda funcional, DP = desvio padrão e D = dominância. Dados transformados em  $\log(x+1)$ . Na mesma linha, para cada área, valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste t a 5% de probabilidade entre as estações do ano.

Não foi observada diferença significativa no número de nematoides pertencentes aos grupos cp<sub>1</sub>, Ba<sub>1</sub>, Mi<sub>2</sub>, Mi<sub>4</sub>, Pr<sub>3</sub>, e H<sub>3</sub> na área de Caatinga, entre as duas épocas de avaliação, além disso, não foi observado nematoides H<sub>4</sub> em ambas as avaliações (Tabela 2). Na área cultivada com palma, não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos cp<sub>1</sub>, Ba<sub>1</sub>, Ba<sub>2</sub>, Pr<sub>4</sub>, e H<sub>3</sub> nas duas épocas de avaliação, além disso, não foi detectado nematoides H<sub>2</sub> nessa área (Tabela 2). Na área de capim, a abundância de nematoides cp<sub>2</sub> e H<sub>3</sub> não diferiu estatisticamente entre as épocas de amostragem, além disso não foi observado nematoides Mi<sub>4</sub> e predadores nessa área (Tabela 2).

Na estação chuvosa, houve maior número de nematoides cp<sub>2</sub> e cp<sub>3</sub> na área de Caatinga e na área cultivada com palma, diferindo estatisticamente do período seco. Nessas áreas, a quantidade de nematoides cp<sub>4</sub> foi 42,8% (Caatinga) e 19,6% (Palma) significativamente maior no período seco (Tabela 2). Na área cultivada com capim, no período seco, o número de nematoides cp<sub>1</sub> foi 16,0% significativamente superior, enquanto, no período chuvoso, o número de nematoides cp<sub>4</sub> foi 31,6% significativamente maior, além disso, não foi detectado nematoides cp<sub>3</sub> na estação seca (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição (média ± desvio padrão) dos valores cp e das guildas funcionais em área preservada de Caatinga e áreas cultivadas com palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*) e capim elefante (*Pennisetum purpureum*) 'BRS Capiaçú', nas estações chuvosa e seca, do município de Tabira, Pernambuco, Brasil.

GF	Chuvosa						Seca					
	Caatinga		Palma		Capim		Caatinga		Palma		Capim	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
cp <sub>1</sub>	1,54 a	0,77	1,82 a	0,67	1,52 b	0,76	1,59 a	0,63	2,00 a	0,31	1,81 a	0,57
cp <sub>2</sub>	2,22 a	0,31	2,07 a	0,53	2,02 a	0,77	2,01 b	0,54	1,63 b	0,72	1,80 a	0,57
cp <sub>3</sub>	1,15 a	0,82	1,03 a	0,92	0,86 a	0,86	0,57 b	0,76	0,67 b	0,76	0,00 b	0,00
cp <sub>4</sub>	1,04 b	0,74	1,72 b	0,67	1,99 a	0,54	1,82 a	0,62	2,14 a	0,62	1,36 b	0,86
Ba <sub>1</sub>	1,54 a	0,77	1,82 a	0,67	1,52 b	0,76	1,59 a	0,63	2,00 a	0,31	1,81 a	0,57
Ba <sub>2</sub>	2,06 a	0,45	1,70 a	0,95	1,95 a	0,82	1,74 b	0,74	1,47 a	0,80	0,89 b	0,92
Ba <sub>3</sub>	1,15 a	0,82	1,03 a	0,92	0,86 a	0,86	0,50 b	0,72	0,60 b	0,73	0,00 b	0,00
Mi <sub>2</sub>	1,30 a	0,77	1,06 a	0,74	0,63 b	0,77	1,30 a	0,72	0,72 b	0,74	1,46 a	0,73
Mi <sub>4</sub>	0,09 a	0,37	0,28 a	0,66	0,00 a	0,00	0,00 a	0,00	0,00 b	0,00	0,00 a	0,00
Pr <sub>3</sub>	0,00 a	0,00	0,00 b	0,00	0,00 a	0,00	0,09 a	0,37	0,15 a	0,45	0,00 a	0,00

Pr <sub>4</sub>	0,20 b	0,49	0,64 a	0,82	0,00 a	0,00	0,50 a	0,72	0,45 a	0,74	0,00 a	0,00
On <sub>4</sub>	0,88 b	0,77	1,31 b	0,87	1,99 a	0,54	1,70 a	0,71	2,13 a	0,62	1,36 b	0,86
H <sub>2</sub>	1,28 a	0,79	0,00 a	0,00	1,01 a	0,90	0,00 b	0,00	0,00 a	0,00	0,49 b	0,88
H <sub>3</sub>	2,40 a	0,50	2,03 a	0,54	2,86 a	0,66	2,46 a	0,37	1,87 a	0,79	2,65 a	0,59
H <sub>4</sub>	0,00 a	0,00	1,00 a	0,88	1,21 a	0,93	0,00 a	0,00	0,49 b	0,74	0,63 b	0,81

GF = guilda funcional, DP = desvio padrão. Dados transformados em  $\log(x+1)$ . Na mesma linha, para cada área, valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t a 5% de probabilidade entre as estações do ano.

Na área de vegetação nativa, o número de nematoides das guildas Ba<sub>2</sub> e Ba<sub>3</sub> foi 15,5 e 56,5% significativamente maior na estação chuvosa, enquanto o número de espécimes de Pr<sub>4</sub> e On<sub>4</sub> foi 60,0 e 48,2% maior na estação seca, além disso, nematoides H<sub>2</sub> foram observados apenas na estação chuvosa (Tabela 2). Na área cultivada com palma, a população das guildas Ba<sub>3</sub> (41,7%), Mi<sub>2</sub> (32,1%) e H<sub>4</sub> (51,0%) foi significativamente maior na estação chuvosa, ao contrário de On<sub>4</sub>; os nematoides Mi<sub>4</sub> e Pr<sub>3</sub> foram detectados, apenas, na estação chuvosa e seca, respectivamente. Por outro lado, na área com capim elefante, a abundância das guildas Ba<sub>2</sub>, On<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> e H<sub>4</sub> foi 54,3; 31,6, 51,5 e 47,9% significativamente maior na estação chuvosa, contrastando com o aumento da abundância de Ba<sub>1</sub> e Mi<sub>2</sub> na estação seca (Tabela 2), além disso, nematoides pertencentes a guilda Ba<sub>3</sub> foi observado, apenas, no período chuvoso e, nematoides predadores, não foram observados em nenhuma das avaliações realizadas.

Na área com vegetação nativa, o índice de canal e de enriquecimento e as pegadas metabólicas composta, de enriquecimento, dos parasitos de planta, micófagos e bacteriófagos não mostraram diferença significativa entre as épocas de avaliação (Tabela 3). Na área com palma, o índice de parasitos de planta e as pegadas metabólicas dos parasitos de planta, dos bacteriófagos e dos predadores também não mostraram diferenças significativas entre as estações avaliadas (Tabela 3). Na área com capim elefante os índices de maturidade 2-5, parasitos de planta, canal e basal, como também as pegadas metabólicas composta, dos herbívoros e bacteriófagos, não evidenciaram diferença estatística entre as estações chuvosa e seca (Tabela 3).

Na estação seca, na área de vegetação nativa, os índices de maturidade, maturidade 2-5, parasito de planta e de estrutura foram 22,7; 29,9; 9,3 e 49,1% significativamente maiores do que no período chuvoso, ao contrário, o índice

basal foi 41,4% maior na estação chuvosa (Tabela 3). Na área com palma, os índices de maturidade, maturidade 2-5, enriquecimento e de estrutura foram 12,9; 16,2; 21,1 e 19,8% significativamente maiores no período seco, enquanto os índices canal e basal foram 71,9 e 64,6% superiores no período chuvoso (Tabela 3). Na área com capim elefante, o índice de enriquecimento foi 30,3% significativamente maior na estação seca; já os índices de maturidade e estrutura apresentaram diferenças significativas entre as estações, com maiores valores no período chuvoso (Tabela 3).

As pegadas metabólicas de estrutura, dos predadores e dos onívoros foram 36,7; 66,7 e 50,9% significativamente maiores no período seco, na vegetação nativa (Tabela 3). Na área com palma, as pegadas metabólicas compostas, de enriquecimento, estrutura e dos onívoros, foram 8,4; 16,2; 20,2 e 42,6% estatisticamente maiores no período seco, enquanto a pegada metabólica dos micófagos foi 44,0% maior no período chuvoso. Os valores maiores das pegadas metabólicas de estrutura e dos onívoros ocorreram no período chuvoso na área com capim elefante, diferindo significativamente 27,7 e 26,5% do período seco. Também, nesta área, a pegada metabólica de enriquecimento e dos micófagos no período seco foi 21,3 e 62,1% significativamente superior ao período chuvoso (Tabela 3).

Tabela 3. Índices ecológicos e pegadas metabólicas em área preservada de Caatinga e áreas cultivadas com palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*) e capim elefante (*Pennisetum purpureum*) 'BRS Capiaçú', nas estações chuvosa e seca, do município de Tabira, Pernambuco, Brasil.

Índice/footprint	Chuvosa						Seca					
	Caatinga		Palma		Capim		Caatinga		Palma		Capim	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Índice de Maturidade	2,04 b	0,32	2,30 b	0,57	2,63 a	0,60	2,45 a	0,47	2,64 a	0,62	2,07 b	0,62
Índice de Maturidade 2-5	2,34 b	0,24	2,80 b	0,49	2,93 a	0,61	2,85 a	0,50	3,34 a	0,50	2,73 a	0,61
Índice Parasito de Plantas	2,84 b	0,21	3,21 a	0,25	3,02 a	0,14	3,00 a	0,00	3,13 a	0,27	2,99 a	0,24
Índice Canal	29,25 a	33,56	14,09 a	27,36	13,38 a	30,36	22,96 a	29,08	3,96 b	6,47	18,68 a	21,60
Índice Basal	31,62 a	18,91	18,76 a	19,70	20,00 a	16,81	18,52 b	12,86	6,64 b	6,82	14,51 a	12,34
Índice de Enriquecimento	56,22 a	24,25	67,07 b	27,42	53,94 b	28,15	63,66 a	22,96	84,97 a	13,16	77,36 a	20,37
Índice de Estrutura	43,28 b	24,87	68,20 b	25,21	69,55 a	28,16	68,10 a	26,08	85,08 a	22,08	55,39 b	35,85
Pegada Metabólica Composta*	2,27 a	0,38	2,39 b	0,27	2,74 a	0,50	2,38 a	0,25	2,61 a	0,31	2,61 a	0,36
Pegada Metabólica de Enriquecimento*	1,72 a	0,68	1,81 b	0,60	1,59 b	0,75	1,75 a	0,50	2,16 a	0,30	2,02 a	0,53
Pegada Metabólica de Estrutura*	1,12 b	0,57	1,70 b	0,50	1,84 a	0,54	1,77 a	0,60	2,13 a	0,64	1,33 b	0,86
Pegada Metabólica dos PP*	1,65 a	0,31	1,40 a	0,42	2,27 a	0,75	1,63 a	0,33	1,20 a	0,60	2,03 a	0,64
Pegada Metabólica dos Micófagos*	0,66 a	0,50	0,50 a	0,37	0,25 b	0,32	0,58 a	0,37	0,28 b	0,30	0,66 a	0,40
Pegada Metabólica dos Bacteriófagos*	2,00 a	0,48	2,04 a	0,52	1,94 a	0,53	1,92 a	0,38	2,21 a	0,29	2,05 a	0,46
Pegada Metabólica dos Predadores*	0,20 b	0,48	0,63 a	0,80	0,00 a	0,00	0,60 a	0,79	0,58 a	0,82	0,00 a	0,00
Pegada Metabólica dos Onívoros*	0,77 b	0,68	1,20 b	0,83	1,81 a	0,55	1,57 a	0,73	2,09 a	0,63	1,33 b	0,86

DP = desvio padrão. PP = Parasitos de planas. \*Dados transformados em  $\log(x+1)$ . Na mesma linha, para cada área, valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t a 5% de probabilidade entre as estações do ano.

A apresentação gráfica da pegada metabólica funcional, no período chuvoso, retratou a vegetação nativa de Caatinga como perturbada e as áreas cultivadas de capim elefante e palma, em estruturação, respectivamente (Figura 2A). No período seco, a apresentação gráfica da pegada metabólica funcional retratou todas as áreas analisadas em estruturação (Figura 2B).

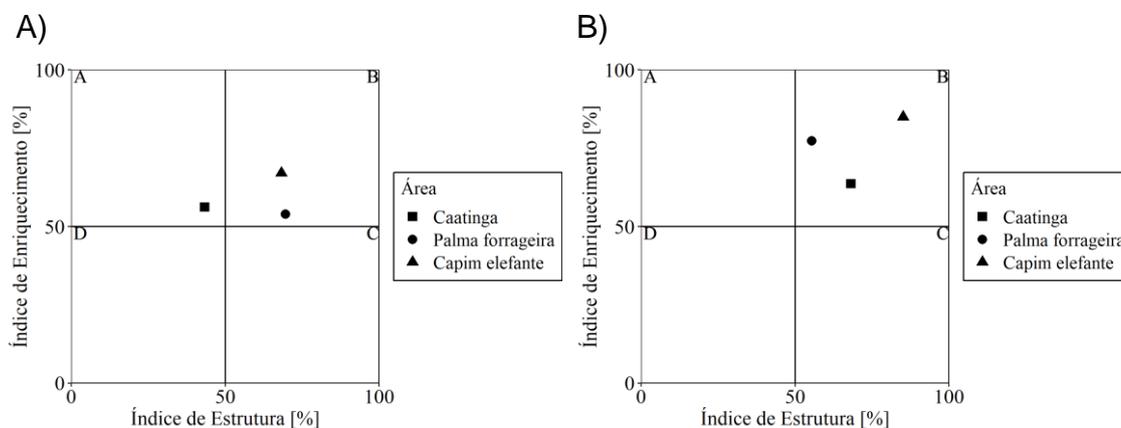


Figura 2. Condição da rede alimentar do solo em área preservada de Caatinga e áreas cultivadas com palma forrageira ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*Opuntia stricta*) e capim elefante ‘BRS Capiacu’ (*Pennisetum purpureum*), nas estações chuvosa (A) e seca (B), do município de Tabira, Pernambuco, Brasil.

A diferenciação entre as comunidades de nematoides nas áreas de vegetação preservada, palma e capim elefante, na estação chuvosa, foi detectada pela nMDS (PERMANOVA,  $R^2 = 0,3$ ,  $F = 28,98$ ,  $P = 0,001$ ; PERMDISP,  $F = 11,95$ ,  $P < 0,001$ ) (Figura 3). Com base na análise SIMPER, a dissimilaridade média entre a estrutura da comunidade de nematoides da área de vegetação preservada e capim elefante foi de 58,13%, entre as áreas de vegetação preservada e palma foi de 62,60% e, entre as áreas de capim elefante e palma, a dissimilaridade correspondeu a 66,41%. A análise também indicou que *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Eudorylaimus*, *Criconemoides*, *Cephalobus*, *Acrobeles* e *Rhabditis* foram os gêneros que mais contribuíram para a dissimilaridade observada entre as áreas de vegetação nativa e capim elefante, contribuindo com 50,80%. *Tylenchus*, Rhabditidae, *Rhabditis*, *Criconemoides*, *Prismatolaimus*, *Cephalobus* e *Helicotylenchus* contribuíram com 49,40% da dissimilaridade entre as áreas de vegetação nativa e palma. *Pratylenchus*, *Eudorylaimus*, *Helicotylenchus*, Rhabditidae, *Cephalobus*, *Acrobeles* e *Rhabditis*

foram responsáveis por 47,30% da dissimilaridade entre as áreas de capim e palma.

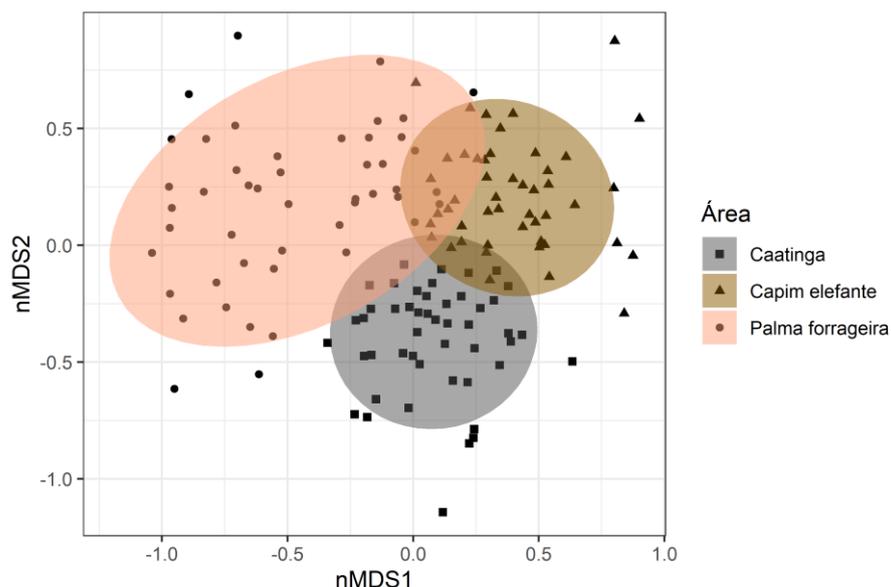


Figura 3. Ordenação de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) com base na distribuição de comunidades de nematoides em área preservada de Caatinga e áreas cultivadas com palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*) e capim elefante 'BRS Capiaçú' (*Pennisetum purpureum*), na estação chuvosa, do município de Tabira, Pernambuco, Brasil (nMDS; Stress = 0,24).

No período seco, a comunidade de nematoides também apresentou diferenças nas áreas de vegetação nativa, palma e capim (PERMANOVA,  $R^2 = 0,25$ ,  $F = 23,27$ ,  $P = 0,001$ ; PERMDISP,  $F = 3,39$ ,  $P = 0,04$ ) (Figura 4). A dissimilaridade média entre a estrutura da comunidade de nematoides da vegetação nativa e capim foi de 61,13%. Para as áreas de vegetação nativa e palma, a dissimilaridade média foi de 56,42% e, entre as áreas de capim e palma, correspondeu a 55,94%. Os gêneros *Pratylenchus*, *Criconemoides*, *Acrobeles*, *Eudorylaimus*, *Labronema*, *Rhabditidae* e *Helicotylenchus* contribuíram com mais de 50% para a dissimilaridade entre as áreas de vegetação nativa e capim elefante. *Eudorylaimus*, *Criconemoides*, *Helicotylenchus*, *Labronema*, *Mesodorylaimus*, *Acrobeles* e *Rhabditidae* contribuíram com 49,70% para a dissimilaridade entre as áreas de vegetação nativa e palma. Já os gêneros *Pratylenchus*, *Labronema*, *Helicotylenchus*, *Acrobeles*, *Criconemoides*,

*Eudorylaimus* e *Aphelenchus* foram os que mais contribuíram, com 54,30%, para a dissimilaridade entre as áreas de capim elefante e palma forrageira.

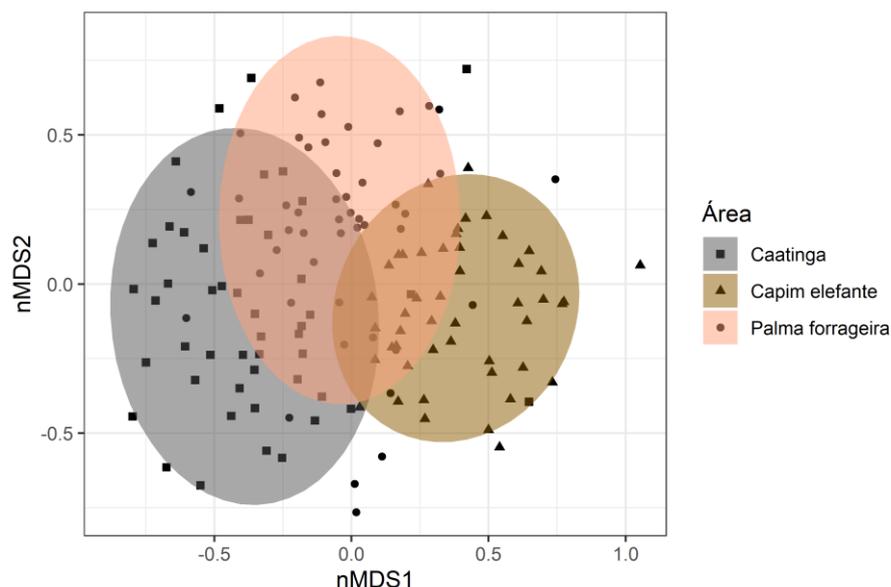


Figura 4. Ordenação de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) com base na distribuição de comunidades de nematoides em área preservada de Caatinga e áreas cultivadas com palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*) e capim elefante 'BRS Capiáçu' (*Pennisetum purpureum*), na estação seca, do município de Tabira, Pernambuco, Brasil (nMDS; Stress = 0,27).

Nas amostras de solo das três áreas estudadas verificou-se variações significativas nas características físicas e químicas em ambas as coletas (Tabela 4). Em todas as áreas verificou-se temperatura, pH, CE, Na, Ca, Mg, CTC e SB significativamente maiores na estação seca, quando comparada à chuvosa (Tabela 4). Nas áreas cultivadas com palma e capim elefante, o carbono orgânico do solo foi 21,9 e 28,1% significativamente maior no período seco (Tabela 4), enquanto na área de vegetação nativa, não ocorre variações significativas entre as diferentes épocas de avaliação. O pH, variou significativamente, apenas na área de vegetação nativa, com maior valor (5,04) no período seco (Tabela 4). Não houve diferença significativa entre as épocas de avaliação para PST e V nas áreas avaliadas (Tabela 4).

Tabela 4. Propriedades do solo da área preservada de Caatinga e áreas cultivadas com palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*) e capim elefante 'BRS Capiaçú' (*Pennisetum purpureum*), nas estações chuvosa e seca, do município de Tabira, Pernambuco, Brasil.

Propriedades do solo	Chuva						Seco					
	Caatinga		Palma		Capim		Caatinga		Palma		Capim	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Temperatura (°C)	25,9 b	0,85	29,2 b	1,75	26,8 b	2,20	33,4 a	3,76	31,4 a	4,20	34,7 a	6,26
Umidade (g.g <sup>-1</sup> )	0,069 b	0,024	0,052 a	0,025	0,093 a	0,066	0,102 a	0,054	0,026 b	0,016	0,091 a	0,029
pH	4,79 b	0,28	5,42 a	0,77	5,58 b	0,54	5,04 a	0,41	5,70 a	0,65	6,57 a	0,61
CE (dS.m <sup>-1</sup> )	0,255 a	0,085	0,443 b	0,389	2,26 b	1,01	0,259 a	0,085	0,625 a	0,331	5,20 a	1,47
Resp (mg.CO <sub>2</sub> )	42,1 a	20,7	34,0 a	22,1	49,3 a	33,1	16,4 b	7,86	20,1 b	10,3	27,9 b	15,9
CO (g.kg <sup>-1</sup> )	13,8 a	4,26	13,7 a	5,09	14,6 a	4,64	14,8 a	6,66	10,7 b	3,85	10,5 b	4,24
K (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,131 a	0,059	0,213 a	0,152	0,176 a	0,138	0,144 a	0,041	0,233 a	0,148	0,202 a	0,126
Na (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,378 b	0,104	1,04 b	0,439	0,921 b	0,695	0,675 a	0,430	1,32 a	0,54	1,50 a	1,05
Ca (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,009 b	0,007	0,007 b	0,010	0,100 b	0,083	0,026 a	0,040	0,021 a	0,011	0,240 a	0,252
Mg (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,013 b	0,009	0,011 b	0,017	0,079 b	0,056	0,021 a	0,019	0,032 a	0,038	0,124 a	0,122
CTC (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,532 b	0,148	1,27 b	0,522	1,28 b	0,772	0,866 a	0,46	1,61 a	0,65	2,07 a	1,26
SB (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,154 b	0,064	0,232 a	0,161	0,355 b	0,196	0,191 a	0,073	0,286 a	0,176	0,566 a	0,326
PST (%)	71,4 a	6,02	82,0 a	7,95	69,9 a	13,3	74,6 a	11,2	82,1 a	7,89	71,0 a	11,9
V (%)	28,6 a	6,02	18,0 a	7,95	30,1 a	13,3	25,4 a	11,2	17,9 a	7,89	29,0 a	11,9
Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	646	46,9	705	57,5	732	112	-	-	-	-	-	-
Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	242	39,4	168	27,4	154	77,0	-	-	-	-	-	-
Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	112	20,9	127	43,5	114	46,8	-	-	-	-	-	-

CE = condutividade elétrica; Resp = respirometria; CO = carbono orgânico; K = potássio; Na = sódio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; CTC = capacidade de troca catiônica; PST = porcentagem de sódio trocável; SB = soma de base; V = saturação total; DP = desvio padrão. Na mesma linha, para cada área, valores seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t a 5% de probabilidade entre as estações do ano.

As propriedades físicas e químicas do solo explicaram 19,74% da variância na comunidade de nematoides no período chuvoso (Figura 5). O primeiro (autovalor = 0,18) e o segundo eixos (autovalor = 0,13) representaram 7,87% e 5,72% da variância, respectivamente. *Paratrichodorus* correlacionou-se positivamente com a temperatura, CTC, pH e teor de areia do solo. *Trichodorus* teve correlação positiva com a CE e a CTC, que, influenciou negativamente o gênero *Ditylenchus*. *Eudorylaimus* foi influenciado positivamente pela CE, pH e teor de areia e, negativamente, pelo teor de argila do solo. A CE também influenciou positivamente os gêneros *Pratylenchus* e *Cephalobus*. *Acrobeles* foi influenciado negativamente pela umidade e teor de argila do solo. A temperatura influenciou positivamente *Aphelenchus* e a fração de areia correlacionou-se positivamente com *Pratylenchus* (Figura 5).

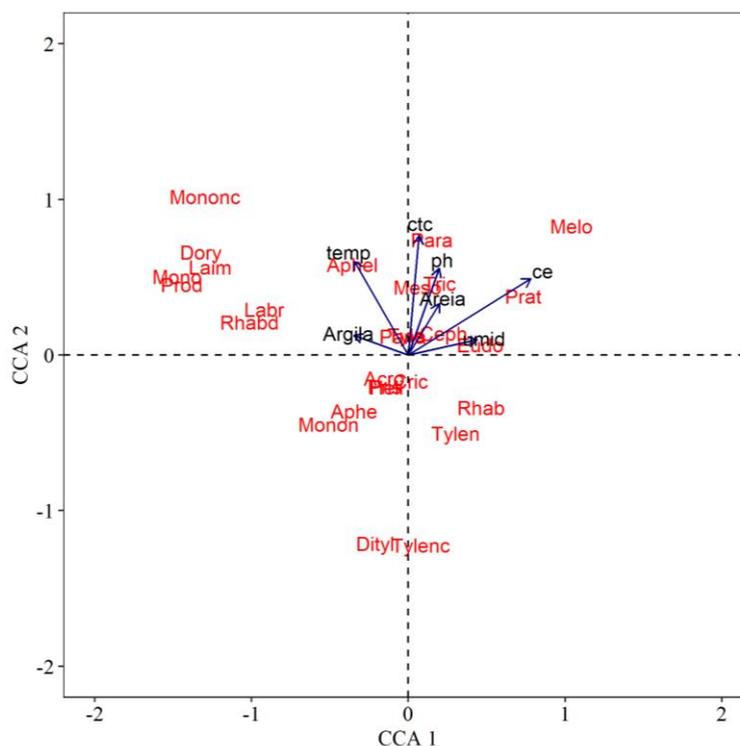


Figura 5. Análise de correspondência canônica (CCA) de 27 taxa de nematoides e propriedades do solo, em área preservada de Caatinga e áreas cultivadas com palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*) e capim elefante 'BRS Capiaçú' (*Pennisetum purpureum*), na estação chuvosa, do município de Tabira, Pernambuco, Brasil.

Acro: *Acrobeles*; Ceph: *Cephalobus*; Pana: *Panagrolaimus*; Pris: *Prismatolaimus*; Rhabd: Rhabditidae; Rhab: *Rhabditis*; Aphe: *Aphelenchoides*; Aphel: *Aphelenchus*; Dityl: *Ditylenchus*; Dory: *Doryllium*; Tyenc: *Tylencholaimellus*; Mono: Mononchidae; Mononc: *Mononchulus*;

Monon: *Mononchus*; Eudo: *Eudorylaimus*; Labr: *Labronema*; Laim: *Laimydorus*; Meso: *Mesodorylaimus*; Prod: *Prodorylaimus*; Cric: *Criconemoides*; Heli: *Helicotylenchus*; Melo: *Meloidogyne*; Para: *Paratrichodorus*; Prat: *Pratylenchus*; Tric: *Trichodorus*; Tyle: *Tylenchorynchus*; Tyle: *Tylenchus*.

No período seco, as propriedades do solo explicaram 15,77% da variância na comunidade de nematoides (Figura 6). O primeiro (autovalor = 0,23) e o segundo (autovalor = 0,08) eixos representaram 9,76% e 3,68% da variância. *Laimydorus* foi negativamente influenciado pela umidade do solo. O carbono orgânico correlacionou-se positivamente com *Tylenchorhynchus*. A CE do solo exerceu influência positiva nos gêneros *Pratylenchus*, *Trichodorus* e *Meloidogyne* e, negativa, nos gêneros *Diplogaster* e *Mesodorylaimus*. *Trichodorus* sofreu influência positiva do teor de areia do solo (Figura 6).

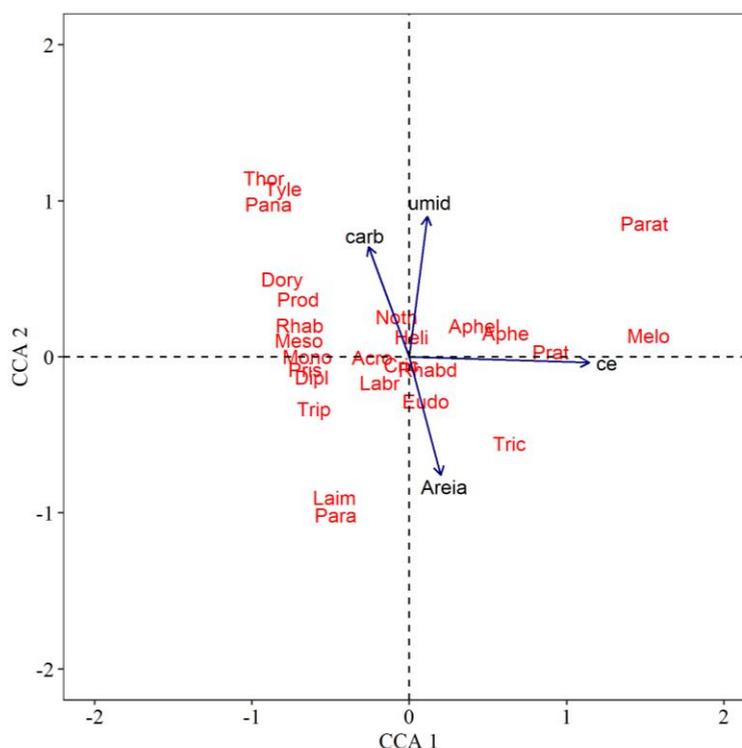


Figura 6. Análise de correspondência canônica (CCA) de 26 taxa de nematoides e propriedades do solo, em área preservada de Caatinga e áreas cultivadas com palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*) e capim elefante 'BRS Capiaçú' (*Pennisetum purpureum*), na estação seca, do município de Tabira, Pernambuco, Brasil.

Acro: *Acrobeles*; Dipl: *Diplogaster*; Pana: *Panagrolaimus*; Pris: *Prismatolaimus*; Rhabd: Rhabditidae; Rhab: *Rhabditis*; Aphe: *Aphelenchoides*; Aphel: *Aphelenchus*; Noth:

*Nothotylenchus*; Mono: Mononchidae; Trip: *Tripyla*; Eudo: *Eudorylaimus*; Dory: *Dorylaimoides*; Labr: *Labronema*; Laim: *Laimydorus*; Meso: *Mesodorylaimus*; Prod: *Prodorylaimus*; Thor: *Thornia*; Cric: *Criconemoides*; Heli: *Helicotylenchus*; Melo: *Meloidogyne*; Para: *Paratrichodorus*; Prat: *Pratylenchus*; Tric: *Trichodorus*; Tyle: *Tylenchorynchus*; Parat: *Paratylenchus*.

## DISCUSSÃO

As comunidades de nematoides e suas mudanças estruturais são consideradas duas das melhores ferramentas biológicas para avaliar os processos de alterações do solo (ŠALAMÚN *et al.*, 2014; YANG *et al.*, 2021; YANG; ZHANG; LUO, 2021). O ambiente do solo pode impactar significativamente as comunidades de nematoides que vivem nesse meio, contudo, os mesmos podem responder de maneira diferente a essas perturbações (DU PREEZ *et al.*, 2022). Em áreas em que ocorre elevada concentração de sais, a diversidade e a atividade dos microrganismos tendem a ser afetadas negativamente (NGUYEN *et al.*, 2021; YANG; ZHANG; LUO, 2021). Neste estudo, a área cultivada com capim (CE média de 2,3 dS.m<sup>-1</sup> no período chuvoso e 5,2 dS.m<sup>-1</sup> na estação seca), apresentou a menor diversidade de nematoide em relação às demais áreas, em ambas as estações estudadas (Tabela 1). Alguns gêneros como *Laimydorus*, *Prodorylaimus* e famílias como Monochidae não foram detectados na área de capim; entretanto, ocorreram nas outras áreas avaliadas. Esses resultados podem indicar a sensibilidade desses gêneros de nematoides à salinidade do solo, que é um aspecto crítico em ecossistemas afetados por sais. A alta concentração de sais pode alterar a disponibilidade de água e nutrientes, influenciando diretamente o comportamento e a sobrevivência desses nematoides (WU *et al.*, 2015).

Muitas espécies de nematoides onívoros e predadores são sensíveis a condições salinas, impactando sua capacidade de controle populacional de nematoides parasitos de planta e de manutenção do equilíbrio biológico do solo (POAGE *et al.*, 2008; ŠALAMÚN *et al.*, 2014). Esse fato poderia explicar a ocorrência da maior abundância de nematoides parasitos de planta na área com capim elefante, em ambas as coletas, mesmo com a CE elevada da área. Pen-Mouratov *et al.* (2008) relataram redução de micófagos e onívoros em áreas salinizadas. Bokijon & Holisa (2013) descreveram perda da abundância de

nematoides onívoros e predadores em função da salinidade do solo em áreas cultivadas com algodão.

No presente estudo, todas as áreas avaliadas apresentaram maior número de nematoides cp<sub>2</sub> nas duas épocas avaliadas, com exceção da área com palma no período seco, em que o número de nematoides cp<sub>4</sub> aumentou. O grupo cp<sub>2</sub> é formado por nematoides que são principalmente micófagos e bacteriófagos, os quais podem sobreviver em condições desfavoráveis (FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001); por outro lado, o grupo cp<sub>4</sub>, é constituído, em sua maioria, por nematoides predadores e onívoros, sensíveis a distúrbios ambientais (FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001).

O manejo agroecológico, adotado nas áreas cultivadas com palma forrageira e capim elefante, pode ter propiciado um ambiente menos desfavorável para os nematoides mais sensíveis (e.g., cp<sub>4</sub>) e contribuído para o aumento no número de oportunistas de enriquecimento (cp<sub>1</sub>) e redução no número de oportunistas gerais (cp<sub>2</sub>) (BONGERS, 1999; BONGERS; FERRIS, 1999). A presença de *Eudorylaimus* e *Labronema*, que são gêneros representativos em guildas funcionais superiores (On<sub>4</sub>), nas áreas de cultivo, deve ter contribuído para o IS observado (FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001). Segundo Pothula et al. (2019), a agricultura afeta o número de nematoides cp<sub>4</sub> e cp<sub>5</sub>, sendo esses nematoides importantes para a complexidade da cadeia alimentar do solo.

A análise das guildas funcionais revelou que os nematoides H<sub>3</sub> foram mais abundantes nas áreas cultivadas, em ambos os períodos estudados. Além disso, o número de nematoides On<sub>4</sub> foi maior na área de capim no período chuvoso. Entretanto, apenas os gêneros *Eudorylaimus* e *Mesodorylaimus* foram observados nessa área, contribuindo substancialmente para o elevado número de espécimes na respectiva guilda. No entanto, as maiores diversidade e dominância dos nematoides foram observadas nas guildas Ba<sub>1</sub> e Ba<sub>2</sub>. Não foi detectada a presença de nematoides com hábito alimentar predador na área de capim (maior CE), sugerindo uma possível sensibilidade à salinidade e sua influência direta na pegada metabólica dos onívoros. Em estudo realizado por de Sá et al. (2021), a salinização afetou negativamente os nematoides do solo da Caatinga, reduzindo a abundância de todos os grupos tróficos.

No presente estudo aqui apresentado, os nematoides parasitos de planta e bacteriófagos, juntos, constituíram mais de 70% da comunidade em todas as áreas. O gênero *Acrobeles* (Ba<sub>2</sub>) foi o mais abundante nas áreas e períodos estudados. A guilda Ba<sub>2</sub> é composta por bacteriófagos oportunistas gerais que podem resistir ao estresse e prosperar em ecossistemas com recursos limitados (BONGERS; BONGERS, 1998; FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001).

A despeito dos benefícios fitossanitários do manejo agroecológico, quando comparado ao monocultivo intensivo, nas áreas cultivadas com capim e palma, a dominância de parasitos de planta foi mais elevada do que na área de vegetação nativa, mesmo com a dominância relativamente alta de *Helicotylenchus*, em ambas as coletas. O menor IPP da área de vegetação nativa corrobora a relação entre redução de diversidade de plantas hospedeiras e aumento populacional de parasitos de planta (MARANHÃO *et al.*, 2018).

Apesar das diferenças significativas no IM, os baixos valores indicam uma baixa maturidade da cadeia alimentar do solo. O IM<sub>2-5</sub> na área de capim, no período seco, em que a CE do solo foi mais elevada, indica uma cadeia alimentar do solo com baixa maturidade. Os baixos valores do IB, que avalia a estrutura e complexidade da cadeia alimentar, indicaram baixo nível de perturbação. A estrutura da cadeia alimentar nas áreas amostradas pode ser explicada devido à presença de um número considerável de onívoros e predadores. Conforme indicado pelos valores do IE e do IC, ambos os sistemas foram enriquecidos e as vias de decomposição foram mediadas por bactérias. Isso pode ter ocorrido devido às adubações orgânicas que foram realizadas nas áreas cultivadas mediante aplicação de esterco bovino e adição de material vegetal ao solo, bem como, devido à decomposição da serrapilheira observada na área de vegetação nativa (SÁNCHEZ-MORENO; FERRIS, 2018; SAYRE *et al.*, 2023; VIDA; DE VICENTE; CAZORLA, 2020; YANARDAĞ *et al.*, 2017).

Quanto ao IS, no período chuvoso, as áreas produtoras apresentaram valores que indicaram uma teia alimentar do solo estruturada, enquanto, no período seco, houve uma modificação desse índice na área com capim, que passou a apresentar valores menores, que são indicativos de teias alimentares do solo perturbadas. A falta de recursos adequados e as condições de solo com elevada CE no período seco podem ter criado o nível de perturbação observado nesse sistema (FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001).

Além dos índices da cadeia alimentar do solo, as pegadas metabólicas fornecem informações sobre a contribuição de diferentes grupos funcionais de nematoides para os serviços ecossistêmicos (DU PREEZ *et al.*, 2018; FERRIS, 2010). A pegada metabólica composta, foi maior nas áreas de cultivo e é uma representação dos serviços ecossistêmicos fornecidos por toda a comunidade de nematoides. A pegada dos herbívoros foi superior na área cultivada com o capim elefante, influenciada pelo elevado número de *Pratylenchus* e *Helicotylenchus*. Entretanto, em condição de maior CE, que ocorreu no período de estiagem, a pegada metabólica dos onívoros foi reduzida na área de capim. Esses baixos valores para as pegadas de predadores e onívoros, na área com capim elefante, pode ter contribuído para o seu estado de estruturação, conforme representado pela pegada metabólica funcional.

Estudos anteriores relataram que as comunidades de nematoides do solo podem ser alteradas em áreas de produção agrícola devido à influência das propriedades físicas e químicas do solo (DA SILVA *et al.*, 2020; DIAS-ARIEIRA *et al.*, 2021; KITAGAMI; KAWAI; EKINO, 2021). Neste estudo, a CCA mostrou que o teor de areia do solo pode influenciar positivamente os nematoides. Solos com maior teor de areia geralmente apresentam uma estrutura mais porosa e uma boa drenagem, proporcionando condições mais aeradas (AL-GHAMDI, 2021). Essas características favorecem a movimentação dos nematoides no solo, permitindo-lhes explorar diferentes áreas em busca de alimentos e hospedeiros, o que pode explicar a influência positiva dessa variável em alguns gêneros como *Trichodorus*, *Pratylenchus* e *Paratrichodorus* (MOORE; LAWRENCE, 2013). Por outro lado, alguns gêneros, como *Acrobeles*, *Criconemoides* e *Cephalobus*, foram influenciados negativamente pelo teor de argila.

A correlação positiva entre o pH do solo e a abundância de *Paratrichodorus* e *Eudorylaimus*, pode estar associada ao papel crítico que o pH desempenha na estrutura da comunidade microbiana do solo, que por sua vez influencia os nematoides (NEILSON *et al.*, 2020). Micro-organismos como bactérias e fungos, que compõem a biota do solo, são sensíveis ao pH e desempenham funções-chave na decomposição da matéria orgânica (KANG *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2020). Em ambientes ácidos, a atividade microbiana pode

ser reduzida, impactando a disponibilidade de recursos para os nematoides que dependem desses microrganismos para sua nutrição (NISA *et al.*, 2021).

A umidade do solo é um fator ambiental crucial que desempenha um papel significativo na ecologia e no comportamento dos nematoides do solo (PIRES *et al.*, 2023). Neste estudo, gêneros como *Laimydorus* e *Acrobeles* foram influenciados negativamente pela umidade do solo. Esses organismos são sensíveis às mudanças no conteúdo de água do solo, e variações na umidade podem impactar diretamente suas taxas de sobrevivência e reprodução (BAKONYI *et al.*, 2007), como também influenciar a mobilidade dos nematoides do solo (ERKTAN; OR; SCHEU, 2020; TREONIS; MARAIS; MAGGS-KÖLLING, 2022).

A disponibilidade de água afeta a atividade microbiana, e os nematoides estão intimamente ligados às comunidades microbianas do solo (FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001; PIRES *et al.*, 2023). Micro-organismos como bactérias e fungos são componentes essenciais do ambiente do solo, e a umidade influencia diretamente sua abundância e diversidade (ISLAM *et al.*, 2020; ZHENG *et al.*, 2019). Em solos mais úmidos, a decomposição da matéria orgânica pode ser mais rápida, resultando em uma maior disponibilidade de nutrientes. No entanto, em condições de solo seco, a decomposição pode ser mais lenta, limitando a quantidade de nutrientes disponíveis para os nematoides (SIERRA *et al.*, 2015).

Foi observada influência do carbono orgânico do solo no gênero *Tylenchorhynchus*. O carbono orgânico desempenha um papel importante na sustentabilidade e na saúde do ecossistema terrestre, sendo um componente essencial da matéria orgânica (LIU *et al.*, 2016). Essa fração orgânica do solo influencia diversos processos, incluindo a retenção de água, a ciclagem de nutrientes e a estrutura do solo favorecendo à saúde das plantas hospedeiras (LI *et al.*, 2018; VOLTR *et al.*, 2021). O carbono orgânico é uma fonte primária de alimento para muitos nematoides do solo. O aumento da disponibilidade de carbono orgânico pode estimular a atividade microbiana, acelerando a decomposição e aumentando a liberação de nutrientes (BU *et al.*, 2020; WITZGALL *et al.*, 2021; YADAV *et al.*, 2021).

A temperatura do solo desempenha um papel significativo na ecologia e nas atividades dos nematoides do solo (SIERRA *et al.*, 2015). Neste estudo, os

gêneros *Paratrichodorus* e *Aphelenchus* foram influenciados positivamente pela temperatura do solo na estação chuvosa. A atividade metabólica dos nematoides está intimamente ligada à temperatura do ambiente, sendo essencial para suas funções vitais como alimentação, reprodução e movimentação (BIEDERMAN; BOUTTON, 2009; LEITÃO *et al.*, 2021; MAJDI *et al.*, 2019; NIELSEN *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Solos com alta CTC geralmente possuem maior disponibilidade de nutrientes essenciais, como cálcio, potássio e magnésio, que desempenham papéis fundamentais na saúde edáfica e nas interações com nematoides (AL-GHAMDI, 2021; RASHIDI; SEILSEPOUR, 2008). Esses nutrientes são essenciais para o desenvolvimento das plantas e para a atividade metabólica dos nematoides, o que pode justificar a correlação positiva, observada nesse estudo da CTC com *Paratrichodorus* e *Trichodorus*, dois parasitos de plantas.

A CE é um parâmetro importante que reflete a capacidade do solo de conduzir eletricidade, indicando a presença e a quantidade de íons dissolvidos na solução do solo (TAVARES *et al.*, 2020). Em solos com altos níveis de CE, a presença excessiva de sais pode criar condições desfavoráveis para alguns nematoides (DE SÁ *et al.*, 2021; NGUYEN *et al.*, 2021), fato que pode explicar a influência negativa dessa variável nos bacteriófagos *Acrobeles* e *Diplogaster*. Além disso, elevados valores de CE podem alterar a disponibilidade de água no solo, afetando a hidratação dos nematoides e sua capacidade de se movimentarem no ambiente (SILVA *et al.*, 2022). A CE do solo também está relacionada à atividade microbiana (RIETZ; HAYNES, 2003). A presença de sais pode afetar a composição e a atividade desses micro-organismos, criando um ambiente propício ou desfavorável para os nematoides, que, muitas vezes, dependem dos microrganismos para obter nutrientes (NGUYEN *et al.*, 2021).

A influência positiva da salinidade do solo sobre os nematoides parasitos de plantas é um fenômeno complexo e, muitas vezes, contraditório, pois a maioria dos organismos, incluindo os próprios nematoides, enfrenta desafios consideráveis em ambientes salinos (DE SÁ *et al.*, 2021; NGUYEN *et al.*, 2021). Neste estudo, os gêneros *Pratylenchus*, *Trichodorus* e *Meloidogyne* prosperaram bem nos ambientes de maior salinidade do solo em ambas as estações. Ray & Das (1980) relataram que diferentes espécies de fitonematoides, a exemplo de *Pratylenchus*, foram tolerantes a condições de solo

ligeiramente salinos, enquanto espécies de *Helicotylenchus* prosperavam bem em solo moderadamente salino. Algumas outras espécies, como *Rotylenchulus* e *Hemicriconemoides*, foram tolerantes a condições fortemente salinas. Em estudo conduzido por de Sá et al. (2021), em área de caatinga salinizada, o único gênero de nematoide parasito de planta encontrado foi *Helicotylenchus*.

## CONCLUSÕES

A complexidade da cadeia alimentar e a pegada metabólica dos onívoros são reduzidas com o aumento da CE do solo, enquanto os gêneros *Pratylenchus*, *Trichodorus* e *Meloidogyne* conseguem prosperar nos ambientes de maior salinidade do solo;

Nas áreas cultivadas com capim elefante ‘BRS Capiaçú’ e palma forrageira ‘Orelha de Elefante Mexicana’, o ambiente encontra-se em estruturação, caracterizado por uma abundância de nematoides em categorias de cp mais baixas (e.g., cp<sub>1</sub> e cp<sub>2</sub>); no entanto, com elevado número de nematoides H<sub>3</sub>;

A área com vegetação preservada, seja na estação chuvosa ou seca, a cadeia alimentar se encontra perturbada ou em fase de maturação;

A maior dissimilaridade, entre as comunidades de nematoides, ocorreu entre as áreas cultivadas com capim elefante ‘BRS Capiaçú’ e palma forrageira ‘Orelha de Elefante Mexicana’ na estação chuvosa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-GHAMDI, A. A. M. Relationship between Nematodes and some Soil Properties in the Rhizosphere of Banana Plants. **International Letters of Natural Sciences**, vol. 82, p. 1–12, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.82.1>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES

GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, no. 6, p. 711–728, 2013. DOI:

<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

- ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, vol. 26, no. 1, p. 32–46, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x>.
- ANDERSON, M. J. Distance-Based Tests for Homogeneity of Multivariate Dispersions. **Biometrics**, vol. 62, no. 1, p. 245–253, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2005.00440.x>.
- BAKONYI, G.; NAGY, P.; KOVÁCS-LÁNG, E.; KOVÁCS, E.; BARABÁS, S.; RÉPÁSI, V.; SERES, A. Soil nematode community structure as affected by temperature and moisture in a temperate semiarid shrubland. **Applied Soil Ecology**, vol. 37, no. 1–2, p. 31–40, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.03.008>.
- BEZZERA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises Químicas e Bioquímicas em Plantas**. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 2011.
- BIEDERMAN, L. A.; BOUTTON, T. W. Biodiversity and trophic structure of soil nematode communities are altered following woody plant invasion of grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 41, no. 9, p. 1943–1950, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.06.019>.
- BOKIJON, M.; HOLISA, E. Nematode population dynamics in arid salinated soil under cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivation in Uzbekistan. **The Asian and Australasian Journal os Plant Science and Biotechnology**, vol. 7, no. 2, p. 64–66, 2013.
- BONGERS, T. The Maturity Index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. **Plant and Soil**, vol. 212, no. 1, p. 13–22, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1004571900425>.
- BONGERS, T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. **Oecologia**, vol. 83, no. 1, p. 14–19, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00324627>.
- BONGERS, T.; BONGERS, M. Functional diversity of nematodes. **Applied Soil Ecology**, vol. 10, no. 3, p. 239–251, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00123-1](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00123-1).
- BONGERS, T.; FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology & Evolution**, vol. 14, no. 6, p. 224–228, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01583-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01583-3).

- BU, R.; REN, T.; LEI, M.; LIU, B.; LI, X.; CONG, R.; ZHANG, Y.; LU, J. Tillage and straw-returning practices effect on soil dissolved organic matter, aggregate fraction and bacteria community under rice-rice-rapeseed rotation system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 287, p. 106681, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106681>.
- CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Australian Journal of Ecology**, vol. 18, no. 1, p. 117–143, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>.
- CPRM. Diagnóstico do município de Tabira, estado de Pernambuco. Recife, 2005.
- DA SILVA, J. V. C. L.; HIRSCHFELD, M. N. C.; CARES, J. E.; ESTEVES, A. M. Land use, soil properties and climate variables influence the nematode communities in the Caatinga dry forest. **Applied Soil Ecology**, vol. 150, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103474>.
- DE SÁ, C. S. B.; SHIOSAKI, R. K.; DOS SANTOS, A. M.; CAMPOS, M. A. S. Salinization causes abrupt reduction in soil nematode abundance in the Caatinga area of the Submedio San Francisco Valley, Brazilian semiarid region. **Pedobiologia**, vol. 85–86, 1 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150729>.
- DIAS-ARIEIRA, C. R.; CECCATO, F. J.; MARINELLI, E. Z.; BOREGIO VECCHI, J. L.; DE OLIVEIRA ARIEIRA, G.; DE MELO SANTANA-GOMES, S. Correlations between nematode numbers, chemical and physical soil properties, and soybean yield under different cropping systems. **Rhizosphere**, vol. 19, p. 100386, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100386>.
- DU PREEZ, G. C.; DANEEL, M. S.; WEPENER, V.; FOURIE, H. Beneficial nematodes as bioindicators of ecosystem health in irrigated soils. **Applied Soil Ecology**, vol. 132, p. 155–168, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.08.008>.
- DU PREEZ, G.; DANEEL, M.; DE GOEDE, R.; DU TOIT, M. J.; FERRIS, H.; FOURIE, H.; GEISEN, S.; KAKOULI-DUARTE, T.; KORTHALS, G.; SÁNCHEZ-MORENO, S.; SCHMIDT, J. H. Nematode-based indices in soil ecology: Application, utility, and future directions. **Soil Biology and**

- Biochemistry**, vol. 169, p. 108640, 2022. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108640>.
- ERKTAN, A.; OR, D.; SCHEU, S. The physical structure of soil: Determinant and consequence of trophic interactions. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 148, p. 107876, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107876>.
- FERRIS, H.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G. M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. **Applied Soil Ecology**, vol. 18, no. 1, p. 13–29, 2001. DOI:  
[https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00152-4).
- FERRIS, Howard. Form and function: Metabolic footprints of nematodes in the soil food web. **European Journal of Soil Biology**, vol. 46, no. 2, p. 97–104, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.01.003>.
- FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, vol. 37, no 12, p. 4302–4315, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.
- GAO, D.; WANG, F.; LI, J.; YU, S.; LI, Z.; ZHAO, J. Soil nematode communities as indicators of soil health in different land use types in tropical area. **Nematology**, vol. 22, no. 6, p. 595–610, 2020. DOI:  
<https://doi.org/10.1163/15685411-00003325>.
- GRISI, B. M. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. **Ciência e Cultura**, vol. 30, no. 1, p. 82–88, 1978.
- HAYASHI, M. The Cold Vadose Zone: Hydrological and Ecological Significance of Frozen-Soil Processes. **Vadose Zone Journal**, vol. 12, no. 4, p. 1–8, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2136/vzj2013.03.0064>.
- HOU, Y.; ZENG, W.; HOU, M.; WANG, Z.; LUO, Y.; LEI, G.; ZHOU, B.; HUANG, J. Responses of the Soil Microbial Community to Salinity Stress in Maize Fields. **Biology**, vol. 10, no. 11, p. 1114, 2021. DOI:  
<https://doi.org/10.3390/biology10111114>.
- ISLAM, W.; NOMAN, A.; NAVEED, H.; HUANG, Z.; CHEN, H. Y. H. Role of environmental factors in shaping the soil microbiome. **Environmental Science and Pollution Research**, vol. 27, no. 33, p. 41225–41247, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10471-2>.

- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, vol. 48, no. 9, p. 692–692, 1964.
- KANG, E.; LI, Y.; ZHANG, X.; YAN, Z.; WU, H.; LI, M.; YAN, L.; ZHANG, K.; WANG, J.; KANG, X. Soil pH and nutrients shape the vertical distribution of microbial communities in an alpine wetland. **Science of The Total Environment**, vol. 774, p. 145780, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145780>.
- KITAGAMI, Y.; KAWAI, K.; EKINO, T. Soil physicochemical properties shape distinct nematode communities in serpentine ecosystems. **Pedobiologia**, vol. 85–86, p. 150725, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150725>.
- LEITÃO, D. A.; PEDROSA, E. M.; DICKSON, D. W.; OLIVEIRA, A. K. S.; ROLIM, M. M. Temperature: a driving factor for migration toward different hosts. **Journal of Nematology**, v. 53, nº 1, p. 1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21307/jofnem-2021-074>.
- LI, X.; WANG, A.; WAN, W.; LUO, X.; ZHENG, L.; HE, G.; HUANG, D.; CHEN, W.; HUANG, Q. High Salinity Inhibits Soil Bacterial Community Mediating Nitrogen Cycling. **Applied and Environmental Microbiology**, vol. 87, no. 21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.01366-21>.
- LI, Y.; HU, S.; CHEN, J.; MÜLLER, K.; LI, Y.; FU, W.; LIN, Z.; WANG, H. Effects of biochar application in forest ecosystems on soil properties and greenhouse gas emissions: a review. **Journal of Soils and Sediments**, vol. 18, no. 2, p. 546–563, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1906-y>.
- LIU, T.; CHEN, X.; HU, F.; RAN, W.; SHEN, Q.; LI, H.; WHALEN, J. K. Carbon-rich organic fertilizers to increase soil biodiversity: Evidence from a meta-analysis of nematode communities. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 232, p. 199–207, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.015>.
- LIU, T.; WU, X.; LI, H.; ALHARBI, H.; WANG, J.; DANG, P.; CHEN, X.; KUZYAKOV, Y.; YAN, W. Soil organic matter, nitrogen and pH driven change in bacterial community following forest conversion. **Forest Ecology and Management**, vol. 477, p. 118473, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118473>.

- LUO, Y.; ZHANG, F.; CHENG, Z.; YANG, L.; YANG, X. Effect of reclamation of abandoned salinized farmland on nematode community in arid northwest China. **Pedobiologia**, vol. 90, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2022.150790>.
- MAJDI, N.; TRAUNSPURGER, W.; FUESER, H.; GANSFORT, B.; LAFFAILLE, P.; MAIRE, A. Effects of a broad range of experimental temperatures on the population growth and body-size of five species of free-living nematodes. **Journal of Thermal Biology**, vol. 80, p. 21–36, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.010>.
- MARANHAO, S. R. V. L.; PEDROSA, E. M. R.; GUIMARAES, L. M. P.; CHAVES, A.; LEITÃO, D. A. H. S.; VICENTE, T.F.S. Nematode abundance and diversity in sugarcane fields in Brazil. **Tropical Plant Pathology**. vol. 43, no. 6, p. 485-498, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0253-x>.
- MARROQUIN, A.; HOLMES, K.; SALAZAR, D. Soil salinization and chemically mediated plant–insect interactions in a changing climate. **Current Opinion in Insect Science**, vol. 60, p. 101130, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2023.101130>.
- MAY, W. F.; MULLIN, P. G.; LYON, H. H.; LOEFFLE, K. **Plant-parasitic nematodes: a pictorial key to genera**. 5th ed. Ithaca: Cornell University Press, 1996.
- MEKETE, T.; DABABAT. A.; SEKORA, N.; AKYAZI, F.; ABEBE, R. **Identification key for agriculturally important plant-parasitic nematodes Prepared for the International Nematode Diagnosis and Identification Course 2012 - A manual for nematology**. México, D. F.: CIMMYT, 2012.
- MOORE, S. R.; LAWRENCE, K. S. The Effect of Soil Texture and Irrigation on *Rotylenchulus reniformis* and Cotton. **Journal of nematology**, vol. 45, no. 2, p. 99–105, 2013.
- NEHER, D. A. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. **Journal of nematology**, vol. 33, no. 4, p. 161–8, 2001.
- NEILSON, R.; CAUL, S.; FRASER, F. C.; KING, D.; MITCHELL, S. M.; ROBERTS, D. M.; GILES, M. E. Microbial community size is a potential predictor of nematode functional group in limed grasslands. **Applied Soil Ecology**, vol. 156, p. 103702, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103702>.

- NGUYEN, V. S.; CHAU, M. K.; VO, Q. M.; LE, V. K.; NGUYEN, T. K. P.; ARAKI, M.; PERRY, R. N.; TRAN, A. D.; DANG, D. M.; TRAN, B. L.; CHOL, G. L.; TOYOTA, K. Impacts of saltwater intrusion on soil nematodes community in alluvial and acid sulfate soils in paddy rice fields in the Vietnamese Mekong Delta. **Ecological Indicators**, vol. 122, p. 107284, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107284>.
- NIELSEN, U. N.; AYRES, E.; WALL, D. H.; LI, G.; BARDGETT, R. D.; WU, T.; GAREY, J. R. Global-scale patterns of assemblage structure of soil nematodes in relation to climate and ecosystem properties. **Global Ecology and Biogeography**, vol. 23, no. 9, p. 968–978, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12177>.
- NISA, R. U.; TANTRAY, A. Y.; KOUSER, N.; ALLIE, K. A.; WANI, S. M.; ALAMRI, S. A.; ALYEMENI, M. N.; WIJAYA, L.; SHAH, A. A. Influence of ecological and edaphic factors on biodiversity of soil nematodes. **Saudi Journal of Biological Sciences**, vol. 28, no. 5, p. 3049–3059, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.046>.
- OKSANEN, J.; SIMPSON, G. L.; BLANCHET, F. G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; SZOECs, E.; WAGNER, H.; BARBOUR, M.; BEDWARD, M.; BOLKER, B.; BORCARD, D.; CARVALHO, G.; CHIRICO, M.; DE CACERES, M.; DURAND, S.; WEEDON, J. *Vegan: Community Ecology Package*. 2022.
- OLIVEIRA, A. K. S.; PEDROSA, E. M. R.; DICKSON, D. W.; SILVIA, J. S. S. O.; VAU, D. A. H. S. L.; SILVA, E. F. F. Migration and penetration of *Meloidogyne enterolobii* and *M. incognita* in soil columns with tomato and marigold. **Eur J Plant Pathol**, v. 158, p. 591–598, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01889-7>.
- OTLEWSKA, A.; MIGLIORE, M.; DYBKA-STĘPIEŃ, K.; MANFREDINI, A.; STRUSZCZYK-ŚWITA, K.; NAPOLI, R.; BIAŁKOWSKA, A.; CANFORA, L.; PINZARI, F. When Salt Meddles Between Plant, Soil, and Microorganisms. **Frontiers in Plant Science**, vol. 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.553087>.
- PEN-MOURATOV, S.; BARNES, G.; STEINBERGER, Y. Effect of desert plant ecophysiological adaptation on soil nematode communities. **European**

- Journal of Soil Biology**, vol. 44, no. 3, p. 298–308, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.03.005>.
- PIRES, D.; ORLANDO, V.; COLLETT, R. L.; MOREIRA, D.; COSTA, S. R.; INÁCIO, M. L. Linking Nematode Communities and Soil Health under Climate Change. **Sustainability**, vol. 15, no. 15, p. 11747, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151511747>.
- POAGE, M. A.; BARRETT, J. E.; VIRGINIA, R. A.; WALL, D. H. The influence of soil geochemistry on nematode distribution, Mcmurdo Dry Valleys, Antarctica. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, vol. 40, no. 1, p. 119–128, 2008. DOI: [https://doi.org/10.1657/1523-0430\(06-051\)\[POAGE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1657/1523-0430(06-051)[POAGE]2.0.CO;2).
- POTHULA, S. K.; GREWAL, P. S.; AUGÉ, R. M.; SAXTON, A. M.; BERNARD, E. C. Agricultural intensification and urbanization negatively impact soil nematode richness and abundance: a meta-analysis. **Journal of Nematology**, vol. 51, no. 1, p. 1–17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21307/jofnem-2019-011>.
- R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING. R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, 2021.
- RASHIDI, M.; SEILSEPOUR, M. Modeling of soil cation exchange capacity based on Soil organic carbon. **ARPN Journal of Agricultural and Biological Science**, vol. 3, no. 4, p. 41–45, 2008.
- RAY, S.; DAS, S. N. Nematodes of saline soils in Orissa, India. **Indian Journal of Nematology**, vol. 10, no. 2, p. 231–235, 1980.
- RIETZ, D. N.; HAYNES, R. J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 35, no. 6, p. 845–854, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00125-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00125-1).
- ŠALAMÚN, P.; KUCANOVÁ, E.; BRÁZOVÁ, T.; MIKLISOVÁ, D.; RENČO, M.; HANZELOVÁ, V. Diversity and food web structure of nematode communities under high soil salinity and alkaline pH. **Ecotoxicology**, vol. 23, no. 8, p. 1367–1376, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1278-7>.
- SÁNCHEZ-MORENO, S.; FERRIS, H. Nematode ecology and soil health. *In*: SIKORA, R.; COYNE, D.; HALLMANN, J.; TIMPER, P. (eds.). **Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture**. Wallingford: CAB International, 2018. p. 62–86.

- SAYRE, J. M.; WANG, D.; LIN, J. Y.; DANIELSON, R. E.; SCOW, K. M.; MAZZA RODRIGUES, J. L. Repeated manure inputs to a forage production soil increase microbial biomass and diversity and select for lower abundance genera. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 354, p. 108567, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108567>.
- SCHOLES, R. J. The Future of Semi-Arid Regions: A Weak Fabric Unravels. **Climate**, vol. 8, no. 3, p. 43, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli8030043>.
- SIERRA, C. A.; TRUMBORE, S. E.; DAVIDSON, E. A.; VICCA, S.; JANSSENS, I. Sensitivity of decomposition rates of soil organic matter with respect to simultaneous changes in temperature and moisture. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, vol. 7, no. 1, p. 335–356, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014MS000358>.
- SILVA, I. A. C. E.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, E. F. D. F. E.; ROLIM, M. M.; VICENTE, T. F. D. S. Motility and migration of nematodes in saline environments. **Revista Caatinga**, vol. 35, no. 4, p. 865–876, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n414rc>.
- SINGH, A. Soil salinity: A global threat to sustainable development. **Soil Use and Management**, vol. 38, no. 1, p. 39–67, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12772>.
- STAVI, I.; THEVS, N.; PRIORI, S. Soil Salinity and Sodicity in Drylands: A Review of Causes, Effects, Monitoring, and Restoration Measures. **Frontiers in Environmental Science**, vol. 9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>.
- SUDENE. **Delimitação do Semiárido - 2021**. Recife: [s. n.], 2021.
- TAHAT, M. M.; ALANANBEH, K. M.; OTHMAN, Y. A.; LESKOVAR, D. I. Soil Health and Sustainable Agriculture. **Sustainability**, vol. 12, no. 12, p. 4859, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12124859>.
- TARJAN, A. C.; ESSER, R. P.; CHANG, S. L. An Illustrated Key to Nematodes Found in Fresh Water. **Journal (Water Pollution Control Federation)**, vol. 49, no. 11, p. 2318–2337, 1977.
- TAVARES, R. G.; GUSMÃO, A. C. S.; SILVA, R. de S. O.; SILVA, G. F. do M.; ANDRADE, P. K. B.; ROCHA, E. A. Alteração físico-química da água para consumo humano após uso de filtros domésticos. **Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology**, vol. 6, no. 1, p. 58–63, 2020.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.

**Manual de métodos de análise de solos**. 3rd ed. Brasília: Embrapa, 2017.

TREONIS, A. M.; MARAIS, E.; MAGGS-KÖLLING, G. Nematode communities indicate diverse soil functioning across a fog gradient in the Namib Desert gravel plains. **Ecology and Evolution**, vol. 12, no. 6, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.9013>.

VIDA, C.; DE VICENTE, A.; CAZORLA, F. M. The role of organic amendments to soil for crop protection: Induction of suppression of soilborne pathogens. **Annals of Applied Biology**, vol. 176, no. 1, p. 1–15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/aab.12555>.

VOLTR, V.; MENŠÍK, L.; HLISNIKOVSÝ, L.; HRUŠKA, M.; POKORNÝ, E.; POSPÍŠILOVÁ, L. The Soil Organic Matter in Connection with Soil Properties and Soil Inputs. **Agronomy**, vol. 11, no. 4, p. 779, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11040779>.

WITZGALL, K.; VIDAL, A.; SCHUBERT, D. I.; HÖSCHEN, C.; SCHWEIZER, S. A.; BUEGGER, F.; POUTEAU, V.; CHENU, C.; MUELLER, C. W. Particulate organic matter as a functional soil component for persistent soil organic carbon. **Nature Communications**, vol. 12, no. 1, p. 4115, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24192-8>.

WU, Y. P.; ZHANG, Y.; BI, Y. M.; SUN, Z. J. Biodiversity in Saline and Non-Saline Soils Along the Bohai Sea Coast, China. **Pedosphere**, vol. 25, no. 2, p. 307–315, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60015-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60015-7).

YADAV, A. N.; KOUR, D.; KAUR, T.; DEVI, R.; YADAV, A.; DIKILITAS, M.; ABDEL-AZEEM, A. M.; AHLUWALIA, A. S.; SAXENA, A. K. Biodiversity, and biotechnological contribution of beneficial soil microbiomes for nutrient cycling, plant growth improvement and nutrient uptake. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, vol. 33, p. 102009, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102009>.

YANARDAĞ, I. H.; ZORNOZA, R.; BASTIDA, F.; BÜYÜKKILIÇ-YANARDAĞ, A.; GARCÍA, C.; FAZ, A.; MERMUT, A. R. Native soil organic matter conditions the response of microbial communities to organic inputs with different stability. **Geoderma**, vol. 295, p. 1–9, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.008>.

- YANG, J.; WU, X.; CHEN, Y.; YANG, Z.; LIU, J.; WU, D.; WANG, D. Combined attributes of soil nematode communities as indicators of grassland degradation. **Ecological Indicators**, vol. 131, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108215>.
- YANG, L.; ZHANG, F.; LUO, Y. A soil nematode community response to reclamation of salinized abandoned farmland. **Zoological Studies**, vol. 60, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6620/ZS.2021.60-72>.
- YEATES, G W; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G.; FRECKMAN, D. W.; GEORGIEVA, S. S. Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists. **Journal of nematology**, vol. 25, no. 3, p. 315–31, 1993.
- YEATES, Gregor W. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. **Biology and Fertility of Soils**, vol. 37, no. 4, p. 199–210, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0586-5>.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, vol. 19, no. 13, p. 1467–1476, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>.
- ZHANG, G.; BAI, J.; ZHAI, Y.; JIA, J.; ZHAO, Q.; WANG, W.; HU, X. Microbial diversity and functions in saline soils: A review from a biogeochemical perspective. **Journal of Advanced Research**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.06.015>.
- ZHENG, Q.; HU, Y.; ZHANG, S.; NOLL, L.; BÖCKLE, T.; DIETRICH, M.; HERBOLD, C. W.; EICHORST, S. A.; WOEBKEN, D.; RICHTER, A.; WANEK, W. Soil multifunctionality is affected by the soil environment and by microbial community composition and diversity. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 136, p. 107521, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107521>.

**CAPÍTULO IV: VARIAÇÃO TEMPORAL DAS COMUNIDADES DE  
NEMATOIDES EM SOLOS SALINOS NO SEMIÁRIDO**

## **Variação temporal das comunidades de nematoides em solos salinos no Semiárido**

**RESUMO:** As mudanças sazonais na umidade, temperatura e salinidade do solo afetam a diversidade e abundância de nematoides no solo, mas pouco se conhece sobre a dinâmica temporal dessas relações no Semiárido brasileiro. Nesse sentido, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar as variações temporais das propriedades do solo e da comunidade de nematoides em solos salinos em condições semiáridas. O estudo foi realizado no município de Tabira, Pernambuco, em cinco áreas de produção agrícola: i) cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), ii) palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*), iii) capim elefante (*Pennisetum purpureum*), iv) capim elefante 'BRS Capiçu', v) canteiros cultivados com diferentes hortaliças e vi) área com vegetação preservada de Caatinga. As avaliações fundamentaram-se nas análises físicas (temperatura do solo, umidade), químicas (pH, carbono orgânico e condutividade elétrica) e nematológicas de amostras (n = 168) de solo coletadas bimensalmente em cada área. Os dados foram submetidos à análise de variância para o estudo das variações em cada área isoladamente e, havendo significância, foi realizado o ajuste das regressões ao longo do tempo. Além disso, foi feita a análise de correlação de Pearson entre as propriedades do solo e as comunidades de nematoides. A temperatura do solo, umidade, pH, carbono orgânico e condutividade elétrica correlacionaram-se significativamente com as comunidades de nematoides do solo. Contudo, não ocorreram variações significativas nas comunidades dos nematoides (parasitos de plantas e de vida livre) ao longo do tempo, nas áreas em estudo. Nas áreas de maior salinidade do solo (e.g., capim elefante 'BRS Capiçu' e nos canteiros), o número de parasitos de planta foi superior ao número de nematoides de vida livre, sugerindo que os parasitos de plantas são menos sensíveis à alta salinidade do solo do que os de vida livre, principalmente bacteriófagos e predadores.

**Palavras-chave:** Biodiversidade, Caatinga, Condutividade elétrica, Dinâmica populacional, Qualidade de solo

## Temporal pattern of nematode communities under saline soils in Semi-arid drylands

**ABSTRACT:** Seasonal changes in soil moisture, temperature and salinity affect the diversity and abundance of soil-inhabiting nematodes, however little is known about the temporal dynamics of these relationships in the Brazilian semi-arid region. The objective of the study was to evaluate temporal fluctuations of nematode communities in saline soils in semi-arid conditions. The study was carried out in the municipality of Tabira, state of Pernambuco, Brazil, in five areas of agricultural production: i) sugarcane (*Saccharum* spp.), ii) forage palm 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*), iii) elephant grass (*Pennisetum purpureum*), iv) elephant 'BRS Capiaçú' v) beds cultivated with different vegetables and vi) an area with preserved Caatinga vegetation. Evaluations were based on physical (soil temperature, moisture), chemical (pH, organic carbon, and electrical conductivity) and nematode analyses of soil samples (n=168) collected bimonthly in each area. The data were subjected to an analysis of variance to study variations over time in each area separately and, if significant, regression analysis was performed. Furthermore, Pearson correlation analysis was carried out between soil properties and nematode communities. Soil temperature, moisture, pH, organic carbon, and electrical conductivity were significantly correlated with soil nematode communities. However, there were no significant variations in nematode communities (plant and free-living parasites) over time in the studied areas. In areas with higher soil salinity (e.g., elephant grass 'BRS Capiaçú' and beds), the number of plant-parasitic nematodes was higher than the number of free-living nematodes, suggesting that the former are able to withstand conditions of higher soil salinity than the latter, especially bacterivores and predators.

**Keywords:** Biodiversity, Caatinga, Electrical conductivity, Population dynamics, Soil quality

## INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro, região caracterizada por condições climáticas extremas e recursos hídricos limitados, enfrenta desafios consideráveis para a

manutenção da biodiversidade e sustentabilidade dos ecossistemas locais (SILVA *et al.*, 2010). A salinidade é uma variável determinante dentre os fatores ambientais que desempenham um papel crítico nesse contexto, influenciando diretamente as comunidades biológicas, com implicações profundas na diversidade e estrutura da cadeia alimentar, particularmente, no que se refere aos nematoides, organismos microscópicos essenciais para a saúde do solo (CASTRO; SANTOS, 2020; GUAN *et al.*, 2018; RATH *et al.*, 2019).

A variação temporal da salinidade do solo em áreas sob condições semiáridas é uma faceta dinâmica e complexa desse ambiente (ZHU *et al.*, 2023). As mudanças sazonais, padrões de precipitação e práticas agrícolas podem desencadear flutuações significativas nos níveis de salinidade, criando um ambiente desafiador para a adaptação das comunidades biológicas (CORWIN, 2021; HASSANI; AZAPAGIC; SHOKRI, 2020). Os nematoides, por sua vez, representam uma peça fundamental nesse “quebra-cabeça” ecológico, desempenhando papéis diversos que vão desde predadores até decompositores, contribuindo diretamente para a funcionalidade do solo (SÁNCHEZ-MORENO & FERRIS, 2018; YEATES *et al.*, 1993).

A diversidade de nematoides, refletindo a variedade de espécies e suas adaptações específicas, é um indicador crucial da saúde e resiliência do solo (BONGERS; FERRIS, 1999; FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001; SÁNCHEZ-MORENO; FERRIS, 2018). A variação temporal da salinidade pode desencadear mudanças na composição e abundância das espécies de nematoides, afetando diretamente a biodiversidade do solo (WU *et al.*, 2015). Espécies mais sensíveis podem declinar em ambientes salinos, enquanto aquelas adaptadas ou tolerantes podem prosperar, ocasionando um desequilíbrio nas interações tróficas e na dinâmica populacional, repercutindo na estrutura da cadeia alimentar (ŠALAMÚN *et al.*, 2014; DE SÁ *et al.*, 2021; NGUYEN *et al.*, 2021).

A cadeia alimentar das comunidades de nematoides no Semiárido é complexa e sensível às variações temporais da salinidade (PEN-MOURATOV; BARNES; STEINBERGER, 2008; PIRES *et al.*, 2023). Nematoides bacteriófagos, por exemplo, que desempenham um papel fundamental na regulação das populações bacterianas, podem ser afetados pela disponibilidade de água e concentrações salinas no solo (YAN *et al.*, 2018). Por outro lado,

nematoides predadores, essenciais para o controle de outras populações de nematoides e microfauna do solo, podem experimentar desafios adaptativos diante de mudanças na salinidade (FRANCO *et al.*, 2019).

Além disso, a variação temporal da salinidade também pode influenciar a disponibilidade de recursos alimentares para os nematoides (YONG-ZHONG *et al.*, 2012). A atividade microbiana, muitas vezes relacionada à decomposição da matéria orgânica, pode ser impactada pela salinidade, alterando a quantidade e a qualidade dos recursos disponíveis para diferentes grupos de nematoides (ZHANG *et al.*, 2019) que, por sua vez, modifica as relações tróficas e a eficiência da transferência de energia ao longo da cadeia alimentar (YAN *et al.*, 2015; YUAN *et al.*, 2007). O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações das propriedades do solo e a dinâmica temporal na estrutura das comunidades de nematoides em solos salinos no Semiárido brasileiro, ao longo de um ano.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área do estudo**

O estudo foi desenvolvido em seis áreas, cinco de produção agrícola e uma de vegetação nativa preservada de Caatinga, localizadas no município de Tabira, Estado de Pernambuco, inserido nos limites do Semiárido brasileiro (SUDENE, 2021) (Figura 1). O clima da região é 'BSh', segundo classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), caracterizado como semiárido seco, com temperatura e precipitações médias anuais de 27 °C e 806 mm. A vegetação local foi classificada como Caatinga hiperxerófila (CPRM, 2005).

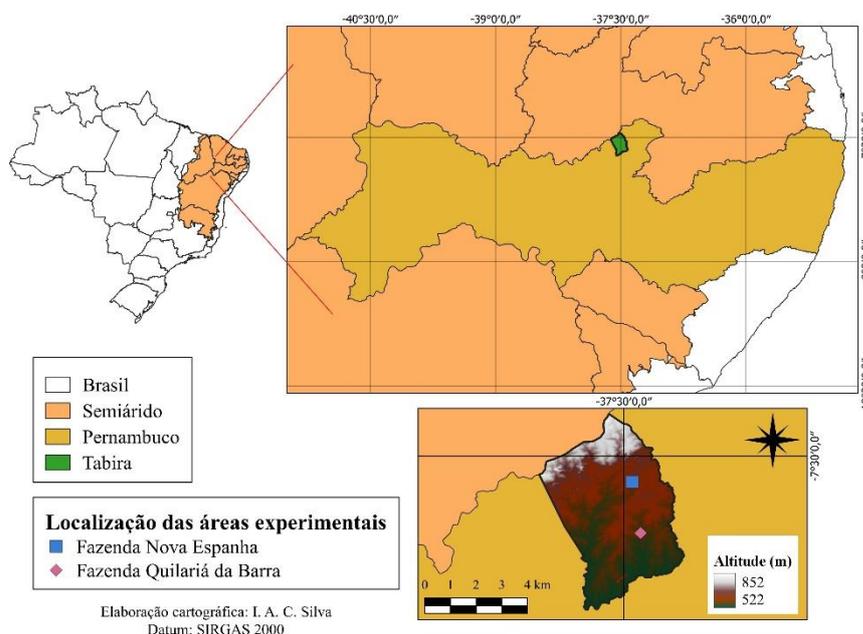


Figura 1. Localização da região semiárida do Brasil e estado de Pernambuco. Fazendas Nova Espanha e Quilariá da Barra localizadas no município de Tabira, Pernambuco.

As áreas de produção agrícola estão localizadas na comunidade rural Campos Novos, na Fazenda Agroecológica Quilariá da Barra, situada entre as coordenadas 7°36'34" latitude sul e 37°28'35" longitude oeste, com altitude de 575 m (Figura 1). As áreas de produção correspondem a: cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*), capim elefante (*Pennisetum purpureum*), capim elefante 'BRS Capiaçú' e canteiros produzindo diferentes hortaliças (Figura 2B a 2F). Todas as culturas foram implantadas nas áreas de produção há três anos. Antes da utilização das respectivas áreas, para a produção agrícola, as mesmas eram utilizadas para o pastoreio do gado que, ocorreu por mais de 10 anos.

Todas as áreas estudadas foram irrigadas, com exceção da área cultivada com palma forrageira. A irrigação era realizada com água proveniente de poço artesiano da própria fazenda, apenas, no período de estiagem, sendo realizada por meio de irrigação localizada, em que, o sistema era acionado por 40 minutos uma vez por semana, com exceção dos canteiros com hortaliças, em que a irrigação era realizada, em duas aplicações de 40 minutos, diariamente. A adubação realizada nas áreas era proveniente de esterco bovino produzido na propriedade e, além disso, era feita a adição de material vegetal ao solo, em

decorrência da capina do mato existente no local em função do manejo agroecológico adotado pela propriedade.

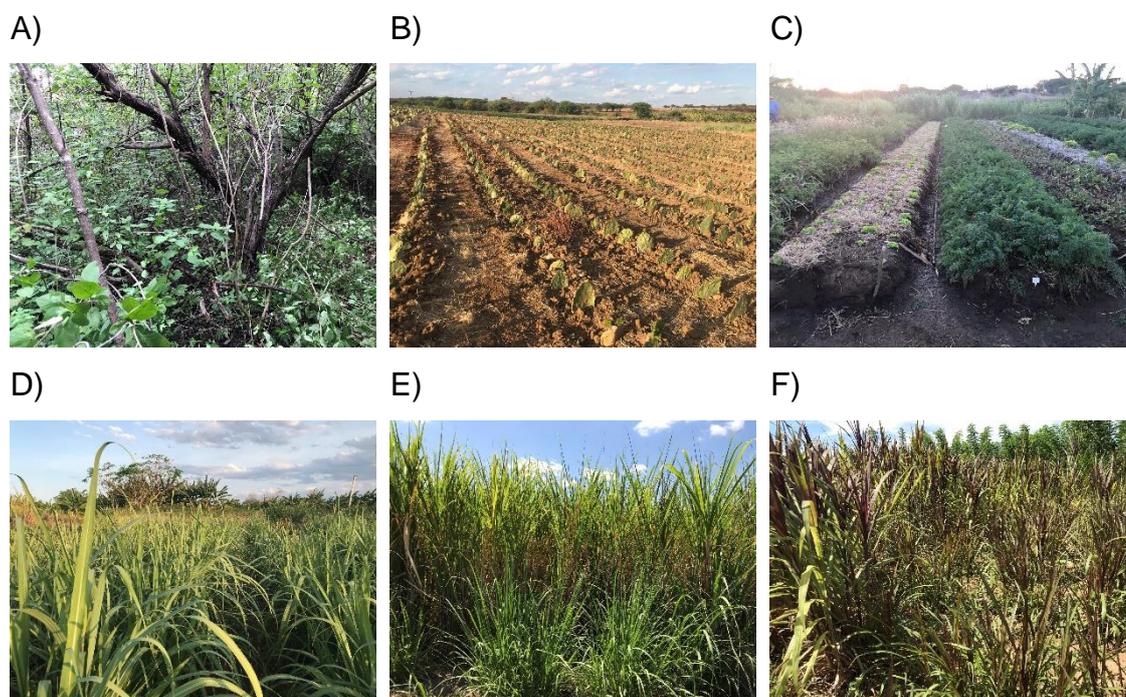


Figura 2. Área de vegetação nativa (A) e áreas cultivadas com palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana' (*Opuntia stricta*) (B), hortaliças (C), cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) (D), capim elefante (*Pennisetum purpureum*) (E) e capim elefante 'BRS Capiáçu' (F).

A área de vegetação nativa está localizada na comunidade rural Nova Espanha, situada a 7°32'12" latitude sul e 37°29'18" longitude oeste, altitude 608 m (Figura 1). A vegetação encontrada nessa área não apresenta histórico de supressão, ou seja, nunca foi substituída por produção agrícola ou outra atividade (Figura 2A). As espécies vegetais mais frequentes encontradas na área foram: *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Jurema preta), *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz (Catingueira), *Amburana cearenses* (Allemão) A. C. Smith (Amburana), *Ziziphus joazeiro* Mart. (Juazeiro), *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan. (Angico), *Tacinga inamoena* (K. Schum.) N. P. Taylor & Stuppy (Quipá), *Senna spectabilis* (DC.) H. S. Irwin & Barneby (Canafístula), *Bromelia laciniosa* Mart. Ex Schultez f. (Macambira), *Wissadula* sp. (Malva branca), *Pilosocereus pachycladus* (Facheiro), *Melocactus zehntneri* (Coroa de frade),

*Cereus jamacaru* P. DC. (Mandacaru), *Erythrina velutina* Willd. (Mulungu) e outras espécies das famílias Cactaceae e Urticaceae.

As áreas foram selecionadas com base em visitas técnicas realizadas previamente à fazenda Quilariá da Barra e a fazenda Nova Espanha, na estação seca do ano, em que foi coletado amostras de solo para verificar a condutividade elétrica (CE) das mesmas, que variaram de 0,25 a 12,59 dS.m<sup>-1</sup>, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Condutividade elétrica média das áreas selecionadas previamente para a condução do experimento, no município de Tabira, Pernambuco, Brasil.

Áreas						
	Caatinga	Palma forrageira	Cana-de-açúcar	Capim Elefante	Canteiros	BRS Capiáçu
CE						
Média (dS.m <sup>-1</sup> )	0,253	0,674	3,55	10,43	11,45	12,59

### Amostragem do solo

As coletas foram realizadas por meio de amostras indeformadas e deformadas de solo na camada correspondente a 0,10 – 0,30 m, com auxílio de um cavador e enxadeco. As mesmas foram realizadas a cada dois meses (60 dias), entre os anos de 2022 e 2023, conforme caracterização dos parâmetros climáticos locais (Figura 3). As coletas foram realizadas nos seguintes períodos: março (2022 – tempo zero), maio (2022 – tempo 60), julho (2022 – tempo 120), setembro (2022 – tempo 180), novembro (2022 – tempo 240), janeiro (2023 – tempo 300) e março (2023 – tempo 360), totalizando sete períodos amostrais. Foram coletadas quatro amostras de solo, por área, com aproximadamente 2 kg, totalizando 28 amostras após as sete coletas em cada área e 168 no total. As amostras foram coletadas em pontos fixos, que foram identificados com piquetes e georreferenciados com GPS nas diferentes áreas.

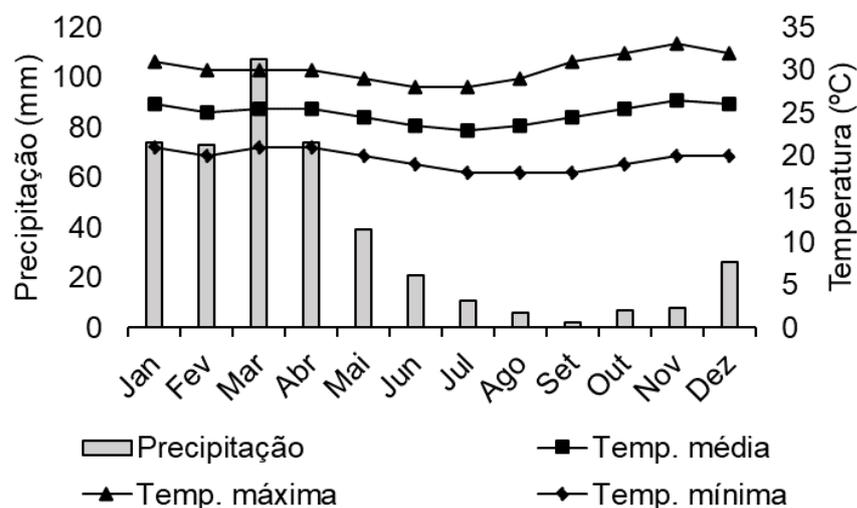


Figura 3. Precipitação média e temperaturas máximas, mínimas e médias mensais do município de Tabira, Pernambuco, Brasil.

O solo coletado de cada amostra foi armazenado em sacos plásticos individuais, identificados e vedados, os quais foram encaminhados à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus sede, localizada em Recife, Pernambuco, Brasil. Uma fração do solo das amostras foi colocada para secar ao ar, em seguida, destorroado e peneirado (20 mesh) para obtenção da terra fina seca ao ar e posterior realização das análises físicas e químicas do solo. Para a análise da nematofauna, as amostras foram mantidas em ambiente refrigerado a 4 °C até a extração dos nematoides do solo.

### Análises físicas e químicas do solo

A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico, enquanto as frações granulométricas, para a caracterização das áreas (Tabela 2), foram determinadas pelo método do densímetro de Boyoucos (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A temperatura do solo foi aferida no momento da coleta do solo, em cada ponto amostral, com auxílio de um termômetro digital do tipo espeto.

Tabela 2. Caracterização textural das áreas de produção agrícola e de vegetação nativa de Caatinga.

Área	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	g.kg <sup>-1</sup>			
Palma	689,5	180,5	130,0	Franco arenoso
Cana-de-açúcar	694,0	223,5	82,5	Franco arenoso
Capim elefante	771,1	176,4	52,5	Areia franca

BRS Capiaçú	701,6	231,0	67,5	Franco arenoso
Canteiros	686,5	278,6	35,0	Franco arenoso
Caatinga	668,1	166,9	165,0	Franco arenoso

Para as análises químicas, foi determinada a condutividade elétrica (CE), a partir do extrato de saturação do solo amostrado, com condutímetro de bancada (Teixeira *et al.*, 2017). O potencial hidrogeniônico (pH) do solo foi aferido em água (1:25) com auxílio de um peagâmetro (Teixeira *et al.*, 2017). O teor de carbono orgânico do solo (CO) foi determinado pela metodologia de Yeomans & Bremner (1988), por meio da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico.

### **Extração dos nematoides do solo**

As amostras de solo foram homogeneizadas e processadas com auxílio de duas peneiras (60 e 400 mesh) para a extração dos nematoides, a partir de 300 cm<sup>3</sup> de solo, utilizando o método da flotação centrífuga com solução de sacarose (JENKINS, 1964). As suspensões de nematoides obtidas foram mantidas em refrigeração (4 a 6 °C) por no máximo três dias, até a identificação e contagem das amostras. A densidade populacional dos nematoides do solo foi estimada por meio de uma alíquota de 1 ml na lâmina de Peters, sob microscópio óptico em objetiva de 40 ou 100 x, em duas repetições, através da contagem do número de espécimes em cada alíquota.

### **Estrutura e composição da comunidade de nematoides**

Com base nas características morfológicas do estoma e esôfago, os nematoides foram classificados e separados em diferentes grupos tróficos segundo os seus hábitos alimentares em: parasitos de plantas, bacteriófagos, micófagos, onívoros e predadores (YEATES *et al.*, 1993). Após isso, foi contabilizado o número total de nematoides de vida livre (VL = bacteriófagos + micófagos + onívoros + predadores) e o número total de nematoides (parasitos de plantas + bacteriófagos + micófagos + onívoros + predadores).

Os nematoides parasitos de plantas foram identificados a nível de gênero (MAY *et al.*, 1996; MEKETE *et al.*, 2012) e os nematoides de vida livre, a nível de família ou gênero (TARJAN; ESSER; CHANG, 1977). A abundância média dos nematoides foi computada em número de espécimens por 300 cm<sup>3</sup> de solo.

### **Análise estatística**

Os dados das comunidades de nematoides foram transformados para  $\log(x + 1)$  e  $\sqrt{x + 1}$  para atender os pressupostos da normalidade. Em seguida foi realizada a análise de variância para estudo das variações ao longo do tempo em cada área isoladamente. Nos casos em que houve significância, foi realizado o ajuste das regressões. Por fim, foi feita a análise de correlação de Pearson entre as propriedades do solo e as comunidades de nematoides. As análises foram realizadas com o auxílio do software R versão 4.1.2 (R Core Team, 2021).

### **RESULTADOS**

Houve variações significativas, ao longo do tempo, para a temperatura em todas as áreas ( $p < 0,01$ ), com exceção da área cultivada com capim elefante 'BRS Capiáçu' ( $p = 0,145$ ). Durante o período do estudo, a temperatura do solo variou de 26,5 °C na área de Caatinga no início do período experimental a 32,9 °C aos 240 dias na área cultivada com cana-de-açúcar. As menores temperaturas do solo foram registradas no início e no final do período de avaliação (26,5 – 28,5 °C) na área de Caatinga e nos canteiros, respectivamente. Já as maiores temperaturas foram observadas entre os meses de novembro 2022 (aos 240 dias) a janeiro 2023 (300 dias) (32,4 – 32,9 °C) nas áreas cultivadas com capim elefante e cana-de-açúcar (Figura 4A).

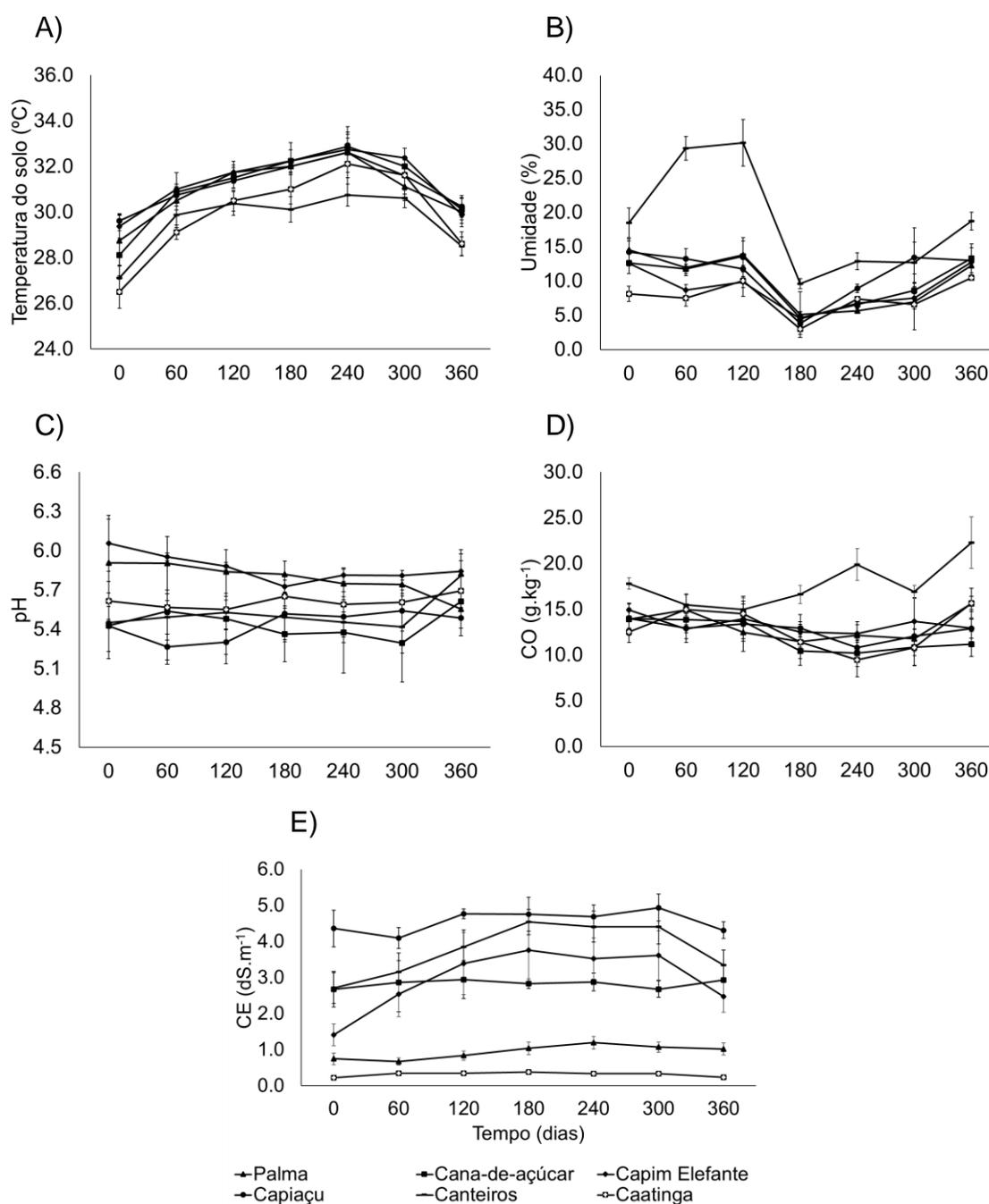


Figura 4. Variação temporal da temperatura (A), umidade (B), pH (C), carbono orgânico (D) e condutividade elétrica (E) do solo em áreas cultivadas e de vegetação nativa.

A umidade do solo variou, significativamente, em todas as áreas avaliadas ao longo do tempo ( $p < 0,05$ ). O teor de umidade do solo, durante todo o período de avaliação, foi superior na área dos canteiros, atingindo valores máximos de 29,4 e 30,1% nos meses de maio (120 dias) e julho (180 dias) de 2022 (Figura 4B). No mês de setembro 2022 (180 dias), a umidade do solo foi a menor durante

o período experimental em todas as áreas analisadas, sendo na Caatinga, registrada a menor umidade, correspondendo a 3,0% (Figura 4B).

Não foram encontradas variações significativas do pH do solo, ao longo do tempo, nas áreas avaliadas ( $0,05 < p$ ). Contudo, o pH do solo variou de 6,1 na área de capim elefante, no início experimental, a 5,3 nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar e capim elefante 'BRS Capiacu' aos 60 e 120 dias (Figura 4C).

O carbono orgânico do solo variou significativamente, ao longo do tempo, na área dos canteiros ( $p = 0,032$ ) e na Caatinga preservada ( $p = 0,045$ ). O carbono orgânico foi maior na área dos canteiros, variando de 15 a 22,7 g.kg<sup>-1</sup> em todos os períodos avaliados (Figura 4D). O menor teor do carbono orgânico foi observado aos 240 dias após o início das coletas, na área de Caatinga, correspondendo a 9,5 g.kg<sup>-1</sup> (Figura 4D).

Houve variações significativas, ao longo do tempo, da CE do solo na área dos canteiros ( $p = 0,029$ ) e na área de Caatinga ( $p < 0,01$ ). A área cultivada com capim elefante 'BRS Capiacu' apresentou os maiores valores de CE, durante todo o período de coleta, variando entre 4,1 dS.m<sup>-1</sup> no mês de maio de 2022 a 4,9 dS.m<sup>-1</sup> em janeiro de 2023 (Figura 4E). Na área cultivada com palma forrageira e naquela mantida com vegetação nativa, encontramos os menores valores de CE do solo em todo o período de avaliação. O menor valor de CE (0,2 dS.m<sup>-1</sup>) foi observado no mês de março dos anos de 2022 e 2023 na área de vegetação nativa (Figura 4E).

Em 168 amostras de solo, foram identificados 63.674 nematoides, distribuídos em oito parasitos de plantas, cinco bacteriófagos, dois micófagos, cinco onívoros e um predador, totalizando 19 gêneros e duas famílias (Tabela 3). Mais de 60% da abundância total dos nematoides compreendeu dois gêneros parasitos de planta, *Helicotylenchus* (34,2%) e *Pratylenchus* (26,5%). *Rotylenchulus* foi detectado apenas na área de canteiros, enquanto gêneros como *Criconemoides*, *Trichodorus* e *Tylenchorhynchus* não foram detectados na mesma área. O gênero *Criconemoides* não foi encontrado na área de capim elefante 'BRS Capiacu'. Quanto aos nematoides de vida livre, na área cultivada com capim elefante 'BRS Capiacu' os taxa *Cephalobus*, *Mesodorylaimus* e Monochidae também não foram observados. *Cephalobus* e Monochidae não foram encontrados na área cultivada com cana-de-açúcar e *Cephalobus* também não foi detectado na área de Caatinga preservada (Tabela 3).

Tabela 3. Abundância média dos gêneros e famílias de nematoides coletadas em áreas de produção agrícola e em área de Caatinga preservada em diferentes épocas do ano.

Área	Tempo (dias)	Crico	Heli	Para	Prat	Tric	Tyle	Tylen	Roty	Acro	Pana	Ceph	Pris	Rhab	Aphe	Aphel	Meso	Prod	Thor	Eudo	Labro	Mono	
		Abundância média																					
PF	0	0,0	295,5	0,0	263,5	9,5	0,0	0,0	0,0	13,0	23,0	0,0	4,0	73,5	10,5	9,0	10,5	0,0	14,5	0,0	19,5	0,0	
CA		30,0	556,0	0,0	351,0	4,8	89,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	60,5	15,3	9,5	0,0	20,0	0,0	0,0	20,0	0,0	
CE		5,5	496,5	5,5	469,5	4,5	31,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,5	0,0	29,0	57,0	0,0	25,5	0,0	15,0	15,5	0,0	20,0	0,0
CEC		0,0	944,5	0,0	737,0	10,0	76,5	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	0,0	0,0	43,5	10,8	10,5	0,0	10,5	10,8	10,3	10,5	0,0
CAN		0,0	167,8	4,0	346,0	0,0	0,0	0,0	0,0	640,5	231,3	211,5	57,5	0,0	34,5	8,8	9,5	17,8	23,3	9,5	22,3	13,5	8,3
CP		116,0	58,5	0,0	105,8	0,0	20,3	0,0	0,0	0,0	102,2	22,8	0,0	29,5	88,0	6,8	17,8	11,8	12,8	10,0	11,0	6,8	17,8
PF	60	0,0	453,8	0,0	33,5	0,0	0,0	0,0	0,0	41,5	0,0	0,0	35,8	92,5	9,3	0,0	9,3	10,0	10,8	10,8	15,0	0,0	
CA		33,0	441,5	0,0	571,8	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,3	0,0	0,0	0,0	70,3	16,0	0,0	0,0	11,3	11,8	6,3	10,5	0,0
CE		6,3	558,8	0,0	486,8	44,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	21,0	46,3	17,0	0,0	0,0	0,0	21,0	12,5	8,5	0,0
CEC		0,0	563,8	135,0	582,8	200,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	5,0	0,0	15,8	21,5	0,0	22,3	0,0	21,0	0,0	10,3	5,0	0,0
CAN		0,0	332,5	0,0	402,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1010,5	172,0	147,5	0,0	11,5	337,0	17,5	0,0	26,0	25,8	11,3	32,0	5,8	5,8
CP		36,0	120,5	18,0	93,3	12,5	11,0	0,0	0,0	0,0	64,3	18,8	0,0	12,5	130,8	14,0	7,5	18,8	5,5	11,0	11,8	11,8	12,5
PF	120	0,0	244,8	0,0	244,8	9,8	50,0	0,0	0,0	55,0	0,0	0,0	25,3	43,5	7,0	11,0	0,0	9,5	10,0	5,0	15,0	0,0	
CA		0,0	890,0	0,0	75,8	0,0	159,3	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	4,0	31,0	0,0	18,5	8,3	0,0	8,8	4,5	13,5	0,0
CE		8,0	559,3	4,0	598,3	16,3	18,0	4,3	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	17,5	21,0	9,0	0,0	4,3	8,5	0,0	16,8	0,0	
CEC		0,0	701,3	0,0	563,0	7,5	4,3	25,0	0,0	0,0	17,3	0,0	0,0	9,3	4,3	5,0	8,0	0,0	8,8	4,3	4,3	8,0	0,0
CAN		0,0	285,5	0,0	580,5	0,0	0,0	0,0	0,0	716,0	94,8	97,5	136,0	0,0	332,8	9,8	9,5	29,8	15,0	4,8	10,0	18,8	14,5
CP		39,8	49,3	15,0	182,5	10,0	20,0	0,0	0,0	0,0	87,0	20,0	0,0	39,8	82,0	9,3	13,5	15,0	5,0	15,0	9,3	15,0	9,3
PF	180	5,0	939,8	0,0	5,0	0,0	10,0	0,0	0,0	98,3	0,0	0,0	0,0	124,0	0,0	10,5	8,3	5,0	0,0	15,5	12,5	0,0	
CA		0,0	2232,5	11,5	196,5	5,8	17,8	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	34,5	5,8	5,8	23,5	0,0	0,0	16,5	0,0	0,0	
CE		4,8	610,5	0,0	545,0	4,8	5,0	0,0	0,0	0,0	16,5	0,0	0,0	0,0	79,0	8,3	35,0	15,0	0,0	0,0	5,5	10,5	0,0
CEC		0,0	1320,8	0,0	620,3	10,5	11,0	16,5	0,0	0,0	10,8	11,5	0,0	0,0	16,8	5,5	5,3	0,0	16,0	5,5	0,0	5,5	0,0
CAN		0,0	542,3	0,0	322,3	0,0	0,0	5,5	851,5	160,8	160,5	81,0	0,0	247,5	10,0	11,0	19,0	15,0	21,3	21,5	10,5	10,5	10,5
CP		55,3	112,8	12,0	105,5	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	153,5	18,5	0,0	13,0	36,8	14,0	6,0	13,3	13,0	6,0	12,5	6,3	11,8
PF	240	16,5	404,5	0,0	198,8	12,5	0,0	5,5	0,0	148,5	54,3	85,0	16,0	0,0	11,8	11,3	11,8	0,0	0,0	22,8	0,0	0,0	
CA		0,0	243,8	0,0	1347,5	16,0	404,8	201,5	0,0	6,3	5,5	0,0	11,5	10,8	6,3	11,8	12,5	10,8	0,0	11,8	0,0	0,0	
CE		15,0	968,5	0,0	550,8	7,3	7,3	0,0	0,0	0,0	23,0	7,8	0,0	23,0	15,3	0,0	32,0	15,8	0,0	0,0	7,3	7,3	0,0
CEC		0,0	2932,0	0,0	24,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	15,0	0,0	15,0	15,3	15,3	0,0	0,0	16,0	7,8	15,3	7,5	0,0
CAN		0,0	181,3	0,0	864,8	0,0	0,0	52,5	724,5	21,8	258,8	154,5	0,0	172,5	10,5	10,5	27,0	15,8	10,5	16,5	15,8	16,5	16,5
CP		22,0	117,3	25,5	94,8	7,5	37,5	0,0	0,0	0,0	77,5	8,5	0,0	92,0	60,8	7,5	16,0	16,0	7,5	7,5	16,0	7,3	15,0
PF	300	0,0	212,8	0,0	172,3	0,0	280,3	31,5	0,0	120,0	5,0	16,5	28,8	0,0	5,0	16,5	21,8	0,0	0,0	11,0	0,0	11,3	
CA		341,5	972,5	4,5	671,0	169,0	170,5	71,5	0,0	4,5	11,0	0,0	5,5	21,0	0,0	15,5	13,5	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	
CE		0,0	1092,0	5,3	609,8	21,0	0,0	155,3	0,0	0,0	10,5	10,5	29,3	34,5	5,3	9,8	9,8	0,0	0,0	15,8	0,0	0,0	
CEC		0,0	670,2	92,5	219,5	25,2	0,0	0,0	0,0	0,0	14,5	15,2	0,0	0,0	10,2	10,5	5,2	0,0	4,7	5,0	4,7	5,0	0,0
CAN		0,0	499,5	0,0	445,3	0,0	0,0	74,0	589,0	171,5	85,0	21,8	0,0	271,3	0,0	10,5	31,8	21,0	5,3	10,5	21,0	10,5	10,5
CP		11,3	119,5	11,0	85,8	11,0	55,3	0,0	0,0	0,0	101,0	10,8	0,0	16,8	115,8	17,0	5,0	11,0	11,3	11,0	11,3	10,5	10,5
PF	360	0,0	278,5	0,0	250,5	0,0	375,8	49,3	0,0	140,8	15,5	11,3	44,0	0,0	16,3	16,5	16,3	0,0	5,5	5,5	11,3	10,8	
CA		301,5	734,5	21,5	478,0	216,5	134,5	28,0	0,0	15,0	15,0	0,0	14,5	15,0	15,0	15,5	15,5	5,0	10,0	5,5	15,0	0,0	
CE		24,0	726,0	19,5	664,5	24,8	0,0	0,0	0,0	9,8	10,5	5,3	20,3	19,5	9,8	20,3	0,0	9,8	10,5	10,5	9,8	0,0	
CEC		0,0	695,5	148,7	340,0	19,7	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	15,0	0,0	0,0	15,0	10,0	15,5	0,0	10,5	9,7	10,0	10,2	0,0
CAN		0,0	534,0	0,0	604,3	0,0	0,0	74,0	693,0	239,0	74,0	16,0	0,0	298,8	10,8	21,0	26,5	21,0	10,5	21,0	26,3	10,5	10,5
CP		49,0	144,5	16,8	176,8	11,0	60,3	0,0	0,0	0,0	127,5	16,8	0,0	22,5	103,0	27,0	16,3	10,5	11,3	11,3	10,5	10,8	16,8

PF: palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana', CA: cana-de-açúcar, CE: capim elefante, CEC: capim elefante 'BRS Capiáçu', CAN: canteiros, CP: Caatinga preservada, Crico: *Criconemoides*, Heli: *Helicotylenchus*, Para: *Paratrichodorus*, Prat: *Pratylenchus*, Tric: *Trichodorus*, Tyle: *Tylenchorhynchus*, Tyle: *Tylenchus*, Roty: *Rotylenchus*, Acro: *Acrobeles*, Pana: *Panagrolaimus*, Ceph: *Cephalobus*, Pris: *Prismatolaimus*, Rhab: Rhabditidae, Aphe: *Aphelenchoides*, Aphel: *Aphelenchus*, Meso: *Mesodorylaimus*, Prod: *Prodorylaimus*, Thor: *Thornia*, Eudo: *Eudorylaimus*, Labro: *Labronema*, Mono: Monochidae.

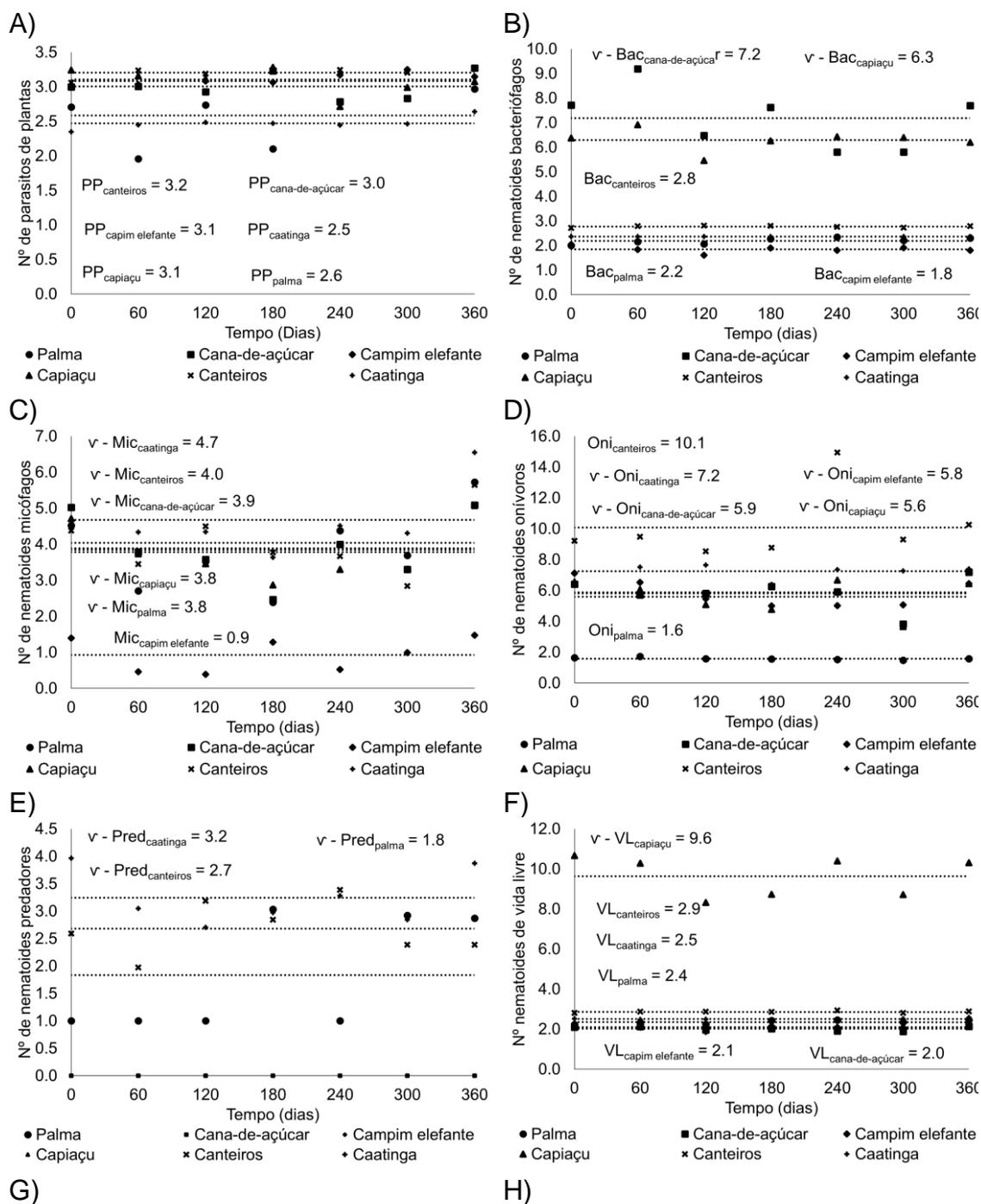
Não foram observadas diferenças significativas, ao longo do tempo, para o número de nematoides parasitos de plantas (Figura 5A), bacteriófagos (Figura 5B), micófagos (Figura 5C), onívoros (Figura 5D), predadores (Figura 5E) e de vida livre (Figura 5F) nas áreas avaliadas. Nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, capim elefante e capim elefante 'BRS Capiaçú', não foram detectados nematoides predadores.

O número total de nematoides variou significativamente, ao longo do tempo, na área dos canteiros, apresentando um ajuste de regressão cúbico (Figura 5G). Houve uma tendência de aumento no número total de nematoides entre o início e o final do período experimental, com a menor quantidade de nematoides na primeira coleta (2040 indivíduos por 300 cm<sup>3</sup> de solo) e maior número, aos 360 dias, correspondendo a 2569 indivíduos por 300 cm<sup>3</sup> de solo (Figura 5G). Para as demais áreas, não foram constatadas variações significativas para a respectiva variável (Figura 5G).

O número de nematoides do gênero *Pratylenchus* variou significativamente nas áreas cultivadas com palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana', capim elefante 'BRS Capiaçú' e cana-de-açúcar ao longo do tempo, ajustando-se, em ambas as áreas, a um modelo de regressão cúbico (Figura 5H). Na área de palma, a menor quantidade de *Pratylenchus* foi estimada aos 126 dias, equivalendo a 61 indivíduos por 300 cm<sup>3</sup> de solo, já o maior número foi de 236 indivíduos por 300 cm<sup>3</sup> de solo aos 360 dias. Na área de capim elefante 'BRS Capiaçú', aos 43 dias, houve a maior estimativa do número de *Pratylenchus*, equivalente a 766 indivíduos por 300 cm<sup>3</sup> de solo e, aos 280 dias, o menor número do respectivo gênero (118 indivíduos por 300 cm<sup>3</sup> de solo) (Figura 5H). Na área de cana-de-açúcar, a maior quantidade estimada de *Pratylenchus* (500 indivíduos por 300 cm<sup>3</sup> de solo) ocorreu aos 315 dias e, a menor quantidade (157 indivíduos por 300 cm<sup>3</sup> de solo), aos 98 dias (Figura 5H). Nas áreas ocupadas com capim elefante, canteiros e na área de vegetação nativa, não foram observadas variações significativas ao longo do tempo para o gênero *Pratylenchus* (Figura 5H).

Na área com cana-de-açúcar, houve variações significativas, ao longo do tempo, para o gênero *Helicotylenchus*, seguindo uma tendência de regressão cúbica (Figura 5I). A maior quantidade estimada desse gênero ocorreu aos 38 dias após o início do estudo, correspondendo a 630 indivíduos por 300 cm<sup>3</sup> de

solo. O menor número ocorreu aos 295 dias (11 indivíduos por cm<sup>3</sup> de solo). Para as demais áreas, não ocorreram variações significativas do gênero *Helicotylenchus*, no período avaliado (Figura 5I).



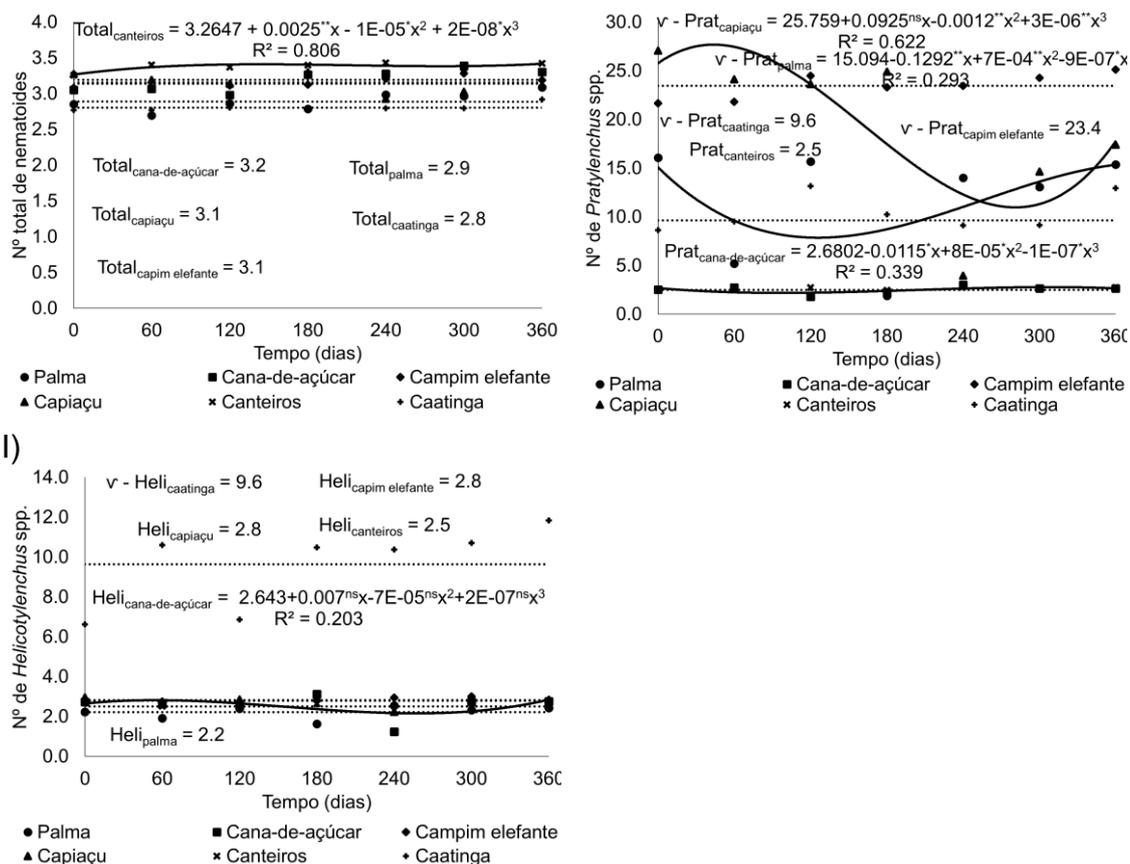


Figura 5. Variação da comunidade de nematoides na área de vegetação nativa de Caatinga e áreas cultivadas com palma forrageira ‘Orelha de Elefante Mexicana’ (*Opuntia stricta*), hortaliças, cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), capim elefante (*Pennisetum purpureum*) (E) e capim elefante ‘BRS Capiaçú’ entre março 2022 e 2023.

$v$  antecedendo equação ou média, dados transformados em  $\sqrt{x+1}$ , caso contrário, dados transformados em  $\log_{10}(x+1)$ .

A temperatura do solo apresentou significativas correlações negativas com os nematoides de vida livre, bacteriófagos, micófagos, onívoros e predadores (Tabela 4). A umidade teve correlações positivas significativas com todos os grupos avaliados, com exceção dos nematoides predadores e do gênero *Helicotylenchus* (Tabela 4). O pH correlacionou-se, significativamente, de forma negativa, apenas com o número total de nematoides (Tabela 4).

Tabela 4. Correlações entre os atributos do solo com a comunidade de nematoides em áreas de produção agrícola e de Caatinga preservada, localizadas em Tabira, Pernambuco, Brasil.

	PP	Bac	Mic	Oni	Pre	VL	Total	Praty	Heli
Temp	0,04	-0,29**	-0,31**	-0,26**	-0,20**	-0,35**	0,0003	-0,01	0,06
Umid	0,20*	0,23**	0,16*	0,25**	-0,01	0,32**	0,26**	0,20**	0,08
pH	-0,11	0,08	-0,04	-0,10	0,01	0,002	-0,13**	-0,04	-0,02
CO	0,04	0,29**	0,09	0,21**	0,09	0,35**	0,12	0,02	0,02
CE	0,56**	-0,27**	-0,11	-0,11	-0,30**	-0,24**	0,54**	0,40**	0,41**

\*\* = significativo a 0,01 e \* = significativo a 0,05 de probabilidade.

Temp.: Temperatura do solo; Umi: Umidade do solo; CO: carbono orgânico; CE: condutividade elétrica do solo. Nematoides PP: parasitos de plantas; Bac: bacteriófagos; Mic: micófitos; Oni: onívoros; Pre: predadores; VL: vida livre; Praty: *Pratylenchus* spp. e Heli: *Helicotylenchus* spp.

O teor de carbono orgânico apresentou correlação significativa, positiva, com os nematoides de vida livre, bacteriófagos e onívoros (Tabela 4). A CE do solo teve correlação positiva, significativa, com os nematoides parasitos de plantas, número total de nematoides e com o gênero *Pratylenchus*, além de correlação negativa com os nematoides de vida livre, bacteriófagos e predadores (Tabela 4).

## DISCUSSÃO

A temperatura do solo influencia parâmetros físicos e químicos do solo, incluindo a umidade, pH e condutividade elétrica (GHAZALI *et al.*, 2020; OTHAMAN *et al.*, 2020). Aumentos na temperatura geralmente levam a uma maior evapotranspiração, resultando em redução da umidade (AN *et al.*, 2018). Isso pode ter implicações significativas na agricultura e na ecologia, afetando o crescimento das plantas e a disponibilidade de água (HATFIELD; PRUEGER, 2015; LIU, LAIBAO *et al.*, 2020). Além disso, a variação na temperatura pode influenciar a atividade microbiana no solo, afetando indiretamente seu pH (CAO *et al.*, 2016; ROBINSON *et al.*, 2018). Temperaturas mais altas podem acelerar a decomposição da matéria orgânica, liberando ácidos orgânicos e diminuindo o pH do solo (BENBI; BOPARAI; BRAR, 2014; YAN; SCHUBERT; MENGEL, 1996). Mudanças nas comunidades de nematoides estão relacionadas às

propriedades do solo, particularmente ao pH, conteúdo de água e temperatura, que são propriedades significativamente correlacionadas com a abundância de grupos tróficos, como bacteriófagos, micófitos, predadores e onívoros (CHEN *et al.*, 2013; EISENHAUER *et al.*, 2012; LIANG *et al.*, 2020; NISA *et al.*, 2021).

O carbono orgânico exerce influência significativa na comunidade de nematoides do solo, desempenhando papéis essenciais na regulação populacional e na diversidade desses organismos (ITO *et al.*, 2015; LI; SONG; JING, 2021). A presença de carbono orgânico fornece uma fonte de alimento crucial para várias espécies de nematoides, incluindo nematoides bacteriófagos, que se alimentam de bactérias decompositoras de matéria orgânica (LI *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2016). Esse fato pode explicar o maior número de nematoides vida livre e bacteriófagos na área dos canteiros em relação às outras áreas. Essa relação trófica é fundamental para manter o equilíbrio e a saúde da comunidade de nematoides no solo (FERRIS; BONGERS, 2006). Liu *et al.* (2020) e Yang *et al.* (2021) relataram que a abundância de nematoides de vida livre, representados principalmente por bacteriófagos, foi maior em sistema de produção orgânico, com maior teor de carbono, do que em sistema convencional.

O aumento da quantidade de matéria orgânica no solo tende a promover uma maior diversidade de nematoides, já que diferentes espécies têm preferências alimentares específicas e podem se adaptar a diferentes condições ambientais (LIU *et al.*, 2016). Contudo, mudanças na disponibilidade de carbono orgânico, seja devido a práticas agrícolas, mudanças climáticas ou outros fatores, podem afetar negativamente a comunidade de nematoides do solo (PIRES *et al.*, 2023). Isso ocorreu nas áreas cultivadas com palma forrageira, cana-de-açúcar, capim elefante e capim elefante 'BRS Capiapu', em que o número total de nematoides, bem como, o número de nematoides de vida livre e, principalmente, os nematoides predadores, foi menor ou inexistente e, por outro lado, houve um aumento acentuado dos nematoides parasitos de plantas.

As variações temporais nas comunidades de nematoides do solo são um fenômeno dinâmico, influenciado por uma série de fatores, como condições climáticas sazonais, atividade biológica, práticas de manejo do solo e interações tróficas (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2010; GOLS *et al.*, 2023; LI *et al.*, 2020). Ao longo do ano, as condições climáticas, como temperatura e umidade, podem variar significativamente, afetando diretamente a atividade e a

distribuição dos nematoides no solo (NISA *et al.*, 2021; SIEBERT *et al.*, 2020). Além disso, as flutuações na disponibilidade de recursos alimentares, como matéria orgânica em decomposição e exsudatos radiculares, podem influenciar as populações de nematoides ao longo do tempo (LI *et al.*, 2021; PIRES *et al.*, 2023), visto que a decomposição sazonal de resíduos vegetais pode aumentar a disponibilidade de alimentos para nematoides bacteriófagos e micófagos em determinadas épocas do ano (PIRES *et al.*, 2023).

Outro fator que pode ter exercido influência nas flutuações temporais das populações de *Pratylenchus* e *Helicotylenchus* nas áreas de palma forrageira, capim elefante 'BRS Capiçaçu' e cana-de-açúcar pode estar relacionado ao sistema radicular denso e profundo dessas culturas, proporcionando um ambiente favorável para esses nematoides, oferecendo recursos alimentares e abrigo em condições ambientais adversas (YEATES, 1999; ZHANG *et al.*, 2022).

Ao contrário do observado em alguns gêneros de parasitos de planta, as comunidades dos nematoides bacteriófagos, micófagos, onívoros e predadores não apresentaram variações significativas ao longo do ano, o que pode ser atribuído, possivelmente, ao manejo agroecológico adotado na área experimental. Por exemplo, a adição frequente de cobertura morta e de esterco bovino pode ter reduzido os possíveis impactos das variações ambientais nessas comunidades de nematoides, diminuindo a variabilidade da abundância dessas populações ao longo do ano. Na área da Caatinga, o acúmulo da serrapilheira, observada durante as coletas, deve ter contribuído para esse efeito semelhante.

A diversidade de nematoides no solo da Caatinga pode ser influenciada pela variabilidade espacial e temporal das condições ambientais (CAIXETA *et al.*, 2023; DA SILVA *et al.*, 2020). Além disso, a vegetação variada, com espécies xerófilas, arbustivas e herbáceas, pode fornecer diferentes fontes de alimento e abrigo para esses organismos (BAKONYI; NAGY, 2000; NIELSEN *et al.*, 2014; VAN DEN HOOGEN *et al.*, 2019). Estudos têm revelado uma diversidade significativa de nematoides na Caatinga (DA SILVA *et al.*, 2020; DE SÁ *et al.*, 2021; LIMA; CAMPOS, 2023), incluindo espécies bacteriófagas, micófagas, predadoras e de parasitos de plantas, similar ao observado neste estudo. Também cabe destacar que, a área de Caatinga foi a única, neste estudo, em que o número de nematoides de vida livre foi superior ao número de nematoides parasitos de plantas. Essa diversidade funcional é importante para manter a

estabilidade e a resiliência do ecossistema, contribuindo para a ciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica e o controle de populações de pragas (FERRIS; BONGERS, 2006).

Nesse estudo, os gêneros *Helicotylenchus* e *Pratylenchus* se destacaram onde a salinidade do solo foi maior, demonstrando uma possível tolerância a níveis mais altos de sais. Isso pode ter contribuído para o aumento de suas populações nas áreas sob estresse salino, assim como relatado em outros trabalhos (DE SÁ *et al.*, 2021; KIRKPATRICK; VAN GUNDY, 1966; LIMA; CAMPOS, 2023; MACHMER, 1958; NGUYEN *et al.*, 2021; RAY; DAS, 1980). Além disso, a relativa tolerância, principalmente do capim elefante 'BRS Capiacu', à salinidade do solo, sem comprometimento substancial ao sistema radicular, pode ter contribuído para o elevado número de *Helicotylenchus* e *Pratylenchus* na área (LISBOA *et al.*, 2023; VALE; AZEVEDO, 2013).

A correlação negativa da salinidade do solo com a população dos nematoides de vida livre, principalmente os bacteriófagos e os predadores podem estar associados às condições adversas que a salinidade cria para esses micro-organismos (DE SÁ *et al.*, 2021). Esse efeito foi mais perceptível nas áreas de capim elefante 'BRS Capiacu' e de capim elefante, em que, tanto a abundância, quanto o número de gêneros foram reduzidos. Em solos salinos, a alta concentração de sais pode afetar adversamente a atividade bacteriana, a diversidade microbiana e a disponibilidade de recursos alimentares para esses grupos de nematoides, ocasionando redução na abundância dos nematoides de vida livre (NGUYEN *et al.*, 2021; YUAN *et al.*, 2007). Um efeito negativo do aumento da condutividade elétrica sobre os nematoides do solo foi encontrado por Pen-Mouratov *et al.* (2010, 2011), os quais encontraram correlação negativa entre a condutividade elétrica e o número de nematoides do solo. Além disso, Vicente *et al.* (2015) observaram correlação negativa entre nematoides onívoros e condutividade elétrica em uma localidade no Semiárido brasileiro.

## CONCLUSÕES

As populações de nematoides parasitos de plantas e de vida livre, representados pelos, bacteriófagos, micófagos, onívoros e predadores, de todas as áreas, mantiveram-se relativamente estáveis ao longo do tempo.

Os nematoides parasitos de plantas conseguem suportar melhor as condições de maior salinidade do solo do que os nematoides de vida livre, principalmente bacteriófagos e predadores.

A comunidade dos nematoides foi influenciada significativamente pela temperatura, umidade, pH, carbono orgânico e condutividade elétrica do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, no. 6, p. 711–728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- AN, N.; TANG, C.-S.; XU, S.-K.; GONG, X.-P.; SHI, B.; INYANG, H. I. Effects of soil characteristics on moisture evaporation. **Engineering Geology**, vol. 239, p. 126–135, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.03.028>.
- BAKONYI, G.; NAGY, P. Temperature- and moisture-induced changes in the structure of the nematode fauna of a semiarid grassland — patterns and mechanisms. **Global Change Biology**, vol. 6, no. 6, p. 697–707, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00354.x>.
- BENBI, D. K.; BOPARAI, A. K.; BRAR, K. Decomposition of particulate organic matter is more sensitive to temperature than the mineral associated organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 70, p. 183–192, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.032>.
- BONGERS, T.; FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology & Evolution**, vol. 14, no. 6, p. 224–228, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01583-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01583-3).
- CAIXETA, L. de B.; SILVA, J. V. C. de L. da; CASTAÑEDA, N. E. N.; CASTRO, J. M. da C. e; CARES, J. E. Nematodes as bioindicators of soil health in different land uses in the São Francisco River Valley, Brazil. **Nematology**, vol. 26, no. 2, p. 211–225, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1163/15685411-bja10303>.
- CAO, H.; CHEN, R.; WANG, L.; JIANG, L.; YANG, F.; ZHENG, S.; WANG, G.; LIN, X. Soil pH, total phosphorus, climate and distance are the major factors

- influencing microbial activity at a regional spatial scale. **Scientific Reports**, vol. 6, no. 1, p. 25815, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep25815>.
- CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. dos. SALINITY OF THE SOIL AND THE RISK OF DESERTIFICATION IN THE SEMIARID REGION. **Mercator**, vol. 19, no. 1, p. 1–13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19002>.
- CHEN, D.; ZHENG, S.; SHAN, Y.; TAUBE, F.; BAI, Y. Vertebrate herbivore-induced changes in plants and soils: linkages to ecosystem functioning in a semi-arid steppe. **Functional Ecology**, vol. 27, no. 1, p. 273–281, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12027>.
- CORWIN, D. L. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. **European Journal of Soil Science**, vol. 72, no. 2, p. 842–862, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.13010>.
- CPRM. Diagnóstico do município de Tabira, estado de Pernambuco. Recife, 2005.
- DA SILVA, J. V. C. de L.; HIRSCHFELD, M. N. C.; CARES, J. E.; ESTEVES, A. M. Land use, soil properties and climate variables influence the nematode communities in the Caatinga dry forest. **Applied Soil Ecology**, vol. 150, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103474>.
- DE SÁ, C. S. B.; SHIOSAKI, R. K.; DOS SANTOS, A. M.; CAMPOS, M. A. da S. Salinization causes abrupt reduction in soil nematode abundance in the Caatinga area of the Submedio San Francisco Valley, Brazilian semiarid region. **Pedobiologia**, vol. 85–86, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150729>.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Spatial and temporal variability of plant-parasitic nematodes population in sugarcane. **Bragantia**, vol. 69, no. suppl, p. 39–52, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000500006>.
- EISENHAUER, N.; CESARZ, S.; KOLLER, R.; WORM, K.; REICH, P. B. Global change belowground: impacts of elevated CO<sub>2</sub>, nitrogen, and summer drought on soil food webs and biodiversity. **Global Change Biology**, vol. 18, no. 2, p. 435–447, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02555.x>.
- FERRIS, H.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G. M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept.

- Applied Soil Ecology**, vol. 18, no. 1, p. 13–29, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00152-4).
- FERRIS, Howard; BONGERS, T. Nematode indicators of organic enrichment. **Journal of nematology**, vol. 38, no. 1, p. 3–12, 2006.
- FRANCO, A. L. C.; GHERARDI, L. A.; DE TOMASEL, C. M.; ANDRIUZZI, W. S.; ANKROM, K. E.; SHAW, E. A.; BACH, E. M.; SALA, O. E.; WALL, D. H. Drought suppresses soil predators and promotes root herbivores in mesic, but not in xeric grasslands. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, vol. 116, no. 26, p. 12883–12888, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1900572116>.
- GHAZALI, M. F.; WIKANTIKA, K.; HARTO, A. B.; KONDOH, A. Generating soil salinity, soil moisture, soil pH from satellite imagery and its analysis. **Information Processing in Agriculture**, vol. 7, no. 2, p. 294–306, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.08.003>.
- GOLS, R.; VAN GEEM, M.; BULLOCK, J. M.; MARTENS, H. J.; WAGENAAR, R.; VAN DER PUTTEN, W. H.; HARVEY, J. A. Communities of nematodes, bacteria and fungi differ among soils of different wild cabbage populations. **European Journal of Soil Biology**, vol. 117, p. 103512, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103512>.
- GUAN, P.; ZHANG, X.; YU, J.; CHENG, Y.; LI, Q.; ANDRIUZZI, W. S.; LIANG, W. Soil microbial food web channels associated with biological soil crusts in desertification restoration: The carbon flow from microbes to nematodes. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 116, p. 82–90, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.10.003>.
- HASSANI, A.; AZAPAGIC, A.; SHOKRI, N. Predicting long-term dynamics of soil salinity and sodicity on a global scale. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, vol. 117, no. 52, p. 33017–33027, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2013771117>.
- HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**, vol. 10, p. 4–10, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>.
- ITO, T.; ARAKI, M.; HIGASHI, T.; KOMATSUZAKI, M.; KANEKO, N.; OHTA, H. Responses of soil nematode community structure to soil carbon changes due to different tillage and cover crop management practices over a nine-year

- period in Kanto, Japan. **Applied Soil Ecology**, vol. 89, p. 50–58, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.12.010>.
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, vol. 48, no. 9, p. 692–692, 1964.
- KIRKPATRICK, J. D.; VAN GUNDY, J. Soil salinity and citrus nematode survival. **Nematologica**, vol. 12, p. 93–94, 1966.
- LI, S.; SONG, M.; JING, S. Effects of different carbon inputs on soil nematode abundance and community composition. **Applied Soil Ecology**, vol. 163, p. 103915, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103915>.
- LI, X.; CHEN, X.; ZHU, H.; REN, Z.; JIAO, J.; HU, F.; LIU, M. Effects of historical legacies on soil nematode communities are mediated by contemporary environmental conditions. **Ecology and Evolution**, vol. 10, no. 13, p. 6732–6740, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.6406>.
- LIANG, S.; KOU, X.; LI, Y.; LÜ, X.; WANG, J.; LI, Q. Soil nematode community composition and stability under different nitrogen additions in a semiarid grassland. **Global Ecology and Conservation**, vol. 22, p. e00965, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00965>.
- LIMA, C. S.; CAMPOS, M. A. S. Monitoring of Nematofauna and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in a Caatinga Area and in the Adjacent Culture. **Research Square**, p. 1–21, 2023.
- LISBOA, S. B.; PEREIRA, A. A. B.; CORREIA, F. D. dos S.; DIAS, M. A. B. S.; ALVAREZ-PIZARRO, J. C.; FONTENELE, R. M. EFEITO DO ESTRESSE SALINO SOBRE A ALTURA DO CAPIM PENNISETUM PURPUREUM SCHUM CV. BRSCAPIAÇU. **Ciência das Plantas: desafios e potencialidades em pesquisa**. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2023. p. 92–98. DOI: <https://doi.org/10.37885/230412651>.
- LIU, L.; GUDMUNDSSON, L.; HAUSER, M.; QIN, D.; LI, S.; SENEVIRATNE, S. I. Soil moisture dominates dryness stress on ecosystem production globally. **Nature Communications**, vol. 11, no. 1, p. 4892, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18631-1>.
- LIU, T.; CHEN, X.; HU, F.; RAN, W.; SHEN, Q.; LI, H.; WHALEN, J. K. Carbon-rich organic fertilizers to increase soil biodiversity: Evidence from a meta-analysis of nematode communities. **Agriculture, Ecosystems &**

- Environment**, vol. 232, p. 199–207, 2016. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.015>.
- LIU, X.; ZHANG, D.; LI, H.; QI, X.; GAO, Y.; ZHANG, Y.; HAN, Y.; JIANG, Y.; LI, H. Soil nematode community and crop productivity in response to 5-year biochar and manure addition to yellow cinnamon soil. **BMC Ecology**, vol. 20, no. 1, p. 39, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12898-020-00304-8>.
- MACHMER, J. H. Effect of soil salinity on nematodes in citrus and papaya plantings. **Journal of the Rio Grande Valley Horticultural Society**, vol. 12, p. 57–60, 1958.
- MAY, W. F.; MULLIN, P. G.; LYON, H. H.; LOEFFLE, K. **Plant-parasitic nematodes: a pictorial key to genera**. 5th ed. Ithaca: Cornell University Press, 1996.
- MEKETE, T.; DABABAT. A.; SEKORA, N.; AKYAZI, F.; ABEBE, R.  
**Identification key for agriculturally important plant-parasitic nematodes Prepared for the International Nematode Diagnosis and Identification Course 2012 - A manual for nematology**. México, D. F.: CIMMYT, 2012.
- NGUYEN, V. S.; CHAU, M. K.; VO, Q. M.; LE, V. K.; NGUYEN, T. K. P.; ARAKI, M.; PERRY, R. N.; TRAN, A. D.; DANG, D. M.; TRAN, B. L.; CHOL, G. L.; TOYOTA, K. Impacts of saltwater intrusion on soil nematodes community in alluvial and acid sulfate soils in paddy rice fields in the Vietnamese Mekong Delta. **Ecological Indicators**, vol. 122, p. 107284, 2021. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107284>.
- NIELSEN, U. N.; AYRES, E.; WALL, D. H.; LI, G.; BARDGETT, R. D.; WU, T.; GAREY, J. R. Global-scale patterns of assemblage structure of soil nematodes in relation to climate and ecosystem properties. **Global Ecology and Biogeography**, vol. 23, no. 9, p. 968–978, 2014. DOI:  
<https://doi.org/10.1111/geb.12177>.
- NISA, R. U.; TANTRAY, A. Y.; KOUSER, N.; ALLIE, K. A.; WANI, S. M.; ALAMRI, S. A.; ALYEMENI, M. N.; WIJAYA, L.; SHAH, A. A. Influence of ecological and edaphic factors on biodiversity of soil nematodes. **Saudi Journal of Biological Sciences**, vol. 28, no. 5, p. 3049–3059, 2021. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.046>.
- OTHAMAN, N. N. C.; ISA, M. N. M.; ISMAIL, R. C.; AHMAD, M. I.; HUI, C. K. Factors that affect soil electrical conductivity (EC) based system for smart

- farming application. [S. l.: s. n.], p. 020055. 2020. DOI:  
<https://doi.org/10.1063/1.5142147>.
- PEN-MOURATOV, S.; BARNES, G.; STEINBERGER, Y. Effect of desert plant ecophysiological adaptation on soil nematode communities. **European Journal of Soil Biology**, vol. 44, no. 3, p. 298–308, 2008. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.03.005>.
- PEN-MOURATOV, S.; HU, C.; HINDIN, E.; STEINBERGER, Y. Soil microbial activity and a free-living nematode community in the playa and in the sandy biological crust of the Negev Desert. **Biology and Fertility of Soils**, vol. 47, no. 4, p. 363–375, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0540-x>.
- PEN-MOURATOV, S.; MYBLAT, T.; SHAMIR, I.; BARNES, G.; STEINBERGER, Y. Soil Biota in the Arava Valley of Negev Desert, Israel. **Pedosphere**, vol. 20, no. 3, p. 273–284, 2010. DOI:  
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(10\)60015-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60015-X).
- PIRES, D.; ORLANDO, V.; COLLETT, R. L.; MOREIRA, D.; COSTA, S. R.; INÁCIO, M. L. Linking Nematode Communities and Soil Health under Climate Change. **Sustainability**, vol. 15, no. 15, p. 11747, 2023. DOI:  
<https://doi.org/10.3390/su151511747>.
- R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING. R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, 2021.
- RATH, K. M.; FIERER, N.; MURPHY, D. V.; ROUSK, J. Linking bacterial community composition to soil salinity along environmental gradients. **The ISME Journal**, vol. 13, no. 3, p. 836–846, 2019. DOI:  
<https://doi.org/10.1038/s41396-018-0313-8>.
- RAY, S.; DAS, S. N. Nematodes of saline soils in Orissa, India. **Indian Journal of Nematology**, vol. 10, no. 2, p. 231–235, 1980.
- ROBINSON, S. I.; MCLAUGHLIN, Ó. B.; MARTEINSDÓTTIR, B.; O’GORMAN, E. J. Soil temperature effects on the structure and diversity of plant and invertebrate communities in a natural warming experiment. **Journal of Animal Ecology**, vol. 87, no. 3, p. 634–646, 2018. DOI:  
<https://doi.org/10.1111/1365-2656.12798>.
- ŠALAMÚN, P.; KUCANOVÁ, E.; BRÁZOVÁ, T.; MIKLISOVÁ, D.; RENČO, M.; HANZELOVÁ, V. Diversity and food web structure of nematode communities

- under high soil salinity and alkaline pH. **Ecotoxicology**, vol. 23, no. 8, p. 1367–1376, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-014-1278-7>.
- SÁNCHEZ-MORENO, S.; FERRIS, H. Nematode ecology and soil health. *In*: SIKORA, R.; COYNE, D.; HALLMANN, J.; TIMPER, P. (eds.). **Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture**. Wallingford: CAB International, 2018. p. 62–86.
- SIEBERT, J.; CIOBANU, M.; SCHÄDLER, M.; EISENHAUER, N. Climate change and land use induce functional shifts in soil nematode communities. **Oecologia**, vol. 192, no. 1, p. 281–294, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04560-4>.
- SILVA, P. C. G. da; MOURA, M. S. B. de; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. de L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. de C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. *In*: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (eds.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Empraba Semiárido, 2010. p. 18–48. Available at: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/861906>. Accessed on: 1 Nov. 2022.
- SUDENE. **Delimitação do Semiárido - 2021**. Recife: [s. n.], 2021. Available at: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Accessed on: 13 Feb. 2022.
- TARJAN, A. C.; ESSER, R. P.; CHANG, S. L. An Illustrated Key to Nematodes Found in Fresh Water. **Journal (Water Pollution Control Federation)**, vol. 49, no. 11, p. 2318–2337, 1977.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solos**. 3rd ed. Brasília: Embrapa, 2017.
- VALE, M. B.; AZEVEDO, P. V. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. **Holos**, vol. 3, p. 181–195, 2013.
- VAN DEN HOOGEN, J.; GEISEN, S.; ROUTH, D.; FERRIS, H.; TRAUNSPURGER, W.; WARDLE, D. A.; DE GOEDE, R. G. M.; ADAMS, B. J.; AHMAD, W.; ANDRIUZZI, W. S.; BARDGETT, R. D.; BONKOWSKI, M.; CAMPOS-HERRERA, R.; CARES, J. E.; CARUSO, T.; DE BRITO CAIXETA, L.; CHEN, X.; COSTA, S. R.; CREAMER, R.; ... CROWTHER, T. W. Soil

- nematode abundance and functional group composition at a global scale. **Nature**, vol. 572, no. 7768, p. 194–198, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1418-6>.
- VICENTE, T. F. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; PEDROSA, E. M. R.; FONTES, R. V. P.; SILVA, J. S.; TAVARES, U. E. Community structure and spatial variability of soil nematodes in an alluvial soil in a semiarid region of Pernambuco state, Brazil. **Nematoda**, vol. 2, no. 1, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4322/nematoda.08015>.
- WU, Y. P.; ZHANG, Y.; BI, Y. M.; SUN, Z. J. Biodiversity in Saline and Non-Saline Soils Along the Bohai Sea Coast, China. **Pedosphere**, vol. 25, no. 2, p. 307–315, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60015-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60015-7).
- YAN, D.; YAN, D.; SONG, X.; YU, Z.; PENG, D.; TING, X.; WENG, B. Community structure of soil nematodes under different drought conditions. **Geoderma**, vol. 325, p. 110–116, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.028>.
- YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 28, no. 4–5, p. 617–624, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00180-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00180-8).
- YAN, N.; MARSCHNER, P.; CAO, W.; ZUO, C.; QIN, W. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**, vol. 3, no. 4, p. 316–323, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.11.003>.
- YANG, B.; BANERJEE, S.; HERZOG, C.; RAMÍREZ, A. C.; DAHLIN, P.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Impact of land use type and organic farming on the abundance, diversity, community composition and functional properties of soil nematode communities in vegetable farming. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol. 318, p. 107488, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107488>.
- YEATES, G. W.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G.; FRECKMAN, D. W.; GEORGIEVA, S. S. Feeding habits in soil nematode families and genera—an outline for soil ecologists. **Journal of nematology**, vol. 25, no. 3, p. 315–31, 1993.

- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, vol. 19, no. 13, p. 1467–1476, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>.
- YONG-ZHONG, S.; XUE-FEN, W.; RONG, Y.; XIAO, Y.; WEN-JIE, L. Soil Fertility, Salinity and Nematode Diversity Influenced by *Tamarix ramosissima* in Different Habitats in an Arid Desert Oasis. **Environmental Management**, vol. 50, no. 2, p. 226–236, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9872-z>.
- YUAN, B. C.; LI, Z. Z.; LIU, H.; GAO, M.; ZHANG, Y. Y. Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. **Applied Soil Ecology**, vol. 35, no. 2, p. 319–328, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.07.004>.
- ZHANG, W.; WANG, C.; XUE, R.; WANG, L. Effects of salinity on the soil microbial community and soil fertility. **Journal of Integrative Agriculture**, vol. 18, no. 6, p. 1360–1368, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62077-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62077-5).
- ZHU, C.; DING, J.; ZHANG, Z.; WANG, J.; CHEN, X.; HAN, L.; SHI, H.; WANG, J. Soil salinity dynamics in arid oases during irrigated and non-irrigated seasons. **Land Degradation & Development**, vol. 34, no. 13, p. 3823–3835, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.4632>.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSÕES GERAIS**

## CONCLUSÕES GERAIS

- As populações de nematoides de vida livre são reduzidas em áreas de maior salinidade;
- Os nematoides parasitos de planta *Pratylenchus*, *Trichodorus* e *Meloidogyne* prosperam bem em ambientes com salinidade relativamente alta ( $> 4,0 \text{ dS.m}^{-1}$ );
- As propriedades do solo: temperatura, umidade, carbono orgânico e condutividade elétrica influenciam as comunidades de nematoides do solo;
- Embora presentes em vegetação nativa da Caatinga, a densidade populacional de alguns gêneros de nematoides parasitos de plantas que causam sérios problemas à agricultura é baixa;
- As áreas cultivadas com capim elefante 'BRS Capiacu' e palma forrageira 'Orelha de Elefante Mexicana', no período chuvoso, apresentaram a maior dissimilaridade entre as comunidades de nematoides do solo;
- Nas áreas estudadas, a comunidade de nematoides é afetada mais diretamente pela solução do solo como um todo do que por algum íon isoladamente.