

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**NEMATOIDES ASSOCIADOS À CULTURA DA MANDIOCA
NOS TERRITÓRIOS DO BAIXO SUL, VALE DO JIQUIRIÇÁ
E RECÔNCAVO DA BAHIA E SUSCETIBILIDADE
GENÉTICA**

Bruno Santos Louzado Das Neves

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
OUTUBRO – 2022**

NEMATOIDES ASSOCIADAS À CULTURA DA MANDIOCA NOS TERRITÓRIOS DO BAIXO SUL, VALE DO JIQUIRIÇÁ E RECÔNCAVO DA BAHIA E SUSCETIBILIDADE GENÉTICA

Bruno Santos Louzado Das Neves
Bacharel em Engenheiro Agrônomo, UFRB, 2019

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Agricultura Tropical).

Orientador: Prof.^o Dr. Saulo Alves Santos de Oliveira
Coorientador 1: Prof.^o Dr. Dimmy Herllen Silveira Gomes Barbosa
Coorientador 2: Dra. Maria Selma Alves Silva Diamantino

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
OUTUBRO – 2022**

Ficha Catalográfica

N518n	<p>Neves, Bruno Santos Louzado das. Nematoides associados à cultura da mandioca nos Territórios do Baixo Sul, Vale do Jiquiriçá e Recôncavo da Bahia e suscetibilidade genética / Bruno Santos Louzado das Neves._ Cruz das Almas, BA, 2022. 125f.; il.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Ciências Agrárias.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Saulo Alves Santos de Oliveira. Coorientador: Prof. Dr. Dimmy Herllen Silveira Gomes Barbosa. Coorientadora: Dra. Maria Selma Alves Silva Diamantino.</p> <p>1.Mandioca – Cultivo. 2.Mandioca – Doenças e pragas. 3.Nematóides – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD: 633.682</p>
-------	---

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**NEMATOIDES ASSOCIADOS À CULTURA DA MANDIOCA NOS
TERRITÓRIOS DO BAIXO SUL, VALE DO JIQUIRICHÁ E
RECÔNCAVO DA BAHIA E SUSCETIBILIDADE GENÉTICA**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Bruno Santos Louzado das Neves

Aprovado em 27 de outubro de 2022



Documento assinado digitalmente

SAULO ALVES SANTOS DE OLIVEIRA

Data: 28/12/2022 14:56:58-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.º Dr. Saulo Alves Santos de Oliveira
Embrapa Mandioca e Fruticultura
Orientador

Prof. Dr. Carlos Augusto Dórea Bragança
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Examinador Interno

Profa. Dra. Leilane Silveira D'Ávila
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Examinador Externo

Deus por ter me proporcionado respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço e à dedicação. Insistimos como o Mario Sergio Cortella: faça o teu melhor, na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores, para fazer melhor ainda!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas conquistas e por me proporcionar a vida e a saúde e estar sempre guiando meu caminho, dando-me forças para seguir em frente e conquistar meu mundo.

Aos meus pais Belmiro e Vanilda e minha irmã Vanessa pelo amor, incentivo e compreensão e a meu irmão Vailson, sempre irei lembrar de você, te amo.

A minha namorada Daiane por estar ao meu lado em todos os momentos, me incentivando, compreendendo e me ajudando a construir e trilhar meu caminho e por me presentear com sua família.

Ao meu orientador Professor Dr. Saulo Alves e meus co-orientadores professores Dr. Dimmy Barbosa e Dra. Maria Selma, agradeço pelo apoio, companheirismo, compreensão e disposição que sempre mostrou, nos momentos pleiteados.

Aos amigos e colegas do grupo mandioca - fitopatologia, pela grande amizade, pela ajuda prestada, pelos incentivos e por todos os momentos de descontração que tornaram a jornada mais leve.

A amiga e colega Caliane Braulio pela amizade, companheirismo e auxílio.

Aos meus colegas/irmão Higor, Emerson, Thiago Louzado, Thiago Santana, Pedro, João, Daniel, Valdinei e Devison Peixoto.

Aos colegas do mestrado, Izis, Poliana, Lennon e Lucas.

Aos colegas do Laboratório de Fitopatologia do CNPMF, Dr. Leandro Rocha, Kamila, Lavínia, Lucas, Sr. Sinésio e aos demais pela grande ajuda prestada e pelos momentos de descontração.

Em especial, agradeço a Deus por ter colocado em meu caminho o Sr. João Vieira, sei que palavras jamais chegaram perto da ajuda, incentivo e pelo exemplo em compromisso do seu trabalho, dedico-lhe toda força, amor, carinho e peço a Deus uma vida longa, próspera e com muita saúde, disponho-me.

A Dra. Andresa e os demais colegas do Laboratório de Biologia Molecular - EMBRAPA.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001 (DS/CAPES/UFRB – 88887.608334/2021-00), pela concessão da bolsa de estudos, e à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia pela oferta do curso de mestrado em Ciências Agrárias, devido sua relevância para a sociedade, no âmbito acadêmico e social.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Mandioca e Fruticultura, pelo apoio e espaço concedido para o desenvolvimento das pesquisas. Enfim, a todos aqueles que mesmo não mencionados participaram de alguma forma na elaboração deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos, que de alguma forma, tenham contribuído para a minha chegada até aqui.

A todos vocês, MUITO OBRIGADO, DEUS ABENÇOE.

NEMATOIDES ASSOCIADAS À CULTURA DA MANDIOCA NOS TERRITÓRIOS DO BAIXO SUL, VALE DO JQUIRIÇÁ E RECÔNCAVO DA BAHIA E SUSCETIBILIDADE GENÉTICA

RESUMO GERAL

A cultura da mandioca é amplamente cultivada nas regiões de clima tropical e subtropical e possui excelente adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas. Embora considerada rústica, sua produtividade é diretamente influenciada por fatores bióticos, incluindo patógenos radiculares como fungos, oomicetos e nematoides. Estudos realizados no continente africano, no Brasil e no Recôncavo da Bahia, demonstraram a presença de diferentes espécies associadas à mandioca, entretanto os relatos pouco descrevem a distribuição dos principais gêneros bem como os possíveis impactos gerados. Nos últimos anos houve um aumento de relatos de ocorrência de podridões radiculares em mandioca, bem como de redução de produtividade de plantios em diferentes regiões, desta forma, esse trabalho teve como objetivo gerar informações acerca da diversidade de populações de nematoides associadas à cultura da mandioca nos territórios de identidade do Recôncavo, Baixo Sul e Vale do Jiquiriçá no estado da Bahia, bem como avaliar a reação de cultivares de mandioca ao parasitismo das principais espécies de nematoides que ocorrem nestes territórios. Um total de 56 amostras foram obtidas em 41 propriedades, às quais estão distribuídas em 24 localidades dentro dos três territórios de identidade. Os seguintes gêneros de nematoides foram identificados junto às amostras coletadas: *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp., *Rotylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Tylenchus* sp., e *Criconemella* sp. Os parâmetros de diversidades, mostram que são agroecossistemas com baixa diversidade populacional, logo, a predominância dos gêneros no levantamento geral, apresentou a maior prevalência para as populações dos fitonematoides *Rotylenchus* sp., *Meloidogyne* sp., *Helicotylenchus* sp. e *Pratylenchus* sp. para os territórios do Recôncavo, Vale do Jiquiriçá e Baixo Sul. Para o território do Baixo Sul, não houve predominância dos gêneros *Criconemella* e *Tylenchus*. Foi avaliado, que as correlações entre as populações de nematoides e os atributos físico-químicos não estão diretamente relacionados, e sim, que as relações são constituídas por associações pelo compartilhamento de alguns atributos físico-químico do solo, na formação dos grupos distintos. Visando avaliar a patogenicidade, o potencial de dano e possíveis diferenças na reação de resistência das populações obtidas (*Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp.) em cultivo de mandioca, realizou-se um experimento com cinco variedades comerciais de mandioca ('BRS Poti Branca', 'BRS Kiriris', 'BRS Formosa', 'BRS Novo Horizonte', 'Salongor Preta'). Os resultados denotam, que os parâmetros avaliados para o índice de infecção foram considerados significativos, interferindo na altura, vigor, massa fresca e seca da parte aérea (MSPA e MFA, respectivamente), massa seca e fresca das raízes (MSR e MFR, respectivamente) pelo método gravimétrico (volume de raiz/mL⁻¹), quando comparadas às plantas não inoculadas. Os danos causados, como redução no peso, e características iniciais de apodrecimento das raízes foram significativamente provocados por ambas as populações, observadas por meio das extrações nematológicas do solo e raiz, e submetidas ao processo de clarificação e observação em microscópio de luz. As variedades que apresentaram maiores danos causados por populações de *Meloidogyne* sp. foram 'BRS Novo

Horizonte' e 'Salangor Preta' e por *Pratylenchus* sp. 'BRS Novo Horizonte' e 'BRS Poti Branca' aos 147 DAI.

Palavras-chave: Atributos físico-químicos, Diversidade populacional, Fitonematoides, *Manihot esculenta* Crantz.

NEMATODES ASSOCIATED WITH THE CASSAVA CULTURE IN THE TERRITORIES OF BAIXO SUL, VALE DO JQUIRIÇÁ AND RECÔNCAVO DA BAHIA AND GENETIC SUSCEPTIBILITY

GENERAL ABSTRACT

The cassava crop is widely cultivated in tropical and subtropical regions and has excellent adaptability to different soil and climate conditions. Although considered rustic, its yield is directly influenced by biotic factors, including root pathogens such as fungi, oomycetes and nematodes. Studies carried out in the African continent, in Brazil and in the Recôncavo da Bahia, demonstrated the presence of different species associated with cassava, however the reports do not describe the distribution of the main genera as well as the possible impacts generated. In recent years there has been an increase in reports of the occurrence of cassava root rot diseases, as well as a reduction in yields of plantations in different regions. This work aimed to investigate the distribution of the main nematode genera in the territories of identity of the Recôncavo, Baixo Sul and Vale do Jiquiriçá in the state of Bahia, as well as to evaluate the reaction of cassava cultivars to the parasitism of the main genus of nematodes that occur in these territories. A total of 56 samples were obtained from 41 properties, which are distributed in 24 locations within the three identity territories. The following nematode genera were identified in the collected samples: *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp., *Rotylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Tylenchus* sp., and *Criconemella* sp. The diversity parameters show that they are agroecosystems with low population diversity, therefore, the predominance of the genera in the general survey, presented the highest prevalence for the phytonematode populations *Rotylenchus* sp., *Meloidogyne* sp., *Helicotylenchus* sp. and *Pratylenchus* sp. for the territories of the Recôncavo, Vale do Jiquiriçá and Baixo Sul. For the territory of the Southern Lowlands, there was no predominance of the genera *Criconemella* and *Tylenchus*. It was evaluated that the correlations between the nematode populations and the physical-chemical attributes are not directly related, but that the relationships are constituted by associations through the sharing of some physical-chemical attributes of the soil, in the formation of distinct groups. In order to evaluate the pathogenicity, the damage potential and possible differences in the resistance reaction of the populations obtained (*Pratylenchus* sp. and *Meloidogyne* sp.) in cassava cultivation, an experiment was carried out with five commercial varieties of cassava ('BRS Poti Branca', 'BRS Kiriris', 'BRS Formosa', 'BRS Novo Horizonte', 'Salangor Preta'). The results denote that the parameters evaluated for the infection rate were considered significant, interfering with height, vigor, fresh and dry mass of shoots (MFPA and MSPA, respectively), dry and fresh mass of roots (MSR and MFR, respectively) by the gravimetric method (root volume/mL⁻¹), when compared to non-inoculated plants. The damage caused, such as reduction in weight, and initial characteristics of root rot were significantly caused by both populations, observed through nematological extractions from the soil and root, and submitted to the clarification process and observation under a light microscope. The varieties that showed the greatest damage caused by populations of *Meloidogyne* sp. were 'BRS Novo Horizonte' and 'Salangor Preta' and by *Pratylenchus* sp. 'BRS Novo Horizonte' and 'BRS Poti Branca' at 147 DAI.

Key words: Physical-chemical attributes, Population diversity, Phytonematodes, *Manihot esculenta* Crantz.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1: Levantamento de nematoides associados à mandioca nos territórios do Recôncavo, Baixo Sul e Vale do Jiquiriçá na Bahia, Brasil

Tabela 1. Medidas de fêmeas.....	54
Tabela 2. Medidas de machos.....	55
Tabela 3. Análise de diversidade populacional de nematoides nas localidades. ...	58
Tabela 4. Análise de diversidade populacional de nematoides nos municípios....	60
Tabela 5. Análise de diversidade populacional de nematoides nos territórios.	60
Tabela 6. Análise de correlação dos agrupamentos a partir da matriz de correlações de Pearson.....	68

LISTA DE QUADRO

Quadro 1. Descrição das amostras de solo coletadas em plantio de mandioca com relação às coordenadas geográficas, territórios, municípios, localidades e propriedades.	39
--	----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: Levantamento de nematoides associados à mandioca nos territórios do Recôncavo, Baixo Sul e Vale do Jiquiriçá na Bahia, Brasil

Figura 1. Mapa do Brasil mostrando a localização geográfica das áreas de mandioca levantadas em sete municípios localizados nos territórios de identidade do Recôncavo, Vale do Jiquiriçá e Baixo Sul do Estado da Bahia, Brasil.	37
Figura 2. Áreas amostradas, com base em relatos de danos decorrentes dos problemas fitossanitários.....	38
Figura 3. Esquema padrão para coleta de amostras de solo..	42
Figura 4. Diagrama detalhado da metodologia de extração de nematoides de amostras de solo usando o método modificado proposto por Jenkins (1964).....	45
Figura 5. Demonstração morfológica dos seis gêneros de fitonematoides. (I) <i>Meloidogyne</i> ; (II) <i>Rotylenchus</i> ; (III) <i>Helicotylenchus</i> ; (IV) <i>Pratylenchus</i> ; (V) <i>Criconebella</i> ; (VI) <i>Tylenchus</i>	50
Figura 6. Prevalência das médias populacionais dos fitonematoides.....	57
Figura 7. Mapa de calor - Heatmap com o agrupamento hierárquico e frequência de nematoides das populações em cada ponto de coleta dentro das propriedades amostradas nos municípios de São Felipe, Cruz das Almas, Governador Mangabeira, Muritiba, Cairu, Valença e Laje.....	62
Figura 8. Resultado da análise multifatorial (MFA) expressando as correlações totais existentes na representação global dos grupos (IA) . Análise de Correspondência Múltipla (MCA), expressando o total de correlações existentes na representação global (IB) . Mapa fatorial de variáveis (PCA), com relação entre componentes e variáveis. As variáveis rotuladas são as que melhor aparecem no plano, mostrando o círculo de correlação dos dados quantitativos do solo (II)	65

CAPÍTULO 2: Reação de cultivares de mandioca a populações de *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp.

Figura 1. Montagem do experimento para a obtenção das populações de nematoides (A). Avaliação dos sistemas radiculares das plantas inoculadas (B). 83	
Figura 2. Adição de aproximadamente 500g de solo infestado/vasos já cultivado com as culturas de tomate (A), mandioca (B) e milho (C).	86
Figura 3. Instalação do experimento para avaliação da reação de cultivares de mandioca às populações de nematoides em casa de vegetação na Estação Experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura.....	88
Figura 4. Parâmetros avaliados no experimento de inoculação de fitonematoides.	90
Figura 5. Etapas do processo de clarificação e coloração de raízes de mandioca utilizando fucsina ácida	92
Figura 6. Etapas do processo de montagem das lâminas com tecidos radiculares para observação em microscopia.....	93
Figura 7. Primeira avaliação do experimento busca por fonte de resistência aos 60 DAI.	95
Figura 8. Avaliação final do experimento busca por fonte de resistência aos 147 DAI.	96
Figura 9. Penetração de Juvenil de <i>Meloidogyne</i> sp. e <i>Pratylenchus</i> sp. nos tecidos radiculares de mandioca.	98

Figura 10. Análise de regressão polinomial local (LOESS) para os diferentes parâmetros de crescimento.....	100
Figura 11. Análise de regressão polinomial local (LOESS) para os diferentes parâmetros de crescimento.....	102
Figura 12. Análise de regressão polinomial local (LOESS) para os diferentes parâmetros de crescimento.....	104
Figura 13. Boxplot formado com base na altura, vigor, diâmetro do colo e o número de haste.....	106
Figura 14. Boxplot formado com base na MFPA, MSPA, MFR e MSR (volume de raiz/mL ⁻¹).....	107
Figura 15. Boxplot formado com base na incidência das populações de <i>Meloidogyne</i> sp. e <i>Pratylenchus</i> sp.....	109
.....	109

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1.A cultura da mandioca.....	19
2.2.Nematoides fitopatogênicos	20
2.2.1.Nematoides da Mandioca.....	24
2.2.1.1. <i>Meloidogyne</i> sp.	24
2.2.1.2. <i>Pratylenchus</i> sp.	25
2.2.1.3. <i>Rotylenchus</i> sp.	26
2.2.1.4. <i>Helicotylenchus</i> sp.....	27
2.2.1.5. <i>Scutellonema</i> sp.	27
2.2.1.6.Outros gêneros fitonematoides.....	27
3. REFERÊNCIAS.....	28
CAPÍTULO 1.....	32
1. INTRODUÇÃO	35
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
2.1.Levantamento de nematoides	37
2.1.1.Coleta de amostras de solo.....	42
2.2.Análises físicas e químicas de solos em áreas cultivadas	43
2.3.Extração de nematoides.....	44
2.3.1.Caracterização morfológica e morfométrica de nematoides.....	46
2.3.2.Análise dos dados	47
3. RESULTADOS.....	49
3.1.Levantamento de nematoides	49
3.1.1. <i>Meloidogyne</i> sp.	49
3.1.4. <i>Pratylenchus</i> sp.....	51
3.1.6. <i>Tylenchus</i> sp.	52
3.2.Distribuição das populações de nematoides	56
3.3.Diversidade populacional de nematoides	58
3.4.Incidência dos gêneros nos territórios.....	60
3.5.Correlação entre gêneros de nematoides e localidades	63
3.6.Correlação entre a distribuição de gêneros de nematoides e propriedades químico-físicas do solo	66
3.7.Análise de correlação de nematoides por características química e física do solo	67
4. DISCUSSÃO	69
4.1.Estudos morfométricos de seis gêneros de fitonematoides	69
4.2.Diversidade populacional de nematoides	69
4.3.Distribuição populacional de nematoides	70
4.4.Associação da diversidade de nematoides com os parâmetros quantitativos.....	71
4.5.Distribuição das populações por região	73
5. CONCLUSÕES	74
6. REFERÊNCIA	75
CAPÍTULO 2.....	78
1. INTRODUÇÃO	81
2. MATERIAL E MÉTODOS	83
2.1.Obtenção das populações.....	83
2.2.Multiplicação das populações de nematoides	84
2.3.Purificação das populações de <i>Pratylenchus</i> sp. e <i>Meloidogyne</i> sp.	86

2.4. Busca por fontes de resistência	87
2.5. Avaliação da colonização dos tecidos internos.	91
2.6. Montagem das lâminas	92
2.7. Análises Estatísticas	93
3. RESULTADOS.....	94
3.1. Clarificação e coloração do fitonematoides em tecidos radiculares	97
3.2. Análise de regressão polinomial local (LOESS)	99
3.3. Análise de Boxplot.....	104
4. DISCUSSÃO	110
5. CONCLUSÕES	112
6. REFERÊNCIA	113

1. INTRODUÇÃO GERAL

A mandioca é considerada como a principal cultura agrícola alimentar em termos de geração de renda e importância agrônômica para países em desenvolvimento. Cultivada em sua maioria por pequenos produtores, com grande importância para o desenvolvimento mundial, presente na alimentação de aproximadamente 1 bilhão de pessoas em 105 países, representando a terceira fonte de calorias seguida do arroz e do milho, sobretudo aos países em desenvolvimento (NEVES *et al.*, 2013; FAO, 2013; FIALHO & VIEIRA, 2013; LANDAU *et al.*, 2020).

Apesar de ser uma planta caracterizada pela sua rusticidade as condições edafoclimáticas adversas, a produtividade da cultura é influenciada por diversos fatores, tais como, estresses bióticos ocasionados pelos surgimentos de doenças e pragas, principalmente pela incidência de patógenos e também por estresses abióticos (déficit hídrico e danos mecânicos) afetando severamente o cultivo da mandioca e interferindo no ciclo da cultura, tais danos ocasionam perdas econômicas consideráveis (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Dentre os principais microrganismos fitopatogênicos, destacam-se os fungos de podridão radicular e as bactérias com alta incidência em solos tropicais, onde as condições, os recursos disponíveis do ambiente, e a íntima relação entre os patógenos e as plantas, incluindo a rizosfera, a endosfera (sistema vascular) e a filosfera (parte aérea), proporcionam o surgimento de uma diversidade de microrganismos, entretanto, considera-se que as doenças de importância econômica variam em certa medida entre os países e entre continentes (HILLOCKS & WYDRA, 2001; LEITE *et al.*, 2020).

As informações ainda são insuficientes quanto à distribuição em regiões produtoras da Bahia, bem como pouco se sabe sobre o impacto destas espécies e as possíveis fontes de resistência. Segundo Kimati *et al.*, (1997), pelo menos 14 espécies de fitonematoides estão associadas a cultura da mandioca, ressaltando *Meloidogyne incognita*, *Pratylenchus brachyurus*, *Rotylenchulus reniformis* e *Helicotylenchus erythrinae*. Contudo, os principais causadores de danos significativos no rendimento da cultura estão os nematoides das galhas (*Meloidogyne* sp.) e o nematoide da lesão (*P. brachyurus*), os quais infectam severamente cultivares que apresentam alta susceptibilidade e baixa resistência

genética, como sintomas reflexos, as plantas apresentam-se com tamanhos menores e folhas amareladas (KIMATI *et al.*, 1997; SHAHID; IMRAN; NASIMA, 2003).

Estudos realizados no continente africano, no Brasil e no Recôncavo da Bahia, demonstraram a presença de algumas espécies associadas a mandioca (GARRIDO *et al.*, 2008; ROSA *et al.*, 2014; AKINSANYA & AFOLAMI, 2018). Apesar da grande importância socioeconômica da cultura no Brasil, os trabalhos envolvendo a associação de nematoides fitoparasitas da mandioca, bem como as variedades resistentes e o comportamento dessas plantas aos parasitismos desses agentes, ainda são escassos para a cultura da mandioca (ROSA *et al.*, 2014), visto que, os relatos pouco descrevem as espécies encontradas, sua importância e qual o impacto é gerado.

Tais ocorrências mostram a necessidade de mais pesquisas envolvendo o conhecimento da diversidade de nematoides associados às podridões radiculares da mandioca, os mecanismos que podem estar relacionados à resistência/susceptibilidade, bem como o conhecimento das fontes de resistência. As espécies pertencentes aos gêneros *Meloidogyne* e *Pratylenchus* são destacadas pela ocorrência dos danos mais prejudiciais à maioria das culturas, devido às reduções na produtividade. Nos últimos anos houve um aumento de relatos de ocorrência de podridões radiculares em mandioca, bem como de redução de produtividade de plantios em diferentes regiões produtoras.

Nesse sentido, os objetivos deste trabalho foram: i) gerar informações acerca da biodiversidade populacional de nematoides associadas à cultura da mandioca por meio de um levantamento nos territórios de identidade do Recôncavo, Baixo Sul e Vale do Jiquiriçá no estado da Bahia; ii) correlacionar a estrutura trófica das comunidades de nematoides com os atributos físico-químicos dos solos amostrados; iii) avaliar a reação de cultivares de mandioca ao parasitismo de *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A cultura da mandioca

A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) pertence à família Euphorbiaceae, apresentando características arbustivas, raízes tuberosas e amiláceas comestíveis (NASSAR, 1999; ALVES, 2001).

A origem da mandioca, também chamada de aipim e macaxeira, ainda está sendo discutida, porém alguns estudos apontam países da América do Sul como possíveis locais de origem (SANTOS *et al.*, 2018). Estudos apontam que os programas de melhoramento genético apresentam aproximadamente 8.500 acessos no germoplasma mundial, ficando o Brasil com mais de 4.000 acessos (COSMO *et al.*, 2020).

Por ser uma planta considerada de clima tropical e subtropical, as cultivares ou variedades de diferentes espécies vegetais, destinadas à produção agrícola foram melhoradas e adaptadas para uso industrial ou para mesa, sendo a “farinha” um dos produtos derivados das raízes de mandioca submetidas a processos tecnológicos adequados de fabricação e beneficiamento (SANTOS *et al.*, 2018).

Estudos realizados por Lerdlattaporn *et al.*, (2021), mostram que em 2019, a Tailândia destacou-se como o maior exportador mundial de amido, liderando 80% da participação do mercado mundial de exportação de amido de mandioca nativa. O amido é popularmente utilizado como matéria-prima em indústrias não alimentícias e alimentícias. Sendo que, nas indústrias alimentícias é utilizada como agente gelificante, espessante, revestimento e formador de textura para produzir lanches, molhos, adoçantes e pães. Já nas indústrias não alimentícias, a fécula de mandioca é utilizada como principal ingrediente para a produção de papel, cola, remédios, têxtil, bioetanol e outros produtos industriais (SETYANINGSIH *et al.*, 2021).

Dentre os países da África, Ásia e América Latina, representa a base dos principais alimentos energéticos para mais de 500 milhões de pessoas (LARA *et al.*, 2008). A produção Mundial de mandioca em raiz, vem sendo liderada pelos países da Nigéria, Congo, Tailândia e Brasil (COÊLHO & XIMENES, 2020; IBGE, 2020). Além de ser um país considerado como provável centro de origem e diversidade da mandioca, o Brasil em sua ampla extensão territorial contempla grandes e principalmente pequenos produtores rurais que atribuem ao cultivo da

M. esculenta importância econômica e social, pois a cultura é utilizada na alimentação humana e animal como também serve de matéria-prima de produtos e subprodutos industriais (RAUL, 2019).

Em função da sua rusticidade, e a alta capacidade produtiva, e qualidade do amido, bem como a parte aérea da planta vem alcançando novos destaques nos mercados, tanto pela utilização da parte aérea e das raízes na alimentação animal, quanto pela utilização na indústria (alimentícia e química) (SANTOS *et al.*, 2018).

O cultivo da mandioca pode ser afetado severamente por doenças causadas por patógenos de parte aérea e habitantes de solo, assim como, a infestação por pragas responsáveis por interferir diretamente no ciclo da cultura, gerando perdas econômicas consideráveis (RODRIGUES *et al.*, 2019). Dentre as doenças mais comuns que afetam a cultura estão as podridões radiculares, bacterioses, manchas foliares, viroses, superalongamento, bem como os danos causados pela ocorrência de nematoides (MORAIS *et al.*, 2013).

Segundo Garrido *et al.*, (2008), problemas ocasionados por nematoides na cultura da mandioca suscetíveis, pode reduzir em até 87% a produtividade. Em estudos realizados por Rosa *et al.*, (2014), às espécies de nematoides mais prevalentes na cultura foram *P. brachyurus* e *M. incognita*.

2.2. Nematoides fitopatogênicos

Os nematoides estão presentes em diversos habitats, destacando-se entre os animais mais abundantes do mundo, tais comportamentos patogênicos têm proporcionado a serem um dos grupos mais bem-sucedidos da terra, sendo parasitas na maioria das plantas por ser considerados onipresentes no solo (MANOSALVA *et al.*, 2015; CHOE *et al.*, 2012).

Os nematoides parasitas de plantas, também chamados de fitonematoides, apresentam grande relevância na produtividade da maioria das culturas, apesar que, a avaliação dos danos econômicos ocasionados por eles seja difícil identificá-los visualmente, visto que, ocorrem abaixo da superfície do solo (raízes), o mesmo ainda pode ser confundidos com as características agronômicas da cultura e até mesmo os sintomas reflexos de deficiência nutricional da planta (DAVIES & CURTIS, 2011).

Os nematoides são classificados quanto ao hábito alimentar, portanto, apresentam-se como organismos de vida livre no solo, assim como os fitoparasitas

(BLAXTER & KOUTSOVOULOS, 2015). Os fitonematoides fazem parte do grupo dos invertebrados, classificados em vermes cilíndricos, alongados, não-segmentados, de tamanho microscópico variando entre 0,2 a 3,0 mm (FERRAZ & BROWN, 2016).

Os nematoides apresentam uma diversidade real em torno de 1 milhão de espécies, sendo que menos de 30.000 espécies foram descritas e pelo menos metade dos nematoides são de vida livre (SMYTHE; HOLOVACHOV; KOCOT, 2019). Os fitonematoides são parasitas de tecidos vegetais, principalmente das raízes, pertencentes ao Filo Nematoda, com base na classificação simplificada a partir de Siddiqi, (2000) e amplamente baseada em Decraemer & Hunt, (2006), com as eventuais atualizações e agrupados em duas classes: na classes Enoplea, destacando-se os gêneros *Xiphinema* e *Paralongidorus* e na classe Chromadorea com destaque para os gêneros *Globodera*, *Heterodera*, *Meloidogyne*, *Radopholus*, *Pratylenchus*, *Rotylenchulus*, *Helicotylenchus*, *Ditylenchus*, *Bursaphelenchus*, *Aphelenchoides*, se tratando da grande importância em diversas culturas no mundo (FERRAZ & BROWN, 2016; HOLTERMAN *et al.*, 2017; GRYNBERG *et al.*, 2020; BLAXTER *et al.*, 2016).

São microrganismos que exibem características únicas e invariáveis, portanto, sendo incolores e transparentes, fêmeas de *Meloidogyne* e *Heterodera* são obesas e se tornam amareladas, douradas ou pardo-escuras (*Heterodera*, *Globodera*) após a morte. O corpo é cilíndrico (filiforme ou fusiforme), e em casos específicos, a presença de fêmeas sexualmente maduras obesas em forma aberrante tipicamente a uma pêra, esfera, rim e limão, ou seja, roliça e alongada (ondulação dorsoventral). Quanto aos tipos de reprodução, ocorre de forma sexuada (anfimíxia) e assexuada (partenogênese) e apresentam machos e fêmeas com dimorfismo sexual (FERRAZ & BROWN, 2016).

Os nematoides apresentam uma morfologia bem complexa, destacando-se pela composição dos órgãos sensoriais (quimiorreceptores) presentes na cutícula, que atuam como receptores químicos. A epiderme e a musculatura somática, formam um tubo cilíndrico com um esqueleto sob pressão hidrostática interna composto por fluido pseudocelomático, possibilitando sua locomoção entre as partículas dos solo e pequenos filmes de água, movem-se de forma serpentina, direcionados pelos órgãos sensoriais que captam estímulos mecânicos ou químicos (PETZOLD *et al.*, 2011).

As espécies de fitonematoides que causam danos economicamente e possivelmente as mais estudadas, são aquelas que causam lesões necróticas (endoparasitas migratórios) e se alimentam das raízes de plantas hospedeiras de forma destrutiva, assim como as espécies que modificam o sistema radicular das plantas hospedeira para formar um sumidouro de nutrientes ao qual utiliza para se alimentar (endoparasitas sedentários) (AKKER *et al.*, 2014).

Esses fitopatógenos são vermes presentes no solo, responsável por ocasionar alta infestação em solos cultivados, permanecem na rizosfera da planta e conseqüentemente invadem o sistema radicular da planta, perfurando com o aparelho bucal e forçando sua entrada na raiz, injetam substância tóxicas através das glândulas salivares que atuam na desagregação das células do tecido da raiz (OKUBARA; PEETZ; SHARPE, 2019).

Os nematoides do gênero *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Radopholus*, *Scutellonema*, *Heterodera* e *Globodera* destacam-se entre as espécies de fitonematoides que causam as maiores perdas econômicas, a depender da cultura e das condições do ambiente, e desta forma são classificados em endoparasitas ou semi-endoparasitas, sendo sedentários ou migratórios (FOSU-NYARKO; JONES, 2016; JONES; IQBAL; FOSU-NYARKO, 2016).

Ainda segundo Jones; Iqbal; Fosu-Nyarko, (2016), a diferença entre os nematoides sedentários e migratórios está no sub-estágios juvenis de segundo estágio (J2), terceiro estágio (J3), quarto estágio (J4) e adultos, sendo assim durante os estágios de desenvolvimento são parecidos com vermes e móveis no solo até uma possível infecção na planta hospedeira, perfuram as células presentes nas raízes utilizando o estilete bucal, injetando secreção de enzimas modificadas para facilitar a entradas nas células vegetais, desta forma, migram dentro das raízes das plantas hospedeiras quando são espécies migratórias e se alimenta das células presentes no citoplasma das células, assim, entra e sai das raízes causando novas infecções, já as espécies sedentárias ao infectar as raízes formam o sítio de alimentação através de células multinucleadas (cenocítico) e tornam-se fêmeas adultas sedentárias durante todo o ciclo de vida.

Os fitonematoides apresentam um ciclo de vida bem complexo, com algumas características específicas para cada gênero (BLAXTER; KOUTSOVOULOS, 2015). Os nematoides são definidos arbitrariamente, quanto às formas distintas de penetração no tecido da planta para formar o sítio de alimentação, então, são

classificados os tipos de parasitismo desenvolvido por esses patógenos, sendo ectoparasitas migratórios, endoparasitas migratórias ou sedentárias e semiendoparasitas podendo ter estágios migratórios (JONES *et al.*, 2013; FERRAZ & BROWN, 2016). Todos apresentam estiletes vazados e salientes, ou lanças de boca, usados para penetrar nas células, possibilitando sua a alimentação nas células do hospedeiro.

Os ectoparasitas (*sensu stricto*) introduzem o estilete bucal no interior das raízes, porém o corpo fica pra fora do hospedeiro, no solo, propício a influência das condições ambientais, geralmente limitam o parasitismo a pelos radiculares e células das camadas mais superficiais, epidérmicas e subepidérmicas; os endoparasitas introduzem todo o seu corpo dentro do hospedeiro durante pelo menos uma parte de seus ciclos de vida; assim como os nematoides pertencentes a nova classificação (semiendoparasitas) em que alguns juvenis e/ou as fêmeas sedentárias ficam com a região anterior (esofagiana) penetrado na raiz, ficando com o corpo na parte externa e propício a influência das condições ambientais (MACDONALD, 1979; JONES *et al.*, 2013; FERRAZ & BROWN, 2016; LIU & PARK, 2018).

Danos provocados por nematoides, consideram-se irreparáveis a nível de produção por ocasionar um distúrbio hormonal, resultando em hipertrofia das células e/ou hiperplasia das multinucleadas, devido ao desvio de água e nutrientes ou até mesmo a interrupção da translocação normal dos drenos metabólicos da planta, induzem a formação de estruturas (galhas e lesões) de variadas formas, rompendo e deformando os elementos vasculares (BLAXTER & KOUTSOVOULOS, 2015).

As principais ações desses parasitas nas plantas são as ocorrências de deformações e as lesões físicas diretas, ou seja, injúrias mecânicas decorrentes do movimento ou parasitismo do nematoide nas raízes das plantas, desvios de nutrientes essenciais e intoxicações por toxinas ou enzimas secretadas pelo nematoide, bem como os danos secundários causados por bactérias e fungos infectados juntamente ou após a infecção (RIEDEL, 1988; COYNE & AFFOKPON, 2018) Essas ações associadas a outros fatores resultam em sintomas que incluem necrose radicular, galhas radiculares, ramificação anormal das raízes, deficiências nutricionais, murcha e clorose (JÚNIOR *et al.*, 2016).

2.2.1 Nematoides da Mandioca

Alguns estudos trazem o relato da ocorrência de diferentes espécies de nematoides parasitando as raízes de mandioca, destacando os fitonematoides causadores de galhas (*Meloidogyne* sp.), o nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*), o nematóide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*), os nematoides espiralado (*Helicotylenchus erythrinae* e *dihystera*), e *Scutellonema bradys*, além da ocorrência de *Aphelenchoides* sp., *Aphelenchus* sp., *Xiphinema longicaudatum*; *Mesocriconema* sp. e *Tylenchus* sp. foram encontradas próximas à rizosfera da planta (HILLOCKS & WYDRA, 2001; GARRIDO *et al.*, 2008; ROSA *et al.*, 2014). Sendo que, *Meloidogyne* sp. e *P. brachyurus* são os nematoides parasitas vegetais, registrados com maior frequência aos danos à mandioca, estando associados aos danos mais prejudiciais, ocasionando grandes reduções na produtividade na cultura da mandioca, variando conforme a variedade da planta e a taxa populacional da espécie do nematoide presente no solo (COYNE & AFFOKPON, 2018; GRYNBERG *et al.*, 2020).

Segundo Rosa *et al.*, (2014), ao se tratar de espécie de grande importância econômica, a utilização de medidas preventivas deve ser adotada no intuito de isolar e prevenir a disseminação da espécie, algumas das medidas que devem ser adotadas no cultivo da mandioca é a utilização de equipamentos isentos de patógenos, o uso de maniva semente sadia (segmentos do caule) e o emprego de rotação de cultura, assim como o uso de cultivares resistentes. Ressalta-se, estudos desenvolvidos com a utilização de cultivares resistentes ainda são escassos para a cultura da mandioca.

2.2.1.1 *Meloidogyne* sp.

Pertencentes à ordem Rhabditida, superfamília Tylenchidea, família Meloidognidae, são parasitas obrigatórios classificados como endoparasitas sedentários (FERRAZ & BROWN, 2016), fêmeas maduras colocam ovos envoltos de uma matriz gelatinosa protetora, após a embriogênese o juvenil de segundo estágio (J2) eclode do ovo e já apresenta o estágio infeccioso, então migram através do solo ao encontro de uma raiz para colonizar, perfurando a parede celular, entram e migram intracelularmente no cilindro vascular através de uma combinação de dano físico causado pelo empuxo do estomatoestilete e pela ação

de injeção de secreções enzimáticas das glândulas esofagianas que atuam na degradação das células, e ingestão do conteúdo citoplasmático (JONES *et al.*, 2013; FERRAZ & BROWN, 2016; OKUBARA & PEETZ; SHARPE, 2019; GRYNBERG *et al.*, 2020). Os juvenis machos de estádios J4 são vermiformes e acabam deixando a raiz, permanecendo apenas as fêmeas adultas que continuam se alimentando e aumentando de tamanho corporal para se tornarem maduras e dão início a um novo ciclo (MCSORLEY, 2003; JONES *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2017).

Danos decorrentes das ações provocadas por *Meloidogyne* associados a cultura da mandioca, são relatadas em muitas regiões do mundo, englobando o Brasil, Moçambique, Venezuela, Estados Unidos, Uganda, Malawi, Nigéria e Níger (COYNE, 1994; ROSA *et al.*, 2014). Estudos realizados na Bahia, a espécie de “*M. incognita*” apresentou uma incidência de 9,1% nas raízes de mandioca, e 18,2% presente na rizosfera da mandioca (GARRIDO *et al.*, 2008). Desta forma, se destaca por apresentar grande importância nas culturas em todo o mundo e por apresentar um grande número de hospedeiros e conseqüentemente perdas elevadas na produção, é também conhecido pela formação de galhas nos sistemas radiculares das plantas (LOPES DA SILVA *et al.*, 2016; CAZZO *et al.*, 2020).

Segundo Jones *et al.*, (2013), infecções ocasionadas por *Meloidogyne*, podem levar a deterioração na qualidade do produto, bem como a comercialização, resultando em até 100% de perdas brutas na produção.

De acordo com Jones *et al.*, (2013), esse gênero é representado por 98 espécies e parasitam praticamente todas as espécies de plantas vasculares. Estudos têm mostrado que os fitonematoides que apresentam relatos por estarem associados e por causar danos na cultura da mandioca, destacam-se as espécies de *M. incognita* (MAKUMBI-KIDZA; SPEIJER; SIKORA, 2000; GARRIDO *et al.*, 2008; JAYI, 2019); *M. javanica* (BRIDGE; COYNE; KWOSEH, 2005) e a espécie *M. enterolobii* constituindo uma nova ocorrência foi identificada no Brasil (ROSA *et al.*, 2014). Segundo Coyne & Affokpon, (2018) a espécie de *M. arenaria* e *M. hapla* foram identificadas associadas à cultura.

2.2.1.2 *Pratylenchus* sp.

Pertence à ordem Rhabditida, superfamília Tylenchidea, família

Pratylenchidae, classificados como endoparasitas migradores (FERRAZ & BROWN, 2016), com o ciclo de vida que dura de 3 a 8 semanas, após o J2 eclodir do ovo, todos os estádios juvenis e adultos são semelhantes a vermes e móveis capazes de infectar as raízes ou órgãos de armazenamentos (JONES *et al.*, 2013). Representa o segundo gênero com grande importância econômica na cultura da mandioca, com mais de 60 espécies descritas distribuídas em todo o mundo (JONES *et al.*, 2013), sendo que no Brasil a espécie mais importante devido ao maior número de ocorrência na cultura da mandioca é *P. brachyurus*.

Segundo Mcsorley & O'hair, (1983), em acordo com Rosa *et al.*, (2014), *P. brachyurus* é considerada entre as espécies mais agressivas à cultura da mandioca em vários países, incluindo o Brasil, Nigéria, Estados Unidos, Madagascar, Togo, Malásia, Costa do Marfim e Flórida. Segundo Garrido *et al.*, (2008), em estudos realizados na Bahia, a espécie de "*P. brachyurus*" apresentou uma incidência de 68,2% nas raízes de mandioca, e 27,3% presente na rizósfera da mandioca. Ainda em estudos realizados por Rosa *et al.*, (2014), utilizando as cultivares de mandioca (Caipora e Colonial), mostrou-se imune à espécie de *P. zae*.

2.2.1.3 *Rotylenchus* sp.

Pertence à ordem Rhabditida, superfamília Tylenchidea, família Hoplolaimidae, são parasitas classificados como semiendoparasitas sedentários. Mcsorley & O'hair, (1983) e Ferraz & Brown, (2016), ao estudar os nematoides de mandioca, relatou que em experimento com a espécie *R. reniformis* nenhum efeito mensurável no crescimento da planta que represente danos econômicos consideráveis à cultura foram observados, embora seja amplamente distribuído na Nigéria, Flórida, Jamaica, Togo, Filipinas, Trindade, Porto Rico, nas Índias Ocidentais Francesas, Malawi-Zâmbia-Zimbabwe, Taiwan, Filipinas e Fiji.

Estudo realizado por Garrido *et al.*, (2008), confirmam que apesar das populações elevadas de *R. reniformis* presentes no solo, a cultura da mandioca não representa uma boa hospedeira, porém pode ocasionar reduções na produtividade, entretanto relatou que foi observado uma incidência de 9,1% nas raízes de mandioca e 100% presentes na rizosfera da mandioca.

2.2.1.4 *Helicotylenchus* sp.

Pertence à ordem Rhabditida, superfamília Tylenchidea, família Hoplolaimidae, são parasitas sedentários, classificados como ectoparasitas (FERRAZ & BROWN, 2016). Relatos apontam que muitas espécies de nematoides espirais foram identificadas na rizosfera associados à cultura da mandioca. Entre eles, destacam-se as espécies *H. cavenssi*, *H. dihystra* e *H. erythrinae* com relatos na Nigéria, e *H. dihystra* com relatos no Brasil, Flórida e Fiji, e *H. erythrinae* com relato em Togo (MCSORLEY & O'HAIR, 1983). Portanto, as espécies frequentemente encontradas associadas à mandioca são *H. dihystra* e *H. erythrinae* (COYNE & AFFOKPON, 2018).

De acordo com Garrido *et al.*, (2008), em estudos realizados na Bahia, foi identificado uma pequena porcentagem equivalente a 4,5% de *Helicotylenchus* sp. presentes na rizosfera da mandioca. Segundo Rosa *et al.*, (2014), duas espécies de *Helicotylenchus* (*H. dihystra* e *H. erythrinae*) presentes na rizosfera da mandioca, constituíram novos relatos no Acará (PA), Macapá (AP) e Igarapé-Açu (PA), e possivelmente *H. erythrinae* tenha se adaptado ao cultivo da mandioca.

2.2.1.5 *Scutellonema* sp.

Pertence à ordem Rhabditida, superfamília Tylenchidea, família Hoplolaimidae, atua como ectoparasita, pode se comportar como endoparasita migrador (FERRAZ & BROWN, 2016). Na África *S. bradys* já foi relatado em associação à mandioca na Nigéria e no Togo (MCSORLEY & O'HAIR, 1983) e na Bahia com 31,6% de incidência nas raízes de mandioca e 31,8% de incidência presentes na rizosfera da mandioca.

2.2.1.6 Outros gêneros fitonematoides

Outros nematoides parasitas de plantas, associados à cultura da mandioca são relatados por (MCSORLEY & O'HAIR, 1983; GARRIDO *et al.*, 2008; ROSA *et al.*, 2014), sendo *Tylenchus* sp.; *Aphelenchus* sp.; *Mesocriconema* sp.; *Aphelenchoides* sp.; e *Xiphinema longicaudatum*, entretanto não foram atribuídos danos econômicos consideráveis.

3. REFERÊNCIAS

AJAYI, A. M. Root-knot Nematodes: AWake-up Call to Rescue Crops in Africa from *Meloidogyne incognita* and its Allies. **Issue 12 Ser. I**, v. 12, p. 78–89, 2019.

AKINSANYA, A. K.; AFOLAMI, S. O. Effect of seven elite cassava (*Manihot esculenta* crantz) varieties to infection by meloidogyne spp. And other nematodes in the field. **Nematropica**, v. 48, n. 1, p. 50–58, 2018.

AKKER, S. E.-V. DEN *et al.* The Transcriptome of *Nacobbus aberrans* Reveals Insights into the Evolution of Sedentary Endoparasitism in Plant-Parasitic Nematodes, 2014.

ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. **Cassava: biology, production and utilization**, p. 67–89, 2001.

BLAXTER, M. *et al.* Phylogenomics of Nematoda. **Next Generation Systematics**, 2016.

BLAXTER, M.; KOUTSOVOULOS, G. The evolution of parasitism in Nematoda. **Parasitology**, v. 142, 2015.

BRIDGE, J.; COYNE, D. L.; KWOSEH, C. K. Nematode parasites of tropical root and tuber crops (excluding potatoes). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**, p. 221–258, 2005.

CAZZO, V. N. *et al.* Action of formulated rosemary against *Meloidogyne incognita* in soybean. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 1, n. 1, 2020.

CHOE, A. *et al.* Ascaroside signaling is widely conserved among nematodes. **Current Biology**, v. 22, n. 9, 2012.

COÊLHO, J. DANTAS.; XIMENES, L. FEIJÃO. Mandioca e seus derivados, 2020.

COSMO, M. N. B. *et al.* Melhoramento da mandioca. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 4, n. 1, 2020.

COYNE, D.; AFFOKPON, A. Nematode parasites of tropical root and tuber crops (excluding potatoes). **Plant parasitic nematodes in subtropical**, 2018.

COYNE, D. L. Nematode pests of cassava. **African Crop Science**, 1994.

DAVIES, K. G.; CURTIS, R. H. C. Cuticle Surface coat of plant-parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 49, p. 135–156, 2011.

DECRAEMER, W.; HUNT, D. J. Structure and classification. **Plant nematology**, 2006.

FAO. Produzir mais com menos um guia para a intensificação sustentável da produção. **FAO**, 2013.

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. Nematologia de plantas: fundamentos e

importância. **Repositorio.usp.br**, v. 1, n. 251, 2016.

FIALHO, J. DE F.; VIEIRA, E. A. Mandioca no cerrado: orientações técnicas. 2013.

FOSU-NYARKO, J.; JONES, M. G. K. Advances in Understanding the Molecular Mechanisms of Root Lesion Nematode Host Interactions. **Annual Review of Phytopathology**, 2016.

FREITAS, J.; ALANO, F. E.; TÉCNICOS, V. E. Mandioca no cerrado: orientações técnicas. **EMBRAPA**, 2013.

GARRIDO, M. D. S. *et al.* Nematodes associated with rhizosphere and roots of cassava planted in rotation with yam crops. **Summa Phytopathologica**, v. 34, n. 2, p. 181–182, 2008.

GRYNBERG, P. *et al.* Comparative genomics reveals novel target genes towards specific control of plant-parasitic nematodes. **Genes**, v. 11, n. 11, 2020.

HILLOCKS, R. J.; WYDRA, K. Bacterial, fungal and nematode diseases. Em: **Cassava: biology, production and utilization**, 2001.

HOLTERMAN, M. *et al.* Disparate gain and loss of parasitic abilities among nematode lineages. **PLoS ONE**, v. 12, n. 9, 2017.

IBGE, - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Acesso em: 5 out. 2022.

JONES, J. T. *et al.* Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 14, n. 9, p. 946–961, 2013.

JONES, M. G. K.; IQBAL, SADIA.; FOSU-NYARKO, JOHN. Belowground Defence Strategies Against Migratory Nematodes. Em: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2016.

JÚNIOR, V. C. A. *et al.* Resistência de clones de batata-doce a *Meloidogyne javanica*. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 1, 2016.

KIMATI, H. *et al.* Manual de fitopatologia Volume 2: Doenças das Plantas Cultivadas. **Editora Agronômica Ceres Ltda**, v. 2, 1997.

LANDAU, E. C. *et al.* Capítulo 30 Evolução da Produção de Mandioca (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae). **Embrapa Milho e Sorgo**, 2012.

LANDAU, E. C. *et al.* Evolução da produção de mandioca (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae). **Alice.cnptia.embrapa.br**, 2020.

LARA, A. C. DA C. *et al.* Melhoramento genético da cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 4, p. 54–64, 2008.

LEITE, N. DE O. G. *et al.* Influências das interações Patógeno- Hospedeiro- Meio Ambiente nas funções Biológicas das plantas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, 2020.

LERDLATTAPORN, R. *et al.* Implementing circular economy concept by converting cassava pulp and wastewater to biogas for sustainable production in starch industry. **Sustainable Environment Research**, v. 31, n. 1, 2021.

LIMA, F. S. O. *et al.* Nematodes Affecting Soybean and Sustainable Practices for Their Management. Em: **Soybean - The Basis of Yield, Biomass and Productivity**, 2017.

LIU, W.; PARK, S. W. Underground mystery: Interactions between plant roots and parasitic nematodes. **Current Plant Biology**, 2018.

LOPES DA SILVA, C. *et al.* Espécies de *Meloidogyne* associadas a vegetais em microrregiões do estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 710–719, 2016.

MACDONALD, D. Some Interactions of Plant Parasitic Nematodes and Higher Plants. **Ecology of Root Pathogens**, v. 5, p. 157–178, 1979.

MAKUMBI-KIDZA, N. N.; SPEIJER, P. R.; SIKORA, R. A. Effects of *Meloidogyne incognita* on growth and storage-root formation of cassava (*Manihot esculenta*). **Journal of Nematology**, v. 32, n. SUPPL. 4, 2000.

MANOSALVA, P. *et al.* Conserved nematode signalling molecules elicit plant defenses and pathogen resistance. **Nature Communications**, v. 6, 2015.

MCSORLEY, R. Adaptations of nematodes to environmental extremes. **Florida Entomologist**. 2003.

MCSORLEY, R.; O'HAIR, S. Monographs: Nematodes of Cassava, *Manihot esculenta* Crantz. **Nematropica**, JL Parrado, 1983.

MORAIS, M. DOS S. *et al.* Levantamento e avaliação da incidência das doenças da mandioca no estado da Paraíba. **Summa Phytopathologica**, v. 39, n. 3, 2013.

NASSAR, N. M. A. Cassava, *Manihot esculenta* Crantz, Genetic Resources: Their Collection, Evaluation, and Manipulation. **Advances in Agronomy**, v. 69, n. C, 1999.

NEVES, J. R. *et al.* Avaliação e seleção de variedades comerciais de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no banco de germoplasma da embrapa mandioca e fruticultura, 2013.

OKUBARA, P. A.; PEETZ, A. B.; SHARPE, R. M. Cereal root interactions with soilborne pathogens—from trait to gene and back. **Agronomy** 2019, Vol. 9, Page 188, 2019.

PETZOLD, B. C. *et al.* *Caenorhabditis elegans* body mechanics are regulated by body wall muscle tone. **Biophysical Journal**, v. 100, n. 8, 2011.

PICCININ, E.; PASCHOLATI, S. F. Doenças do abacateiro. Manual de fitopatologia 2: Doenças das Plantas Cultivadas, p. 10–17, 1997.

RAUL, L. Farinha de mandioca: o sabor brasileiro e as receitas da Bahia. 2019.

RIEDEL, R. M. Interactions of plant-parasitic nematodes with soil-borne plant pathogens. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 24, n. 1–3, p. 281–292, 1988.

RODRIGUES, S. P. *et al.* Tolerância à deterioração fisiológica pós-colheita em raízes de mandioca de mesa no espírito santo, 2019.

ROSA, J. M. O. *et al.* Nematoides fitoparasitas associados à mandioca na Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 2, 2014.

SANTOS, D. E. S. R. T. *et al.* Estudo prospectivo de documentos de patentes relacionados aos produtos e subprodutos alimentícios da mandioca. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, 2018.

SETYANINGSIH, W. *et al.* Process optimization for ultrasound-assisted starch production from cassava (*Manihot esculenta* crantz) using response surface methodology. **Agronomy**, v. 11, n. 1, 2021.

SHAHID, SHAUKAT. S.; IMRAN, A. S.; NASIMA, I. ALI. Nematicidal, Alleopathic and Antifungal Potential of *Launaea procumbens*. **Plant Pathology Journal**, v. 2, n. 3, 2003.

SIDDIQI, M. Tylenchida: parasites of plants and insects, 2000.

SMYTHE, A. B.; HOLOVACHOV, O.; KOCOT, K. M. Improved phylogenomic sampling of free-living nematodes enhances resolution of higher-level nematode phylogeny. **BMC Evolutionary Biology**, v. 19, n. 1, 2019.

CAPÍTULO 1

Levantamento de nematoides associados à mandioca nos territórios do Recôncavo, Baixo Sul e Vale do Jiquiriçá na Bahia, Brasil¹

¹Artigo submetido ao comitê editorial do periódico científico Tropical Plant Pathology

Levantamento de nematoides associados à mandioca nos territórios do Recôncavo, Baixo Sul e Vale do Jiquiriçá na Bahia, Brasil

RESUMO: A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) possui grande importância socioeconômica no Brasil, no entanto, há ainda uma escassez de informações sobre a associação de nematoides fitoparasitas com a cultura, bem como sua distribuição. O presente trabalho teve por objetivo o levantamento dos principais gêneros de nematoides associadas à produção de mandioca. Para tanto, um total de 56 amostras foram coletadas em 41 propriedades, as quais estão situadas em 24 localidades e dentro de 3 territórios de identidade do estado da Bahia. Amostras de solo foram obtidas em áreas de mandioca recém-cultivadas, bem como de áreas em que ocorreram perdas na produção de raízes tuberosas devido a algum fator desconhecido para o produtor e/ou presença de podridão radicular. As amostras foram submetidas ao processo de extração do solo, de identificação morfométrica e morfológica com base em chaves dicotômicas específicas para cada gênero e análises físico-químicas, bem como os solos restantes foram mantidos em casa de vegetação em cultivo com tomate, milho e mandioca visando a manutenção das populações de nematoides. A análise relacionada à prevalência dos gêneros mostrou que os gêneros mais prevalentes foram *Rotylenchus* sp., *Meloidogyne* sp., *Helicotylenchus* sp., *Pratylenchus* sp. e dos nematoides de vida livre no solo em todos os territórios, porém *Criconebella* e *Tylenchus* foram encontrados no Recôncavo e Vale do Jiquiriçá, mas não no Baixo Sul. Logo, para os territórios do Recôncavo, Vale do Jiquiriçá e Baixo Sul a distribuição dos fitonematoides seguiu de acordo com os parâmetros de diversidade, por meio do índice de Shannon-Weaver (H'), índice de Equitabilidade de Pielou (J'), índice de riqueza de Margalef (S), índice de dominância de Simpson (D), o território do Baixo Sul apresentou os menores valores de diversidade, riqueza e abundância de espécies estudadas, ao contrário do Vale do Jiquiriçá que apresentou os maiores valores para as médias avaliadas nos territórios, assim como o território do Recôncavo, que também sobressaiu para a riqueza de espécies. A análise multivariada para incidência e prevalência de nematoides, bem como, os metadados gerados para os parâmetros químicos e físicos dos solos revelam que a predominância de nematoides nas áreas avaliadas está em função de associações por compartilhamento de recursos disponíveis dentro do próprio comunidade ecológica, uma vez que as correlações existentes não estão diretamente relacionadas com as características físico-químicas do solo.

Palavras-chave: Fitonematoides, *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp. Diversidade populacional.

Survey of nematodes associated with cassava from Recôncavo, Baixo Sul and Vale do Jiquiriçá territories in Bahia, Brazil

ABSTRACT: Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) has great socioeconomic importance in Brazil, however, there is still a lack of information about the association of phytoparasitic nematodes with the crop as well as its distribution. The objective of this work was to survey the main nematode genus associated with the cassava production. For that, a total of 56 samples were collected in 41 properties, across 24 locations and within 3 identity territories of the state of Bahia. Soil samples were obtained from newly cultivated cassava areas, as well as, areas in which there were occurrences of losses in tuberous root yield due to some unknown factor for the producer and/or presence of root rot diseases. The soil samples were submitted nematode extraction, followed by morphometric and morphological identification based on specific dichotomous keys for each genus and, physical-chemical analysis, as well as the remaining soils were kept in a greenhouse under cultivation with tomato, corn and cassava to maintain nematode populations. The analysis related to the prevalence of genera showed that the most prevalent genus were *Rotylenchus* sp., *Meloidogyne* sp., *Helicotylenchus* sp., *Pratylenchus* sp. and free-living nematodes in the soil across all territories, however *Criconemella* and *Tylenchus* were found in Recôncavo and Vale do Jiquiriçá, but no in the Baixo Sul. Therefore, for the territories of Recôncavo, Vale do Jiquiriçá and Baixo Sul, the distribution of phytonematodes followed according to the diversity parameters, through the Shannon-Weaver index (H'), Pielou's Evenness index (J'), Margalef richness index (S), Simpson dominance index (D), the territory of the Baixo Sul presented the lowest values of diversity, richness and abundance of studied species, unlike the Vale do Jiquiriçá that presented the highest values for the averages evaluated in the territories, as well as the territory of the Recôncavo, which also stood out for the richness of species. The multivariate analysis for the nematode incidence and prevalence, as well as, the metadata generated for the chemical and physical soils parameters revealed that the predominance of nematodes in the evaluated areas is due to associations by sharing available resources within the ecological community itself, since the existing correlations are not directly related to the physical-chemical characteristics of the soil.

Key words: Phytonematoids, *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp., Population diversity.

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma importante fonte de energia para países em desenvolvimento nos continentes África, Ásia e América do Sul, e apresenta como principais características a rusticidade, por se desenvolver em condições marginais e adaptabilidade aos sistemas agrícolas tradicionais, as condições ambientais e de solo (OYETUNDE *et al.*, 2022). Além de sua relevância como alimento básico, promove o desenvolvimento econômico e a segurança alimentar, através da geração de renda para a agricultura e emprego por meio de famílias, trabalhadores rurais e redução da pobreza pela maioria da população que depende diretamente ou indiretamente (GBIGBI & CHUKS-OKONTA, 2021; AKOMOLAFE *et al.*, 2022; FASAE & YUSUF, 2022).

De acordo com o último levantamento da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAOSTAT (COELHO & XIMENES, 2020; IBGE, 2022), a produção mundial de raiz de mandioca correspondeu a 282,73 milhões de toneladas no ano de 2018, estando o Brasil na quinta posição entre as culturas de produção de alimentos mais importante do mundo, com uma produção de 17,64 milhões de toneladas.

A Bahia está entre os estados brasileiros que apresentam maior produção de mandioca por área, ocupando a terceira colocação no ranking nacional com uma concentração de 10,09% por área total plantada (ROBÉRIO *et al.*, 2019; IBGE, 2022). Infelizmente, relatórios recentes indicam um aumento nos casos de perdas de produtividade e ocorrência de podridão radicular em diferentes territórios de identidades deste estado brasileiro. A pesquisa realizada por Villas-Boas *et al.*, (2017) lançou luz sobre a presença de patógenos da podridão radicular da mandioca (CRRD) que causam podridão seca, preta e mole da mandioca em diferentes regiões produtoras da Bahia, no entanto, muitos casos de perdas de produção não puderam ser explicados apenas pela ocorrência de CRRD, e a hipótese de ocorrência do nematoide foi considerada significativa para os danos observados.

Estudos anteriores já relatavam a ocorrência de diferentes espécies de nematoides associados à produção da mandioca, sendo os gêneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Rotylenchulus*, *Helicotylenchus*, *Scutellonema*, *Aphelenchoides*, *Aphelenchus*, *Xiphinema*, *Mesocriconema* e *Tylenchus* os mais frequentes

encontrados próximo à rizosfera da planta (HILLOCKS & WYDRA, 2001; GARRIDO *et al.*, 2008; ROSA *et al.*, 2014), sendo *Meloidogyne* sp. e *Pratylenchus* sp. provavelmente o gênero mais perigoso para a produção de mandioca. Esses danos variam de acordo com a variedade vegetal e a densidade populacional das espécies de nematoides presentes no solo (KOLOMBIA *et al.*, 2021; GRYNBERG *et al.*, 2020).

Danos econômicos ocasionados por fitonematoides vão desde a retirada dos nutrientes presentes nas células hospedeiras, alteração na morfologia radicular e quebra de resistência das plantas a patógenos da podridão radicular, devido os danos secundários provocados nas raízes pela abertura de portas de entradas para outros patógenos, como fungos e bactérias que atuam a partir das interações entre patógenos-hospedeiros no processo de infecção, aumento e progresso das doenças responsáveis pela podridão radicular na maioria das culturas (OKUBARA *et al.*, 2019; ROCHA *et al.*, 2020).

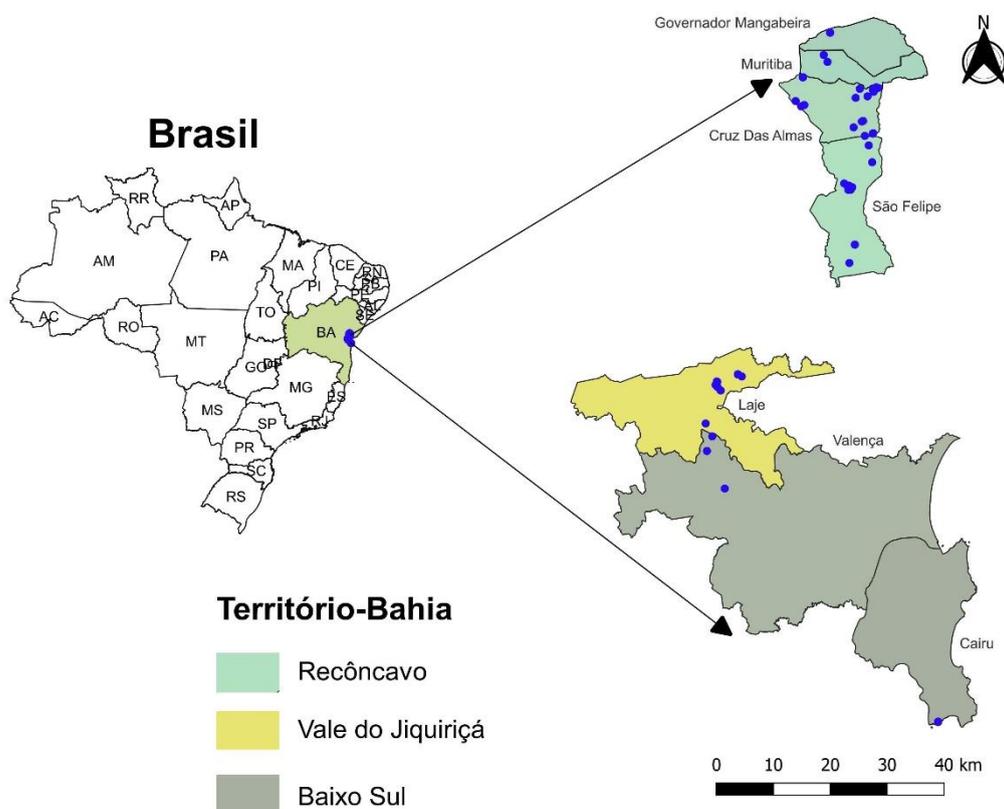
Sendo assim, este trabalho teve como objetivo identificar por meio da morfologia/morfometria, os gêneros de fitonematoides a partir de um levantamento de amostras de solo nas regiões pertencentes ao território do Recôncavo, Baixo Sul e Vale do Jiquiriçá no Estado da Bahia; entender sobre a diversidade populacional presente na rizosfera na cultura da mandioca, bem como correlacionar a estrutura das comunidades de nematoides com os atributos físico-químicos dos solos amostrados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Levantamento de nematoides

O total de 56 amostra de solo coletadas em propriedades localizadas nos territórios do Recôncavo, Baixo Sul e Vale do Jiquiriçá na Bahia, representados pelos municípios de Cairu, Cruz das Almas, Governador Mangabeira, Laje, Muritiba, São Felipe e Valença (Figura 1).

Figura 1. Mapa do Brasil mostrando a localização geográfica das áreas de mandioca levantadas em sete municípios localizados nos territórios de identidade do Recôncavo, Vale do Jiquiriçá e Baixo Sul do Estado da Bahia, Brasil.



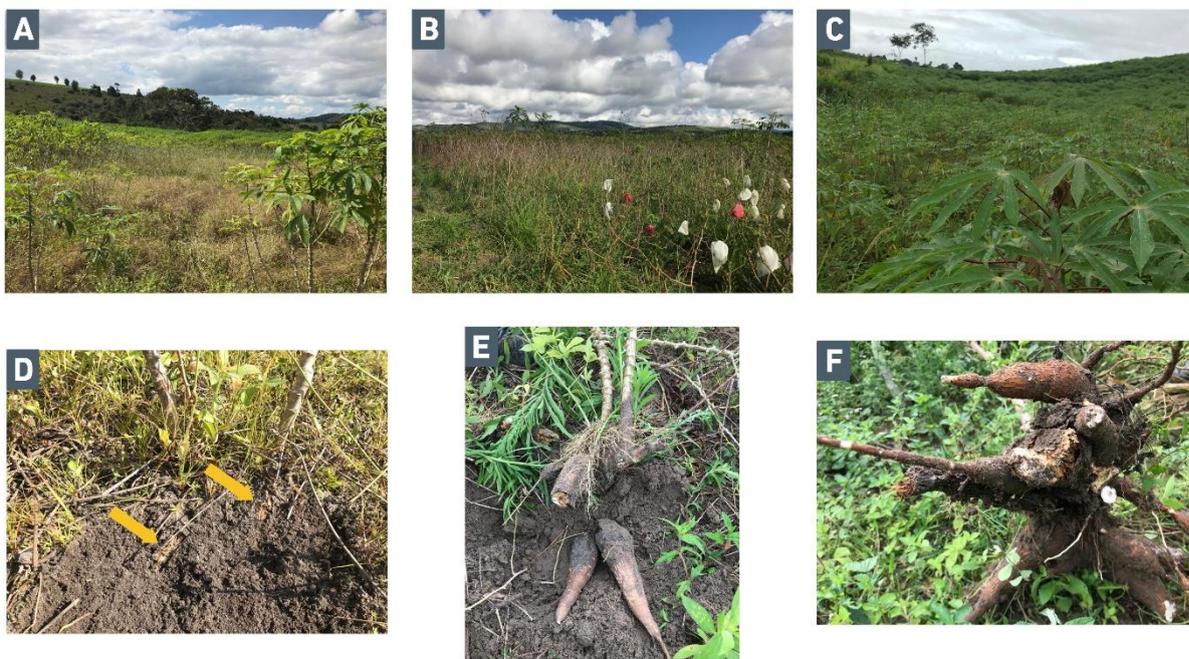
Fonte: Bruno Neves

As áreas amostradas, foram previamente selecionadas com base em informações relacionadas aos danos decorrentes de problemas fitossanitários, como podridões das raízes, presença de sintomas de amarelecimento ou murchamento das folhas, nanismo, clorose, plantas mortas, e/ou com baixo vigor vegetal (Figura 2) e consequentemente baixo rendimento de raízes, relatados por produtores e técnicos das Secretarias Municipais de Agricultura e do Prestador de

Assistência Técnica ao Pequeno Produtor Rural – IDESA.

As amostras de solo foram coletadas duas vezes para cada localidade com intervalo mínimo de 6 meses entre as coletas, totalizando 56 amostras nematológicas de solos em áreas de plantio de mandioca, áreas cultivadas e áreas em (Quadro 1) em que apresentaram problemas com a ocorrência de perdas na produtividade devido a algum fator desconhecido do produtor.

Figura 2. Áreas amostradas, com base em relatos de danos decorrentes dos problemas fitossanitários. Área apresentando plantas mortas, amareladas e com baixo vigor (**A**). Plantas com folhas amareladas e caídas (**B**). Plantas com sintomas de amarelecimento das folhas e nanismo (**C**). Setas amarelas indicando sintomas de podridão radicular da mandioca (**D**). Raízes com sinais de apodrecimento (**E e F**).



Fonte: Bruno Neves

Quadro 1. Descrição das amostras de solo coletadas em plantio de mandioca com relação às coordenadas geográficas, territórios, municípios, localidades e propriedades.

Territórios	Municípios	Localidades	Ponto/Propriedade	Coordenadas Geográficas		
				Latitude(Y)	Longitude(X)	
Baixo Sul	Cairu	Cova da Onça	Sítio Geisa	13° 40' 3,9" S	38° 57' 14,9" W	
			Sítio Flávio - P1	13° 40' 3" S	38° 57' 17" W	
			Sítio Flávio - P2	13° 40' 4" S	38° 57' 13" W	
	Valença	BA 542	Sítio Jonas	13° 17' 38" S	39° 18' 0" W	
		Serra Grande - Matão do Una	Podium Nordeste - Novo Horizonte 2B	13° 12' 37" S	39° 19' 13" W	
Recôncavo	Cruz das Almas	Baixa Grande	Sítio Domingos	12° 40' 57" S	39° 10' 32" W	
		Cadete	Fáb. Do Beiju - Dois Irmãos - P1	12° 42' 24" S	39° 4' 39" W	
			Fáb. Do Beiju - Dois Irmãos - P2	12° 42' 21" S	39° 4' 32" W	
		Embrapa-UFRB	Área II	12° 40' 8" S	39° 5' 15" W	
			PP1	12° 39' 16" S	39° 4' 51" W	
			Candial	12° 39' 59" S	39° 4' 6" W	
		Lagoa do Cedro	Sítio Valdelice - P2	12° 38' 9" S	39° 10' 21" W	
			Sítio Valdelice - P1	12° 38' 10" S	39° 10' 23" W	
		Pov. Boca da Mata	Sítio Santa Rita	12° 40' 49" S	39° 10' 14" W	
		Povoado Tuá	Sítio Jefinho - P1	12° 43' 32" S	39° 3' 33" W	
			Sítio Jefinho - P2	12° 43' 34" S	39° 3' 36" W	
			Sítio Rosalina Buri	12° 43' 47" S	39° 4' 22" W	
			Sítio Jefinho - P3	12° 43' 35" S	39° 3' 37" W	
		Sapucainha	Sítio Damiana	12° 39' 33" S	39° 3' 30" W	
			Faz. Santo Augustino - P1	12° 39' 7" S	39° 3' 15" W	
			Sítio Coqueiro	12° 39' 21" S	39° 3' 35" W	
			Faz. Santo Augustino - P2	12° 39' 11" S	39° 3' 4" W	
		Tapera	Sítio Pedro	12° 42' 59" S	39° 5' 27" W	
		Tiririca	Sítio Luzinete	12° 40' 26" S	39° 11' 5" W	
		Governador Mangabeira	Furtado	Sítio Jaboraci - P1	12° 33' 52" S	39° 7' 43" W
				Sítio Jaboraci - P2	12° 33' 52" S	39° 7' 44" W
				Sítio Faraildes	12° 33' 52" S	39° 7' 44" W
		Muritiba	Baixa Grande	Sítio Dionisia 1	12° 36' 1" S	39° 8' 21" W
			Pau Ferro	Sítio Dionisia 2	12° 36' 41" S	39° 7' 59" W

	São Felipe	Barlavento	Sítio António 1	12° 55' 59" S	39° 5' 52" W
		Campo das Flores	Faz. Comque	12° 46' 19" S	39° 3' 39" W
		Copioba Mirim	Sítio António - P1	12° 54' 13" S	39° 5' 20" W
			Sítio António - P2	12° 54' 14" S	39° 5' 20" W
		Jacarandá	Sítio Fernando Buri	12° 44' 42" S	39° 3' 59" W
		Jenipapo	Sítio Jorge	12° 48' 40" S	39° 5' 47" W
			Sítio Jonas - P1	12° 48' 36" S	39° 6' 2" W
			Sítio Jonas - P2	12° 48' 33" S	39° 5' 56" W
			Sítio António 2	12° 48' 58" S	39° 5' 58" W
			Sítio Pedro Maier - P1	12° 48' 39" S	39° 5' 47" W
			Sítio Pedro Maier - P2	12° 48' 40" S	39° 5' 49" W
			Sítio Joselito - P1	12° 48' 45" S	39° 5' 38" W
			Sítio Joselito - P2	12° 48' 43" S	39° 5' 35" W
			Sítio Nelson	12° 48' 21" S	39° 6' 22" W
			Sítio Alessandro	12° 48' 42" S	39° 5' 58" W
Sítio Arnulfo	12° 48' 57" S	39° 5' 44" W			
Vale do Jiquiriçá	Laje	Serra Grande - BR 101	Faz. Palmira	13° 14' 01,5" S	39° 19' 43,2" W
		Capão	Faz. Rio de Areia - P1	13° 7' 54" S	39° 18' 41" W
			Faz. Rio de Areia 1 - P1	13° 7' 23" S	39° 18' 43" W
			Faz. Rio de Areia 1 - P2	13° 7' 21" S	39° 18' 46" W
			Podium Nordeste - Novo Horizonte Sede - Área 1 (Comercial)	13° 6' 39" S	39° 16' 43" W

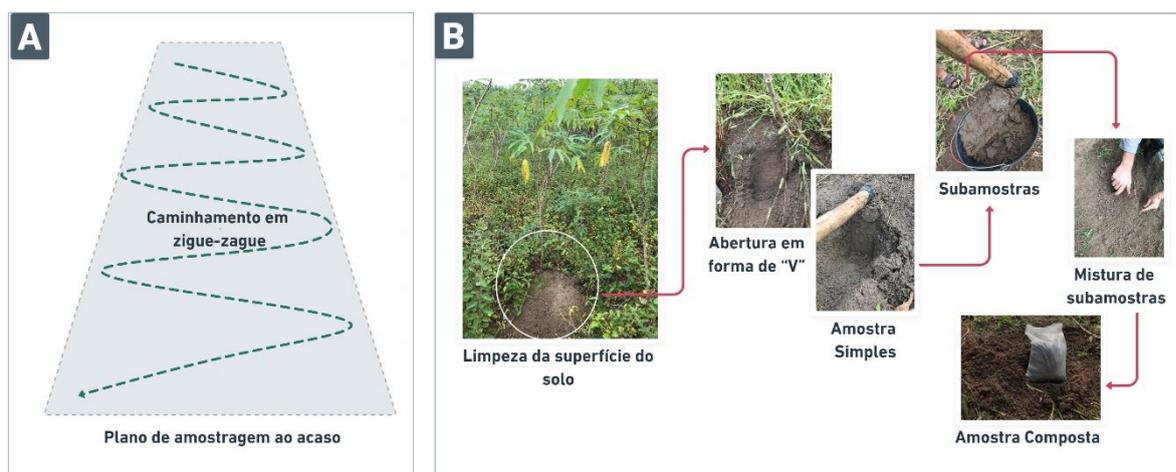
		Podium Nordeste - Novo Horizonte Sede - Área 1 (Piloto Mand Plus) - P1	13° 6' 40" S	39° 16' 43" W
		Podium Nordeste - Novo Horizonte Sede - Área 1 (Piloto Mand Plus) - P2	13° 6' 41" S	39° 16' 43" W
		Podium Nordeste - Novo Horizonte 1 - Área 2	13° 6' 52" S	39° 16' 20" W
		Faz. Rio de Areia 1 - P3	13° 7' 41" S	39° 18' 53" W
		Faz. Rio de Areia - P2	13° 8' 13" S	39° 18' 23" W
		BR 101	Sítio Adriano	13° 11' 23" S

2.1.1. Coleta de amostras de solo

As coletas das amostras de solo foram realizadas em um plano amostral aleatório, de modo que as coletas de subamostras foram realizadas em áreas onde as plantas apresentavam focos ou rebrota com sintomas de murcha, nanismo, amarelecimento e plantas mortas. Os pontos de amostragem foram realizados de forma a representar a realidade amostral da forma mais fiel possível, seguindo um caminhar em zigue-zague, com pontos equidistantes dentro da área de amostragem (Figura 3A) (MOURA & GOULART, 2010).

As amostras compostas de cada cultivo de mandioca foram representadas por 15 subamostras de solo (amostras simples), tendo o cuidado de limpar a superfície, removendo previamente a mamada superficial dos locais de amostragem escolhidos, retirando folhas, ervas daninhas, matérias em processo de decomposição e outros detritos. Amostras simples foram coletadas, abrindo o solo com um enxadão estreito em forma de “V”, na profundidade de 0-20 cm, aproximadamente na região rizosférica da planta, coletando-se uma lâmina/porção de solo com espessura de 2-3 cm e colocadas em balde plástico (limpo), para a obtenção da amostra composta (Figura 3B).

Figura 3. Esquema padrão para coleta de amostras de solo. Zigue-zague em culturas perenes (mandioca) **(A)**. Coleta de amostras nematológicas na cultura da mandioca **(B)**.



Fonte: Bruno Neves

Mediante os resultados obtidos nas extrações de amostras de solo, foi

sugerida nova coleta nas áreas previamente amostradas e novas extrações foram realizadas em triplicata para confirmar os resultados obtidos. Vale ressaltar que os períodos de coletas foram predominantes nas estações secas e chuvosas. No entanto, as coletas foram realizadas durante o período seco/sazonal do dia, quando as áreas amostradas apresentaram condições de solo friável.

Após a coleta das amostras individuais de solo em uma mesma área homogênea, as amostras foram misturadas e uma amostra final com volume aproximado de 1 Kg foi retirada, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos limpos, fechados e devidamente identificados com as informações necessárias sobre a área e colocados em caixas térmicas que foram transportadas para o Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura. As amostras de 0,5 Kg foram armazenadas em geladeira até o processo de extração e identificação dos gêneros de nematoides presentes e a outra parte foi enviada ao Laboratório de Análise Química e Física do Solo presente na mesma instituição.

Após um intervalo mínimo de seis meses, as amostras de solo foram recolhidas, em um volume de aproximadamente 4-5 kg de solo, em que $\frac{1}{3}$ foram utilizados para extração nematológica em triplicata, e $\frac{2}{3}$ utilizados diretamente em potes de plástico com capacidade de 2,5 litros já cultivados com solo da primeira extração/inoculação para obter maiores taxas de multiplicação das populações de nematóides.

2.2. Análises físicas e químicas de solos em áreas cultivadas

As amostras de solo coletadas para extração de nematoides foram retiradas da camada superficial do solo a uma profundidade de aproximadamente 0-20 cm. Parte das amostras de solo coletadas conforme descrito anteriormente foram levadas ao laboratório de análises físico-químicas de solos, para melhor entendimento da caracterização do solo, composição textural, referente a granulometria e qualidade química dos solos em áreas de cultivo de mandioca que podem estar relacionados com a ocorrência de perdas de produtividade. Desta forma, avaliou-se a estrutura trófica das comunidades de nematoides e relacionou-as com os atributos físico-químicos do solo a partir dos teores de macronutrientes do solo obtidos a partir dos resultados, bem como a composição física do solo, através dos percentuais de partículas de areia, silte e argila.

2.3. Extração de nematoides

Amostras de solo foram avaliadas no Laboratório de Nematologia e em casa de vegetação da Embrapa Mandioca e Fruticultura, submetidas ao processo de extração, seguindo a metodologia descrita por (JENKINS, 1964) com modificações. Foi utilizado um recipiente plástico com capacidade de 2 litros, aproximadamente 800 ml de água da torneira foram adicionados a uma alíquota de 100 cm³ da amostra de solo. Em seguida o material foi homogeneizado e deixado em repouso por 30 segundos para que as partículas de solo fossem sedimentadas parcialmente no fundo do recipiente e os nematoides liberados na suspensão. Em seguida, o sobrenadante foi filtrado por duas peneiras acopladas, a superior com porosidade de 35 (mesh) e a inferior com malha de 400 mesh para reter dos nematoides.

Os resíduos contendo os nematoides foram coletados da peneira de 400 mesh e vertida em funil diretamente no Tubo Falcon, utilizando um borrifador contendo água destilada (AD) no fundo da peneira. Em seguida, os tubos com o material foram pesados e padronizados, acertando os pesos em balança de precisão, imediatamente após serem submetido ao processo de centrifugação em água, onde permaneceram por 5 minutos a uma rotação de 3.500 rpm.

Após esse processo, o sobrenadante foi descartado e adicionado uma solução de sacarose (454,5 g/l⁻¹ de açúcar refinado especial) foi adicionada à parte decantada, o material foi cuidadosamente misturado com o auxílio de um bastão de vidro. Após o balanceamento das amostras, as mesmas foram levadas à centrífuga para serem submetidas ao processo de centrifugação em sacarose por 5 minutos a uma rotação de 3.500 rpm. O sobrenadante foi vertido em uma peneira de malha de 400, lavado com água para retirar o excesso de sacarose. O material contido na peneira com os nematoides, e com o auxílio de uma pisseta com AD, os nematoides foram recolhidos para tubos de ensaio utilizando o funil, e em seguida foram colocadas em repouso por 5 horas (Figura 4).

Após esse período, foi realizada a sifonagem, que consiste em utilizar uma mangueira de soro para retirar o excesso de solução presente no tubo de ensaio, padronizando a suspensão em uma alíquota de 5 mL da amostra e avaliados com base na caracterização morfológica.

Figura 4. Diagrama detalhado da metodologia de extração de nematoides de amostras de solo usando o método modificado proposto por Jenkins (1964).



Fonte: Bruno Neves

2.3.1. Caracterização morfológica e morfométrica dos gêneros

A identificação dos nematoides com base na caracterização morfológica, procedeu-se por descrições estabelecidas nas chaves dicotômicas específicas para cada gênero (*Meloidogyne*; *Pratylenchus*; *Tylenchus*; *Criconemella*; *Rotylenchus*; *Helicotylenchus*) (Ferraz, 2012, 2016). Os nematoides presentes na suspensão amostral foram agitados e ressuspensos. Com o auxílio de uma pipeta de 1 mL, retirou-se 1 mL da suspensão, adicionou-se à Câmara de Peters e observou no microscópio de luz (óptico) para identificação e quantificação dos nematoides presentes na amostra.

Para as avaliações com base em um conjunto de caracteres morfométricos, referentes a adultos (através de visualizações da forma do corpo, tamanho, estruturas internas e marcas na cutícula), procedeu-se ao uso de fotos de micrografias em microscópio de luz, sendo as mensurações das imagens realizadas com o auxílio de um Microscópio Óptico digital - Olympus, modelo BX51, acoplado a um computador portando a câmera DP71 para captação das imagens.

Os nematoides permaneceram na geladeira por aproximadamente 16 horas para serem “anestesiados”; evitando movimentos rápidos durante o procedimento, em seguida as lâminas foram montadas em água e seladas com esmalte incolor. Este procedimento foi realizado porque nossa intenção não era matar os espécimes e também usá-los para os procedimentos de inoculação.

A identificação dos nematoides a nível de gênero, foi realizada com base nas características de 10 fêmeas e 10 machos adultos de cada população, relacionados ao comprimento do estilete (m), comprimento do bulbo mediano à região labial (MB), largura do corpo na vulva (a), largura do corpo na espícula (a'), maior largura do corpo (b), comprimento da cauda (fêmeas de *Meloidogyne* sp.) (c), largura da cauda (fêmeas de *Meloidogyne* sp.) (c'), posição da vulva, medida a partir da região labial, expressa como porcentagem em relação ao comprimento do corpo (V), posição da espícula, medida a partir da região labial, expressa como porcentagem em relação ao comprimento do corpo (V'), comprimento do corpo (região labial à vulva) (L), comprimento do corpo (região labial à espícula) (L'), comprimento total do corpo (região labial à ponta da cauda) (L''), usando o software ImageJ (Wayne Rasband da Research Services Branch (RSB), EUA) (CASTILLO *et al.*, 2003; SOARES; SANTOS; LEHMAN, 2003; SOARES; SANTOS;

FERRAUDO, 2004; QI ZHAO & DAVIES, 2006; SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012; BRÜCHER *et al.*, 2019; SOARES *et al.*, 2022).

2.3.2. Análise dos dados

Os parâmetros de diversidade de gêneros foram analisados usando o Índice de Diversidade de Shannon-Weaver (H') (SHANNON & WEAVER, 1949), Índice de Equitabilidade de Pielou (J') (PIELOU, 1975), Índice de Riqueza de Margalef (S) (MARGALEF, 1961), Índice de Dominância de Simpson (D) (SIMPSON, 1949), referente a distribuição de gênero de uma determinada comunidade ecossistêmica. Os valores foram ajustados como covariáveis para cada matriz modelo, conforme mostrado a seguir:

Índice de Diversidade Shannon-Weaver:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_b p_i$$

Onde:

s= número de taxa identificada; um dado táxon é considerado como n táxon;

pi= proporção de indivíduos no n táxon.

Índice de Diversidade de Simpson:

$$D = \sum p_i^2$$

Onde:

pi= proporção de indivíduos no n táxon.

Índice de Equitabilidade de Pielou:

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Onde:

$H'_{max} = \log_b S$

Índice de Riqueza de Margalef:

$$S = \frac{S - 1}{\log_b S}$$

Onde:

S= número de taxa identificada; um dado táxon é considerado como n táxon.

Todas as análises descritas acima foram realizadas usando o pacote “vegan” implementado no R Core Team, (2022). A análise da frequência de nematoides das populações foi realizada para a construção do mapa de calor de cluster (heatmap), análise fatorial múltipla (MFA), componente principal (PCA), correspondência múltipla (MCA), correspondência (CA) e às matrizes de correlações de Pearson foram realizadas usando o pacote “FactorMiner” implementado com o software R (R CORE TEAM, 2022).

3. RESULTADOS

3.1. Levantamento de nematoides

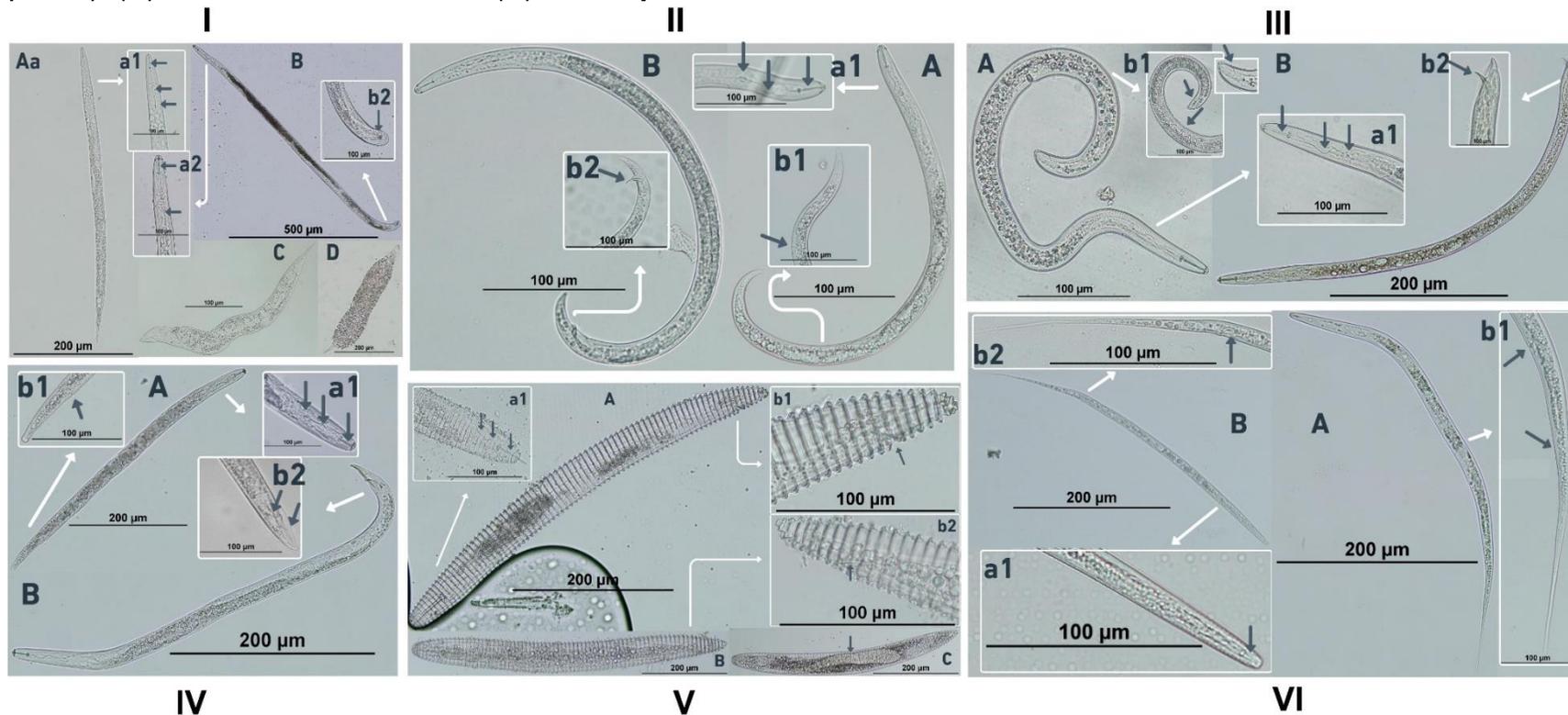
Com base nos resultados das análises morfológicas e morfométricas nas populações encontradas nos 56 pontos amostrais de solo, foram identificadas sete populações de nematoides, sendo seis gêneros de fitonematoides e uma população representada pelos nematoides de vida livre no solo. Dessa forma, foi possível visualizar e fotografar em Microscópio Óptico digital - Olympus, algumas estruturas internas, como o estilete, vulva, espícula e os componentes do esôfago e seus órgãos anexos (Figura 5). A partir da caracterização morfométrica de cada gênero, classificando-os quanto ao tipo e a espécie foi possível chegar o mais próximo possível das espécies estudadas (*Meloidogyne*; *Pratylenchus*; *Tylenchus*; *Criconemella*; *Rotylenchus*; *Helicotylenchus*) (Tabelas 1 e 2).

3.1.1. *Meloidogyne* sp.

Utilizando a chave de identificação, foi possível observar no gênero de *Meloidogyne* uma região labial angulosa e presença de nódulos basais do estilete esférico e as glândulas esofagianas em lobos livres sobrepondo-se ao início do intestino. A cutícula é normal e sem estriação transversal evidente ao longo do corpo, possuindo o esôfago tilencoide. Fêmeas quando madura sexualmente são obesas e se aproximam da forma de saco ou maçã. Afirmando ser de fato o gênero estudado.

Valores referente aos caracteres morfométricos mostram que o comprimento do estilete “m” para as fêmeas foi de 15,92 μm variando de (15,37-16,47), os valores referentes a b, L são apresentados na tabela 1 e 2 referentes às fêmeas e machos, ressalta se que são valores que variam em função do estágio e por serem medidas a partir de fêmeas juvenil e jovem. O “m” nos machos foi de 22,15 μm (21,37-22,92), “b” foi de 24,71 μm (23,50-25,92), “L” foi de 808,51 μm (774,38-842,64), o valor de V% foi de 98,2 μm (97,5-98,9).

Figura 5. Demonstração morfológica dos seis gêneros de fitonematoides. (I) *Meloidogyne*; (II) *Rotylenchus*; (III) *Helicotylenchus*; (IV) *Pratylenchus*; (V) *Criconemella*; (VI) *Tylenchus*. Os principais caracteres morfológicos são: (Aa) Fotomicrografia da visão geral do corpo de um J2 sob um microscópio de luz (óptico) (20x). (a1 e a2) Parte anterior do corpo, mostrando a região labial com a cavidade bucal - posição do estilete com nódulos basais esféricos, esôfago e bulbo mediano (40x) (setas pretas). (A) Fotomicrografia da visão geral do corpo de uma mulher adulta sob um microscópio de luz (óptico) (10x). (B) Fotomicrografia da visão geral do corpo de um homem adulto sob um microscópio de luz (óptico) (10x). (b1) Parte posterior do corpo da fêmea, posição da cauda, demonstrada pela inserção do aparelho reprodutor - vulva (40x) (seta preta). (b2) Parte posterior do corpo, posição da cauda, apresentada pelos órgãos da cópula, inserção da espícula e bursa envolvendo toda a cauda (40x) (setas pretas). (C) Juvenis do estágio 3^o/4^o. (D) Fêmea jovem.



Fonte: Bruno Neves

3.1.2. *Rotylenchus* sp.

Por meio da utilização da chave dicotômica, foi possível identificar o gênero *Rotylenchus* através da observação da região labial, por ser angulosa e pela presença de nódulos basais do estilete esférico e as glândulas esofagianas em lobos livres sobrepondo-se ao início do intestino. Apresentou cutícula normal e sem estriação transversal evidente ao longo do corpo, possuindo o esôfago tilencoide. Outra característica importante observada, foi marcada pela forma aproximada de rim quando madura sexualmente, forma aberrante.

As variáveis referentes aos valores de "m" para as fêmeas foi de 20,61 μm (18,67-22,55), "b" de 17,46 μm (17,05-17,87), "L" foi de 445,39 μm (414,19-476,60) e o valor de V% foi de 73,0 μm (70,1-75,9). Para o macho o "m" foi de 15,76 μm (14,96-16,56), "b" de 17,44 μm (16,46-18,41), "L" foi de 470,38 μm (453,62-487,15) e o valor de V% foi de 92,2 μm (91,7-92,8) apresentados na tabela 1 e 2.

3.1.3. *Helicotylenchus* sp.

A chave de identificação para o gênero o *Helicotylenchus* mostrou que a região labial baixa é angulosa e com a presença de um anel mais estreito na base, outra característica importante foi marcada pela presença dos nódulos basais do estilete esférico normal e as glândulas esofagianas sobrepostas ventralmente ao início do intestino. Cutícula normal e sem estriação transversal evidente ao longo do corpo, possuindo o esôfago tilencoide, as fêmeas maduras sexualmente são fusiformes.

Valores para de "m" para as fêmeas foi de 28,35 μm variando de (27,72-28,98), "b" de 26,83 μm (26,20-27,46), "L" foi de 683,11 μm (644,84-721,38) e o valor de V% foi de 63,2 μm (62,2-64,2). O "m" nos machos foi de 23,37 μm (22,21-24,53), "b" foi de 17,42 μm (16,60-18,24), "L" foi de 505,14 μm (467,25-543,04), o valor de V% foi de 96,6 μm (94,7-96,4).

3.1.4. *Pratylenchus* sp.

Apesar de não identificar a quantidade de anéis presente na região labial de todos os indivíduos avaliados, foi possível observar uma região labial angulosa e com a presença de um anel mais estreito na base, outra característica importante

foi marcada pela presença dos três nódulos basais do estilete esférico e as glândulas esofagianas em lobos livres sobrepondo-se ao início do intestino. Apresentou cutícula normal e sem estriação transversal evidente ao longo do corpo, possuindo o esôfago tilencóide. A fêmea foi marcada pela posição da vulva mais posterior em comparação com as outras espécies do gênero, os nódulos basais do estilete esféricos, cauda hemisférica e lisa. O macho é raro na população e difícil de encontrá-lo, característica marcante em que a reprodução ocorre por partenogênese, a cauda apresenta terminação lisa e hemisférica.

Os dados morfológicos e os valores morfométricos, conforme as tabelas 1 e 2, constam as variáveis referente ao comprimento do estilete “m” para as fêmeas com 21,33 μm (20,91-21,76), maior largura do corpo “b” de 24,93 μm (22,74-27,13), comprimento região labial à ponta da cauda “L” foi de 573 μm (541,45-604,55) e o valor da posição da vulva V% foi de 86,1 μm (85,2-87,0). Para o macho o “m” foi de 19,38 μm (18,89-19,88), “b” de 21,37 μm (19,83-22,91), “L” foi de 582,21 μm (564,85-599,57) e o valor de V% foi de 94,0 μm (93,0-95,1).

3.1.5. *Criconemella* sp.

A chave de identificação, mostra que o gênero de *Criconemella* apresenta a região labial contínua com o corpo, os nódulos basais do estilete esférico. Possuindo estriação transversal da cutícula com anéis marcantes ao longo do corpo, o corpo não curto e grosso, com anelacão bem evidente, estilete longo e forte.

Os valores para os dados morfométricos mostram que o “m” para as fêmeas foi de 47,88 μm variando de (46,54-49,22), “b” de 53,28 μm (51,71-54,85), “L” foi de 561,22 μm (537,96-584,47) e o valor de V% foi de 90,8 μm (88,9-92,7). O “m” nos machos foi de 47,03 μm (45,87-48,19), “b” foi de 47,99 μm (46,08-49,89), “L” foi de 510,79 μm (492,90-526,68), o valor de V% foi de 87,8 μm (85,4-90,2), conforme a tabela 1 e 2.

3.1.6. *Tylenchus* sp.

Os caracteres morfológicos indicam que a região labial é angulosa e com a presença de nódulos basais do estilete esférico e glândulas esofagianas em bulbo posterior ou terminal. A cutícula é normal e sem estriação transversal evidente ao

longo do corpo, possuindo o esôfago tilencoide. Possui cauda afilada, recurvada pelo lado ventral, vulva bem próxima ao poro excretor.

Na tabela 1 e 2 são apresentados os valores morfométricos, para o "m" das fêmeas foi de 8,97 μm variando de (8,73-9,21), "b" de 16,22 μm (15,78-16,66), "L'" foi de 477,94 μm (471,72-484,16) e o valor de V% foi de 58,2 μm (56,8-59,6). O "m" para os machos foi de 8,24 μm (7,92-8,55), "b" foi de 11,83 μm (11,49-12,18), "L'" foi de 467,78 μm (463,42-472,14), o valor de V% foi de 67,4 μm (67,0-67,7).

Tabela 1. Medidas de fêmeas. *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp., *Tylenchus* sp., *Criconemella* sp., *Rotylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp. em μm , coletados em áreas de cultivo de mandioca, em diferentes municípios do Recôncavo da Bahia, Vale do Jiquiriçá e Baixo Sul da Bahia. Estatística incluindo média \pm intervalo de confiança da média (n=10).

Gêneros	<i>m</i>	MB	<i>a</i>	<i>b</i>	L	L''	<i>c</i>	<i>c'</i>	V%
<i>Meloidogyne</i>	15,9 \pm 0,5	26,6 \pm 2,6	-	83,0 \pm 2,9	-	429,1 \pm 7,4	41,5 \pm 1,3	9,0 \pm 0,3	-
<i>Pratylenchus</i>	21,3 \pm 0,4	61,3 \pm 2,8	20,1 \pm 1,6	24,9 \pm 2,2	493,2 \pm 26,5	573 \pm 31,5	-	-	86,1
<i>Tylenchus</i>	8,9 \pm 0,2	24,0 \pm 0,5	14,6 \pm 0,2	16,2 \pm 0,4	278,2 \pm 5,5	477,9 \pm 6,2	-	-	58,2
<i>Criconemella</i>	47,8 \pm 1,3	77,1 \pm 5,5	31,6 \pm 2,2	53,3 \pm 1,6	509,2 \pm 19,4	561,2 \pm 23,3	-	-	90,8
<i>Rotylenchus</i>	20,6 \pm 1,9	68,7 \pm 5,6	16,1 \pm 0,3	17,5 \pm 0,4	324,7 \pm 24,6	445,4 \pm 31,2	-	-	73,0
<i>Helicotylenchus</i>	28,3 \pm 0,6	84,9 \pm 2,2	25,7 \pm 0,8	26,8 \pm 0,6	431,8 \pm 25,5	683,1 \pm 38,3	-	-	63,2

m = Comprimento do estilete; MB = Comprimento do bulbo médio até a região labial; *a* = Largura do corpo na vulva; *b* = Maior largura do corpo; L = Comprimento da região labial até a vulva; L'' = Comprimento da região labial até a ponta da cauda; *c* = Comprimento da cauda; *c'* = Largura da cauda; V% = posição da vulva, medida a partir da região labial, expressa em porcentagem em relação ao comprimento do corpo.

Tabela 2. Medidas de machos. *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp., *Tylenchus* sp., *Criconemella* sp., *Rotylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp. em μm , coletados em áreas de cultivo de mandioca, em diferentes municípios do Recôncavo da Bahia, Vale do Jiquiriçá e Baixo Sul da Bahia. Estatística incluindo média \pm intervalo de confiança da média (n=10).

Gêneros	<i>m</i>	MB	<i>a'</i>	<i>b</i>	L'	L''	V%
<i>Meloidogyne</i>	22,1 \pm 0,8	98,0 \pm 3,5	18,9 \pm 0,9	24,7 \pm 1,2	793,7 \pm 30,5	808,5 \pm 34,1	98,2
<i>Pratylenchus</i>	19,4 \pm 0,5	65,3 \pm 0,6	16,0 \pm 0,9	21,4 \pm 1,5	547,6 \pm 17,5	582,2 \pm 17,4	94,0
<i>Tylenchus</i>	8,2 \pm 0,3	28,6 \pm 2,9	8,8 \pm 0,3	11,8 \pm 0,3	315,1 \pm 4,2	467,8 \pm 4,4	67,4
<i>Criconemella</i>	47,0 \pm 1,2	85,2 \pm 2,9	33,6 \pm 2,5	48,0 \pm 1,9	447,8 \pm 8,2	510,8 \pm 15,9	87,8
<i>Rotylenchus</i>	15,8 \pm 0,8	56,8 \pm 4,2	11,8 \pm 0,7	17,4 \pm 1,0	433,9 \pm 17,2	470,4 \pm 16,8	92,2
<i>Helicotylenchus</i>	23,4 \pm 1,2	64,5 \pm 2,0	13,8 \pm 0,7	17,4 \pm 0,8	483,4 \pm 39,1	505,1 \pm 37,9	95,6

m = Comprimento do estilete; MB = Comprimento do bulbo médio até a região labial; *a'* = Largura do corpo na espícula; *b* = Maior largura do corpo; L' = Comprimento desde a região labial até a espícula; L'' = Comprimento da região labial até a ponta da cauda; V% = posição da espícula, medida a partir da região labial, expressa em porcentagem em relação ao comprimento do corpo.

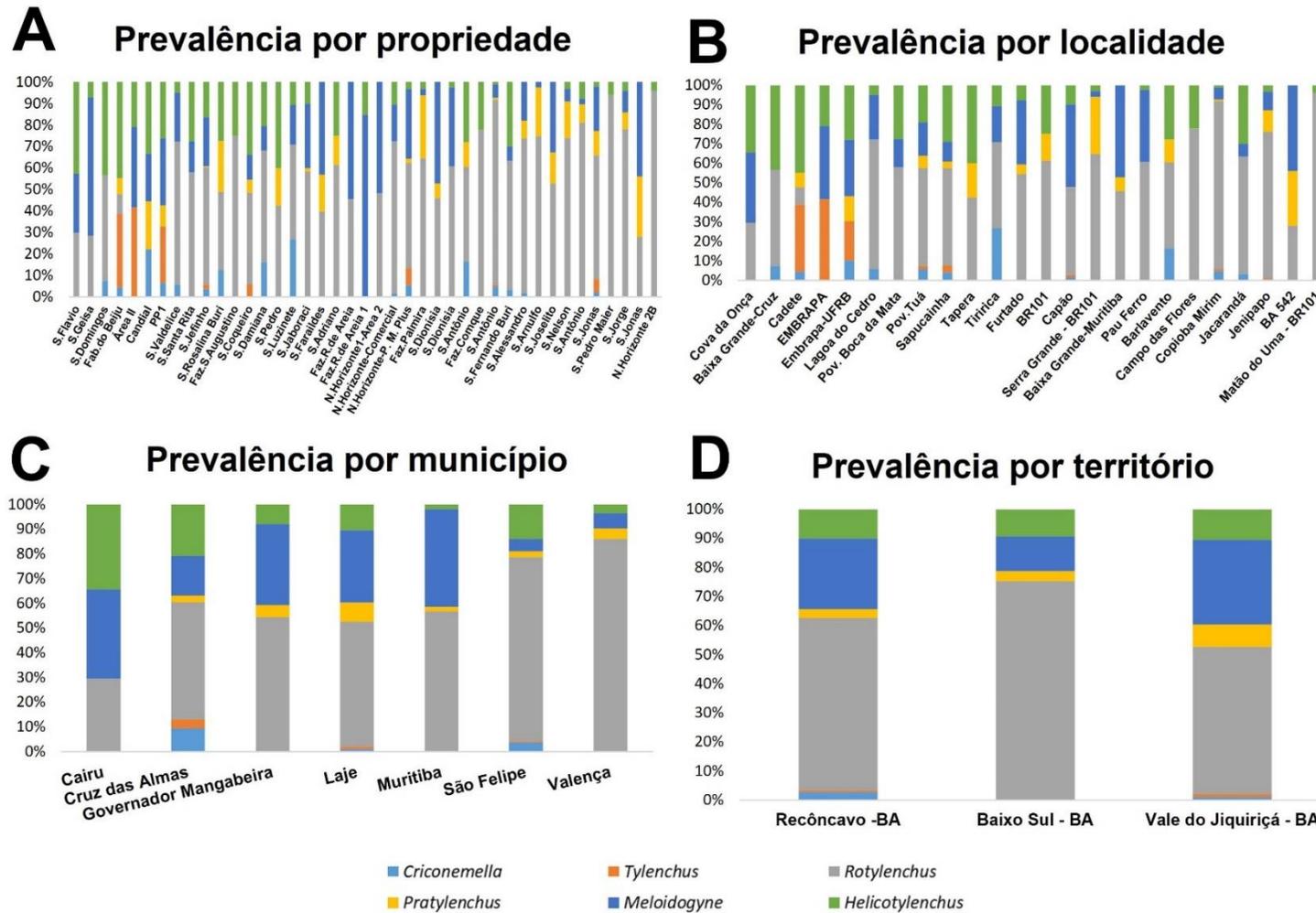
3.2. Distribuição das populações de nematoides

A predominância dos gêneros no levantamento geral, apresentou a maior prevalência para as populações dos fitonematoides *Rotylenchus* sp., *Meloidogyne* sp., *Helicotylenchus* sp. e *Pratylenchus* sp. para as propriedades pertencentes aos territórios do Recôncavo, Vale do Jiquiriçá e Baixo Sul. Para as propriedades localizadas no território do Baixo Sul, não houve a predominância dos gêneros *Criconemella* e *Tylenchus* (Figura 11 A). Os nematoides de vida livre no solo, seguiu uma distribuição uniforme em todas as áreas amostradas.

No tocante as localidades, a maior predominância de *Criconemella* sp. foi observada em Tiririca, *Rotylenchus* sp. em Matão do Una, *Tylenchus* sp. na EMBRAPA, *Pratylenchus* sp. em Serra Grande, *Meloidogyne* sp. em Baixa Grande-Muritiba e os *Helicotylenchus* sp. no povoado do Cadete (Figura 11 B). O mesmo se repetiu para os municípios de Cruz das Almas representando a maior diversidade para as populações de *Criconemella* sp. e *Tylenchus* sp. *Rotylenchus* sp. em Valença e *Pratylenchus* sp. em Muritiba, *Helicotylenchus* sp. em Cairu e *Meloidogyne* sp. em Muritiba (Figura 11 C).

Dentro dos territórios, a distribuição de cada gênero apresentou predominância em conformidade com as análises anteriores. Sendo assim, os maiores índices para *Criconemella* sp. e *Tylenchus* sp., foram localizados no Recôncavo. *Rotylenchus* sp., no Baixo Sul. *Meloidogyne* sp., *Helicotylenchus* sp. e *Pratylenchus* sp. no Vale do Jiquiriçá (Figura 11 D). É importante ressaltar que a distribuição dos valores apresentados nos gráficos não representa quantidades amostrais semelhantes, devido à não homogeneidades das áreas afetadas por problemas fitossanitários, conforme descrito no quadro 1.

Figura 6. Prevalência das médias populacionais dos fitonematoides. Propriedades (A). Localidades (B). Municípios (C). Território (D).



Fonte: Bruno Neves

3.3. Diversidade populacional de nematoides

As análises de diversidade populacional de nematoides obtidas nas localidades amostradas, os índices de diversidade populacional de nematoides, acordantes com os índices de Shannon Weaver (H'), sucederam valores que variam de 0,778 a 1,595. Sendo a menor em Serra Grande – Valença e a maior no povoado do Tuá. Os índices de Equitabilidade de Pielou (J) oscilaram entre 0,524 a 0,986, com o menor em Copioba Mirim e o maior na BA 542 e os índices de Simpson (D) variam de 0,505 a 0,748, sendo a menor no Campo das Flores e a maior no povoado do Tuá. Enquanto a riqueza de espécies foi de 3 a 7, a menor riqueza em Serra Grande – Valença e no Campo das Flores e a maior no povoado do Tuá, Sapucainha, Capão, Copioba Mirim e no Jenipapos, conforme a tabela 3, evidenciando diferentes características do solo.

Nas localidades de Cova da Onça, Capão, Baixa Grande-Muritiba e Pau Ferro a classificação textural do solo predominante é areia e areia franca. Já em Baixa Grande-Cruz das Almas, Cadete, Povoado do Tuá, Sapucainha, Furtado, BR 101, Serra Grande-Laje, Jacarandá, Jenipapo e BA 542 a classe textural predominante é o franco argilo arenoso. Amostras coletadas na EMBRAPA-UFRB, Lagoa do Cedro, Povoado Boca da Mata e Tuá, Tapera, Furtado, Capão, Jenipapo e Matão do Una tenderam para a classe textural franco arenoso. Assim como os pontos amostrados em Tiririca, Barlavento, Campo das Flores e no Jenipapo para argila arenosa. Por fim, Copioba Mirim com a classificação textural predominante à argila.

Tabela 3. Análise de diversidade populacional de nematoides nas localidades.

Localidades	H'	J	D	S
Cova da Onça	1,316	0,949	0,711	4
Baixa Grande-Cruz das Almas	1,172	0,845	0,657	4
Cadete	1,326	0,740	0,664	6
Embrapa-UFRB	1,479	0,825	0,717	6
Lagoa do Cedro	1,142	0,710	0,618	5
Pov. Boca da Mata	1,239	0,893	0,669	4
Povoado Tua	1,594	0,819	0,747	7

Sapucainha	1,465	0,753	0,719	7
Tapera	1,268	0,914	0,691	4
Tiririca	1,473	0,915	0,741	5
Furtado	1,293	0,803	0,688	5
BR 101	1,251	0,902	0,680	4
Capão	1,309	0,673	0,690	7
Serra Grande-Laje	1,178	0,731	0,631	5
Baixa Grande-Muritiba	1,163	0,839	0,653	4
Pau Ferro	1,102	0,795	0,632	4
Barlavento	1,099	0,683	0,544	5
Campo das Flores	0,874	0,795	0,505	3
Copioba mirim	1,020	0,524	0,572	7
Jacarandá	1,178	0,732	0,615	5
Jenipapo	1,203	0,618	0,608	7
BA 542	1,367	0,986	0,740	4
Serra Grande-Valença	0,778	0,708	0,519	3

H' (Shannon-Weaver); J (Equitabilidade de Pielou's); D (Simpson); S (Riqueza de espécies).

O mesmo foi analisado quanto aos índices de diversidade populacional de nematoides nos municípios, expressos através dos valores de Shannon Weaver (H') variando de 0,982 a 1,580, mostrando que a menor diversidade ocorreu em Valença-BA, e a maior diversidade de nematoides no município de Cruz das Almas-BA. Os índices de Simpson (D) variam de 0,569 a 0,754, não divergindo dos municípios citados acima. A riqueza de espécies foi de 4 a 7, sendo a menor em Cairu e a maior em Cruz das Almas, Laje e São Felipe. Enquanto os índices de Equitabilidade de Pielou (J) oscilaram entre 0,610 a 0,949 em Valença e Cairu respectivamente, demonstrando que dentro dos municípios estudados, Cruz das Almas apresentou os maiores índices, mostrando que há maior uniformidade dos táxons em relação às suas abundâncias relativas no município de Valença (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de diversidade populacional de nematoides nos municípios.

Município	H'	J	D	S
Cairu	1,316	0,949	0,711	4
Cruz das Almas	1,579	0,811	0,753	7
Governador Mangabeira	1,293	0,803	0,688	5
Laje	1,432	0,7360	0,720	7
Muritiba	1,194	0,742	0,674	5
São Felipe	1,223	0,628	0,631	7
Valença	0,981	0,610	0,568	5

H' (Shannon-Weaver); J (Equitabilidade de Pielou's); D (Simpson); S (Riqueza de espécies).

Ao tratar dos valores dentro dos territórios, foi avaliado os índices de diversidade populacional de nematoides apresentando valores de Shannon Weaver (H') que ficaram entre 1,120 a 1,432. Os índices de Simpson (D) variam de 0,614 a 0,720. A riqueza de espécies foi de 5 a 7 e para os índices de Equitabilidade de Pielou (J) entre 0,696 a 0,736. Os menores índices ficaram no Baixo Sul, mostrando que a diversidade populacional de nematoides é menor e os maiores valores para o Vale do Jiquiriçá, confirmando a existência de uma maior diversidade de nematoides dentro da comunidade ecológica. Vale destacar que o Recôncavo apresentou também a maior riqueza de espécies, apontados na tabela 5.

Tabela 5. Análise de diversidade populacional de nematoides nos territórios.

Território	H'	J	D	S
Recôncavo	1,379	0,709	0,699	7
Baixo Sul	1,120	0,696	0,614	5
Vale do Jiquiriçá	1,432	0,736	0,720	7

H' (Shannon-Weaver); J (Equitabilidade de Pielou's); D (Simpson); S (Riqueza de espécies).

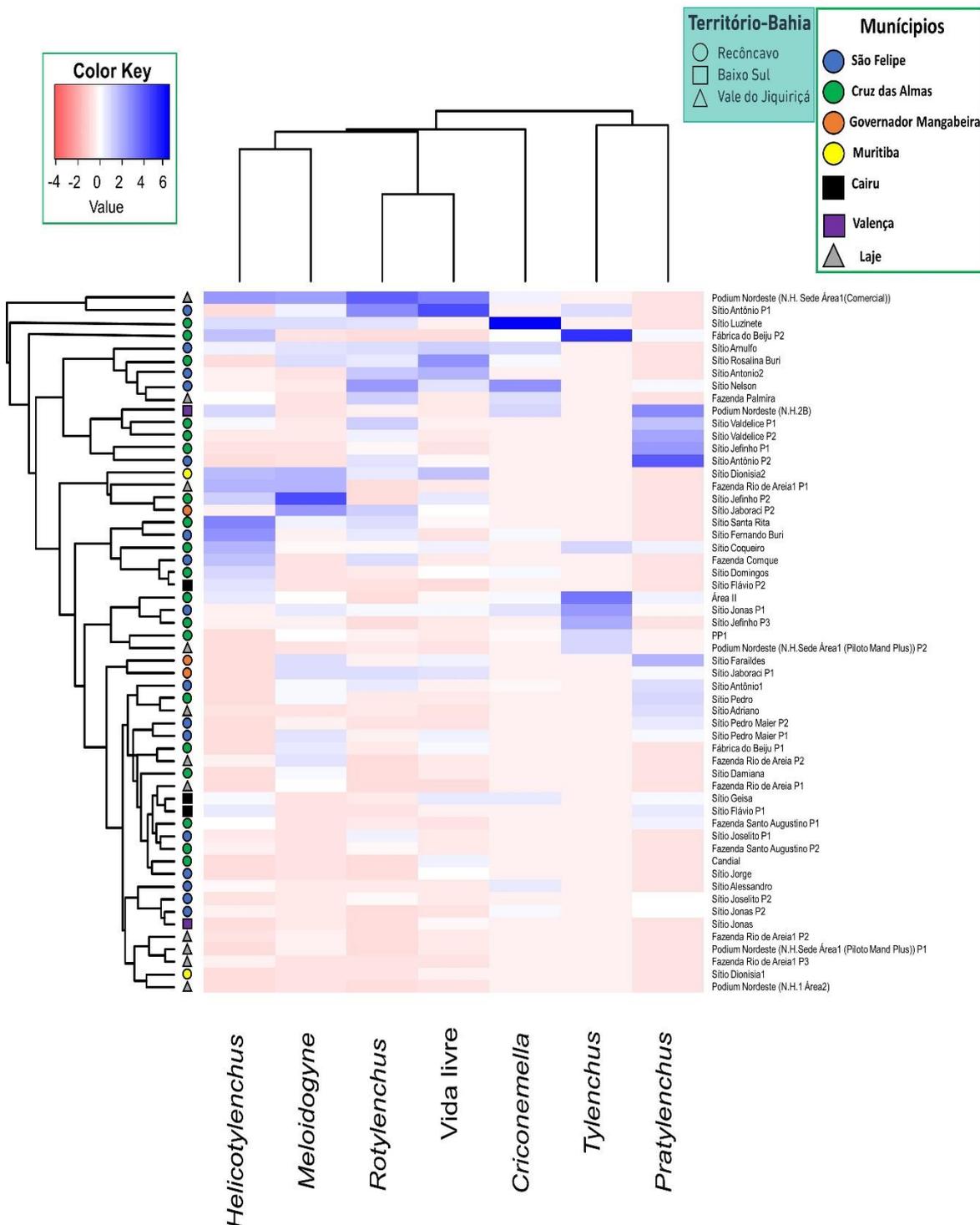
3.4. Incidência dos gêneros nos territórios

A análise de frequência demonstrou que todos os gêneros se fizeram presentes no Recôncavo da Bahia e no Vale do Jiquiriçá e que no Baixo Sul não houve presença dos gêneros *Criconemella* e *Tylenchus* em cultivos de mandioca.

As diferentes abordagens tiveram como intuito complementar cada análise estatística realizada. A partir do mapa de calor de cluster (heatmap), mostrou que

a maior variação negativa, estão ordenadas de acordo com o resultado do dendrograma do agrupamento, baseado na frequência de ocorrência. Desta forma os conjuntos de agrupamentos formados originados pela prevalência dos gêneros nas propriedades, serviram de base para se extrair dados a serem analisados mais profundamente conforme demonstrado nos gráficos (MFA; MCA; PCA e a matriz de correlações de Pearson), enfatizando com maior clareza que cada abordagem foi relevante para um maior entendimento. Valores mais altos no conjunto de dados, têm a tonalidade azul, apresentando maior magnitude e os valores mais baixos no conjunto de dados expressam a tonalidade oposta (vermelho), representando uma menor magnitude (Figura 7).

Figura 7. Mapa de calor - Heatmap com o agrupamento hierárquico e frequência de nematoides das populações de cada ponto de coleta dentro das propriedades amostradas nos municípios de São Felipe, Cruz das Almas, Governador Mangabeira, Muritiba, Cairu, Valença e Laje.



Fonte: Bruno Neves

Dois grupos foram formados compondo o sistema hierárquico, sendo o

primeiro grupo representado no clado 1 pelos nematoides vida livre e *Rotylenchus* sp., seguido dos gêneros *Helicotylenchus*, *Meloidogyne* e *Criconemella*. O segundo grupo é composto pelos gêneros que apresentaram a menor frequência de ocorrência, sendo representados por *Tylenchus* e *Pratylenchus* compondo o segundo clado. O mesmo é perceptível quando analisado o resultado do dendrograma do agrupamento para as áreas amostradas, sendo formados por dois grupos dominante e subgrupos seguido com subdivisões.

Desta forma, verificou-se que os maiores índices de ocorrência estão para as áreas de coletas na Podium Nordeste (Novo Horizonte sede área1 – comercial) e para o sítio António p1, seguido do sítio Luzinete, fábrica do Beiju p2, sítio Arnulfo, sítio Rosalina Buri, sítio António 2, sítio Nelson, fazenda Palmira e Podium Nordeste – novo horizonte B2. Sendo representados pelos municípios de Laje, São Felipe e Cruz das Almas.

As maiores frequências estão para os gêneros *Helicotylenchus*, *Meloidogyne*, *Rotylenchus* e vida livre, em que os grupos e subgrupos com os pontos de coletas, são agrupados com base em caracteres semelhantes, desta forma, são apresentados com valores que expressam a menor magnitude, evidenciando a ocorrência de valores discrepantes quando avaliado a nível de território, condizentes com o Baixo Sul.

A nível de municípios, Cruz das Almas, São Felipe e Laje se igualam apresentando valores com maior magnitude, porém divergem com os demais (Valença, Cairu, Muritiba e Governador Mangabeira) por apresentarem valores com menores similaridades.

Ressalta-se, que a nível de amostras por propriedade, os valores podem apresentar algumas similaridades, entretanto há divergência quando avaliamos os resultados com menor magnitude, mesmos os valores que não expressaram a maior magnitude para os nematoides de vida livre, eles estavam presentes em todas as áreas amostradas.

3.5. Correlação entre gêneros de nematoides e localidades

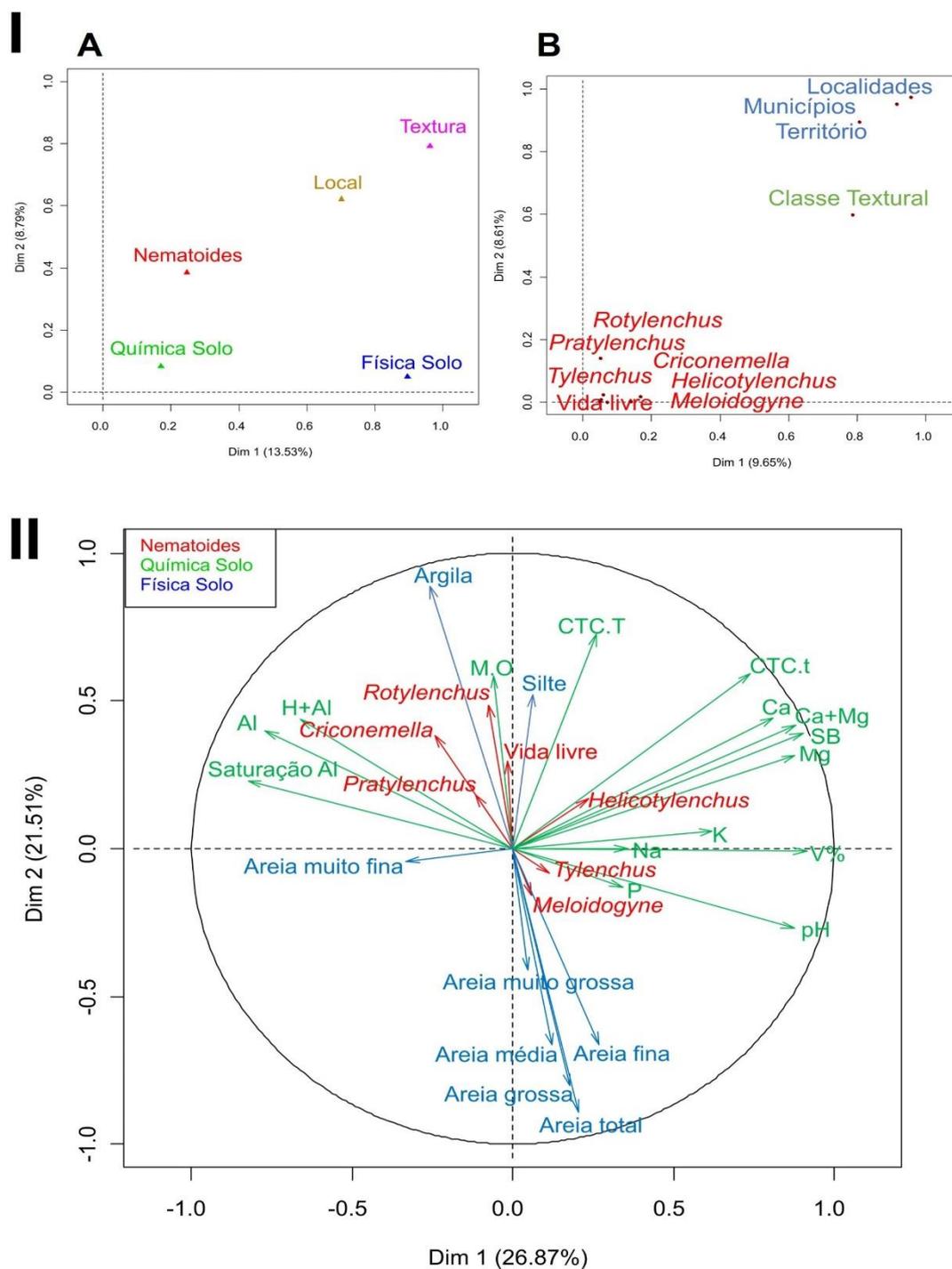
O gráfico de análise fatorial múltipla (MFA) utiliza uma ordenação correlativa (simétrica), buscando simplesmente a correlação entre as três matrizes de dados, expresso através dos dados qualitativos (nematoides) e quantitativos (química e

física) ou seja, cada matriz centrada ou padronizada recebe o mesmo peso (inércia), sendo 0 (independência) a 1 (maior concordância) na análise global, contabilizado as diferentes variâncias entre as matrizes de dados.

Desta forma, as correlações formaram cinco grupos com coordenadas diferentes. Isso significa que eles não contribuem de forma semelhante para a primeira e a segunda dimensão (Figura 8IA), ou seja, não existe uma correlação clara com a presença dos nematoides no solo e os demais atributos. Sendo estes, a textura predominante dos solos cultivados com base nas características predominantes da composição granulométrica quando correlacionadas com os valores das propriedades químico-física do solo, expressam a fertilidade/infertilidade dos solos coletados, bem como os locais de coleta e a presença dos nematoides. Tais correlações apresentam valores discrepantes, evidenciando que a existência do nematoide no solo não apresenta uma associação direta com os atributos estudados, sendo estes dados compostos por cinco grupos distintos.

A associação entre as categorias de cada variável qualitativas foi através das análises de correspondência múltipla (MCA), capturaram 18,26% da variação total referentes aos gêneros, aos pontos de coletas e a análise granulométrica do solo (Figura 8IB). Assim, demonstra a distribuição das coordenadas de todas as categorias de variáveis posições no espaço bidimensional com base nos autovalores, formado por três grupos distintos, distribuídos com correlações fracas. Os nematoides estudados estão correlacionados positivamente entre si. Tais correlações evidenciam que o grupo formado com a diversidade populacional de nematoides apresenta-se, compondo a mesma comunidade ecológica, com correlações fortemente positivas e sem correlações forte, com a classe textural do solo, e as posições (localidades, municípios e territórios).

Figura 8. Resultado da análise multifatorial (MFA) expressando as correlações totais existentes na representação global dos grupos **(IA)**. Análise de Correspondência Múltipla (MCA), expressando o total de correlações existentes na representação global **(IB)**. Mapa fatorial de variáveis (PCA), com relação entre componentes e variáveis. As variáveis rotuladas são as que melhor aparecem no plano, mostrando o círculo de correlação dos dados quantitativos do solo **(II)**.



Fonte: Bruno Neves

3.6. Correlação entre a distribuição de gêneros de nematoides e propriedades químico-físicas do solo

As análises dos componentes principais (PCA), na figura 8II, apresenta a correlação entre todas as variáveis das coordenadas. As informações do conjunto de dados são baseadas nos dados multivariados, transformando estes dados em variáveis de número igual ou inferior à amostra inicial descritas por dados quantitativas inter-correlacionadas. Logo, cada variável é considerada como uma dimensão diferente no círculo de correlação, correspondendo a uma combinação linear das originais. Os resultados são expressos por meio de dimensões inerentes (componentes).

A soma das duas dimensões explica 48,38% da variabilidade total dos dados. Logo, as relações entre as variáveis no mapa perceptual bidimensional apresentam as coordenadas de maior intensidade. Desta forma, os solos apresentaram maior intensidade para os atributos químicos, sendo o potássio (K), magnésio (Mg), soma de base trocáveis (SB), Ca+Mg, cálcio (Ca) e capacidade de troca catiônica efetiva (CTC.t), estão correlacionados com populações de *Helicotylenchus* sp., indicando a predominância de solos novos, pouco intemperizados e uma maior predisposição a solos argilosos.

Os valores referentes a acidez trocável pela presença do alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), saturação do Al, matéria orgânica (M.O) e argila, assim como os valores saturação de Al e CTC total estão indicando uma maior predominância para os gêneros *Rotylenchus* sp., *Criconemella* sp., *Pratylenchus* sp. E os nematoides de vida livre, ou seja, valores altos de acidez nos solos, são características marcantes nos latossolos, induz a uma maior tendência a níveis mais altos das respectivas populações.

Logo, os solos que apresentam maiores características predominantes para solos arenosos, tendem a expressar populações predominantes de *Meloidogyne* sp. E *Tylenchus* sp. Mesmo em baixas intensidades, assim como valores altos para acidez ativa (Ph), fósforo (P), sódio (Na) e a saturação por base (V%). Entretanto, os solos com maior predominância para a areia muito fina, apresenta baixa intensidades para populações de nematoides.

3.7. Análise de correlação de nematoides por características química e física do solo

As análises de matriz correlações de Pearson foram organizadas na tabela 6. Desta forma, é possível inferir em uma avaliação dos dados quantitativos sobre o desempenho das características química e física do solo para um determinado analito (população de nematoide), considerando o grau de similaridade existente entre as relações. Análises normalizadas para com as medidas são plotadas e comparadas em nível de significância para uma correlação ideal entre as populações de nematoides e as características do solo.

O grau de similaridade entre as variações, reflete que o gênero *Criconemella* apresenta correlação negativa com 95% de confiabilidade para valores de Ph; areia grossa; areia média e areia total, e 95% de correlação positiva com *Rotylenchus*; H+Al; M.O; Saturação do Al e argila. Além de apresentar uma correlação fortemente positiva com 99,9% de confiabilidade com valores altos de Al no solo, indicando maior predominância em solo mais ácidos.

Os nematoides considerados de vida livre no solo manifestam 95% de correlação positiva em valores altos para H+Al. Como também, 99% de correlação positiva com populações de *Meloidogyne*, assim como valores altos de CTC.T e 99,9% positiva com *Rotylenchus* e os valores de matéria orgânica no solo.

As Populações de *Tylenchus* não apresentaram valores altos de confiabilidade ao avaliar as correlações com os demais.

Correlações negativas com 95% de confiabilidade para a areia fina e areia total quando avaliado em populações de *Rotylenchus*, e correlações positivas a 95% com areia e populações de *Criconemella*. Uma correlação positiva de 99% com H+Al e CTC.T, e 99,9% aos nematoides de vida livre e valores de M.O no solo.

Populações de *Pratylenchus* foram negativamente correlacionadas com 95% de confiabilidade com valores de areia fina no solo. *Meloidogyne* com 95% de correlação negativa com valores de argila e correlações positivas com populações de *Helicotylenchus* e valores de areia grossa, 99% para as populações de vida livre e 99,9% de confiabilidade com os valores de Na no solo.

Por fim, as populações de *Helicotylenchus* positivamente correlacionados com as populações de *Meloidogyne* a 95% de confiabilidade e 99% de correlação com os valores de K no solo.

Tabela 6. Análise de correlação dos agrupamentos a partir da matriz de correlações de Pearson. A distribuição das populações de nematoides e as características química-física do solo.

	<i>Criconemella</i>	Vida Livre	<i>Tylenchus</i>	<i>Rotylenchus</i>	<i>Pratylenchus</i>	<i>Meloidogyne</i>	<i>Helicotylenchus</i>	
Nematoides	<i>Criconemella</i>	---	0,05 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,28*	-0,05 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,18 ^{ns}
	Vida Livre	0,05 ^{ns}	---	0,04 ^{ns}	0,68***	-0,16 ^{ns}	0,39**	0,08 ^{ns}
	<i>Tylenchus</i>	-0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	---	0,12 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,12 ^{ns}
	<i>Rotylenchus</i>	0,28*	0,68***	0,12 ^{ns}	---	0 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,25 ^{ns}
	<i>Pratylenchus</i>	-0,05 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0 ^{ns}	---	0,2 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
	<i>Meloidogyne</i>	0,07 ^{ns}	0,39**	-0,07 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,2 ^{ns}	---	0,28*
	<i>Helicotylenchus</i>	0,18 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,28*	---
Características químicas do solo	Ph	-0,3*	-0,11 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,17 ^{ns}
	P	-0,1 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
	K	-0,12 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,41**
	Ca	-0,07 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0 ^{ns}	0,15 ^{ns}
	Mg	-0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,25 ^{ns}
	Ca+Mg	-0,06 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,2 ^{ns}
	Al	0,48***	0,02 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,2 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
	Na	0,05 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,5***	0,15 ^{ns}
	H+Al	0,29*	0,3*	-0,09 ^{ns}	0,35**	0,26 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,07 ^{ns}
	SB	-0,07 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,24 ^{ns}
	CTC.T	0,19 ^{ns}	0,35**	-0,03 ^{ns}	0,39**	0,21 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,15 ^{ns}
	MO	0,28*	0,44***	-0,08 ^{ns}	0,48***	0,03 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
	CTC.t	0,1 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,26 ^{ns}
V%	-0,19 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}	
Características físicas do solo	Saturação Al	0,31*	-0,02 ^{ns}	-0,1 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
	Ar. Muito grossa	-0,1 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,05 ^{ns}
	Areia grossa	-0,33*	-0,08 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,27*	-0,08 ^{ns}
	Areia média	-0,28*	-0,15 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
	Areia fina	-0,14 ^{ns}	-0,1 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,31*	-0,28*	0,2 ^{ns}	0,04 ^{ns}
	Ar. Muito fina	0,16 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-0,12 ^{ns}
	Areia total	-0,28*	-0,12 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,32*	-0,17 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
	Silte	0,16 ^{ns}	0,13 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,19 ^{ns}
	Argila	0,28*	0,1 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,31*	0,2 ^{ns}	-0,27*	0,04 ^{ns}

Ns= não significativo; * = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p<0,001

4. DISCUSSÃO

4.1. Estudos morfométricos de seis gêneros de fitonematoides

Estudos morfométricos ainda são escassos na literatura. Os valores relativos às mensurações para o comprimento do estilete foram 20,61 μm com variação de 18,67 a 22,55 e a percentual de V 73,0 com amplitude de variação de 70,1 a 75,9. O valor da média de V (%), obtido da literatura, é de 70,8 (55,1 – 84,1) e o comprimento do estilete é de 19,2 μm (11,6 – 27,8) (Tabela 1), conforme Soares; Santos; Lehman, (2003); Soares; Santos; Ferraudo, (2004). Embora existam diferenças entre os valores máximos e mínimos para essas variáveis, os valores médios estão dentro da faixa aceitável para *R. reniformis*.

Para *P. brachyurus* as mensurações do comprimento total do corpo (L") foi de 573 (541,45 – 604,55) e V% foi de 86,1 (85,2 – 87,0). Os valores obtidos na literatura foram condizentes com os valores mencionados, sendo L" (584,95 – 596,61) e V% (84 – 88,1), portanto estão na faixa aceitável (JIMÉNEZ-PÉREZ; CROZZOLI; GRECO, 2007; LIMA-MEDINA; GOMES; GONZAGA, 2014). De acordo com a chave de identificação dos gêneros de fitonematoides no Brasil em caracteres morfológicos/morfométricos das fêmeas, o gênero *Pratylenchus* apresenta V% igual ou superior a 75 (FERRAZ, 2016; GONZAGA *et al.*, 2012).

No tocante a *H. dihystra* as medidas do comprimento total do corpo (L") foi de 683,11 (644,84 – 721,38) e V% foi de 63,2 (62,2 – 64,2). Os valores obtidos na literatura foram concordantes com os valores citados, sendo L" (527 – 796) e V% (61,2 – 69,2), dessa forma estão na faixa aceitável (BRÜCHER *et al.*, 2019).

Acerca dos demais gêneros (*Meloidogyne*; *Tylenchus* e *Criconemella*) em razão da escassez de informações, não foram encontrados estudos morfométricos que parametrizem a confirmação de sua identificação a nível de espécie. Dessa forma, as dimensões avaliadas no presente estudo, relacionados aos machos e fêmeas, são apresentados nas tabelas 1 e 2.

4.2. Diversidade populacional de nematoides

A variabilidade na abundância de nematoides e sua composição, foram analisadas através do índice de diversidade populacional obtidas nas localidades (tabela 3), municípios (tabela 4) e territórios (tabela 5) amostrados, e observou-se que apresentam índices de diversidade de Shannon Weaver (H') menores que 2,

indicando que são ecossistemas com uma diversidade de espécies relativamente baixa. Dessa forma, a média encontrada mostrou que os territórios (1,31) são mais diversos que os municípios (1,29), localidades (1,23) e propriedades (1,08).

Por outro lado, os valores de Simpson (D) apresentaram uma distribuição próxima de 1, indicando que a biodiversidade do habitat é maior, tanto em quantidade de espécies como em abundância de cada espécie de nematoide. Logo, os municípios (0,68) e os territórios (0,68), são mais diversos que as localidades (0,65) e as propriedades (0,59). Isto acontece, porque a abundância de nematoides oscilou entre as avaliações, o índice de H' dá maior peso às espécies raras. Já o índice de D leva em conta o número de espécies e a abundância, dando maior peso para a dominância de espécies comuns (MELO, 2008; FIGUEIRA *et al.*, 2011).

Quanto a riqueza de espécie (S), os valores seguem uma distribuição normal, em que as espécies raras e comuns recebem o mesmo peso, levando em conta a equabilidade, a maior riqueza foi nos territórios (6,33), seguidos dos municípios (5,71), localidades (5) e propriedades (4,07). A Equitabilidade de Pielou's (J) considera igual a diversidade, assim como a distribuição dos nematoides, logo as propriedades (0,80) apresentam a maior distribuição, seguido das localidades (0,79), municípios (0,75) e territórios (0,71) (MELO, 2008; MONDINO *et al.*, 2009).

O território do Baixo Sul apresentou os menores índices de diversidade, riqueza e abundância das espécies estudadas, ao contrário do Vale do Jiquiriçá que apresentou os maiores valores para as médias avaliadas nos territórios, assim como o território do Recôncavo se destacou quando avaliado a riqueza de espécies.

4.3. Distribuição populacional de nematoides

A distribuição populacional de nematoides está relacionada à ocorrência dos danos em áreas sintomática, portanto, não representa a uniformidade dos pontos de amostragem nos municípios, em razão de está relacionado a não predominância dos gêneros *Criconemella* e *Tylenchus* no território do Baixo Sul.

Nos territórios do Recôncavo, Vale do Jiquiriçá e Baixo Sul a distribuição dos nematoides seguiu dos vida livre e dos fitonematoides *Rotylenchus* sp., *Meloidogyne* sp., *Helicotylenchus* sp. e *Pratylenchus* sp. A diversidade e a funcionalidade das comunidades de nematoides são pouco estudadas envolvendo

diretamente os mecanismos relacionados aos processos do solo, bem como as funcionalidades do ecossistema e sua própria importância nos sistemas naturais (WILSCHUT; GEISEN, 2021).

Considerando que os fitonematoides estudados são patógenos causadores de danos na maioria das culturas, em contrapartida os nematoides de vida livre não foram analisados neste estudo por não apresentarem danos, conforme citado a literatura. Em concordância com Lazarova *et al.*, (2021), a maioria dos vida livre estão relacionados a excreção de compostos (in) orgânico diretamente e indiretamente, alterando a estrutura da comunidade microbiana.

A distribuição populacional de nematoides é baseada nos danos causados e nos processos resultantes, sendo difíceis de serem perceptíveis, uma vez que as alterações, ocorrem abaixo da superfície do solo. Desta forma o conjunto de organismos presentes na comunidade, proporcionam efeitos cada vez mais nocivos, interferindo no desempenho e composição da vegetação, bem como alterando rapidamente a composição da comunidade devido os feedbacks e as condições negativas da planta-solo (VAN DER PUTTEN *et al.*, 2013).

4.4. Associação da diversidade de nematoides com os parâmetros quantitativos

Determinar a estrutura da comunidade de nematoides dentro do ecossistema, ainda são pouco compreendidos, pois não conhecemos os processos ecológicos determinantes (MOROENYANE *et al.*, 2016). Estudos mais aprofundados, baseados em relações claras sobre a composição dos nichos ecológicos, talvez consiga explicar os processos inter-relacionados. Nesse estudo, demonstrou que a formação dos dendrogramas é influenciada por relações ecológicas condizentes com determinados atributos químico-físico do solo. Logo, a relação de um determinado atributo do solo não é um fator determinante para explicar a presença/ausência de um determinado gênero/espécie nas avaliações de solos de diferentes localidades. O estudo mostrou que os nematoides, local de coleta, textura e as características química e física do solo formam grupos separados (Figura 8I).

Os parâmetros mais explicativos mostraram, que apesar de formarem grupos distintos, eles estão intimamente ligados em uma união associativa por

compartilharem determinadas características do solo. De acordo com Moroenyane *et al.*, (2016) níveis mais altos de K no solo, estão associados à abundância relativa de algumas comunidades, conforme observado, para os *Helicotylenchus* sp., além das demonstradas no presente estudo (CTC.t, Ca, Ca+Mg, SB, Mg e K), o mesmo é relatado por Kandji; Ogol; Albrecht, (2001) com o crescente aumento de K e Mg no solo, relacionados aos fitonematoides. Enquanto, *Tylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp. estão mais associados em função da predominância de Na, V%, pH e P. Além dessa associação, a predominância para *Meloidogyne* sp. está mais em função da intensidade com que as características granulométricas se aproximam, tais como areia fina, total, média, grossa e muito grossa. Por outro lado, os *Rotylenchus* sp., *Criconemella* sp., *Pratylenchus* sp. e os vida livre, foram altamente associados pelas características granulométricas (Argila, Silte e M.O) e pelas características químicas (Al, H+Al e CTC.T).

Ressalta-se, que tais relações foram relatadas em estudos anteriores, avaliando o acúmulo progressivo de M.O no solo, proporcionando aumento populacional de organismos antagonistas e reduzindo a níveis baixos as populações de nematoides fitoparasitas (KANDJI *et al.*, 2001). Novos estudos avaliando a proporção da M.O no solo e a relação com os patógenos podem explicar as relações entre a composição das espécies e a estrutura das comunidades de nematoides em ecossistemas inter-relacionados.

A predominância de determinados gêneros no ambiente, como é o caso dos *Rotylenchus*, *Criconemella*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Tylenchus*, *Meloidogyne* e os vida livres por estar altamente associados a alguns atributos do solo, está relacionado à aproximação de vários fatores abióticos e bióticos por meio do compartilhamento dos recursos disponíveis em função da disponibilidade de alimentos, crescimentos, metabolismo, temperatura, estresses, mecanismos de desintoxicação ou até mesmo a seleção por distúrbios ambientais, escassez de recursos, como também as interações envolvidas (BONGERS, 1999; WILSCHUT; GEISEN, 2021).

Ao correlacionar as localidades amostradas com as características dos solos, podemos perceber que a disponibilidade dos recursos está associada ao compartilhamento em função das características do cultivo da mandioca nas regiões amostradas, como o preparo do solo, cultivo, sucessão de cultivos, tempo de permanência da cultura no campo e a predominância das plantas espontâneas

em consórcio com a cultura. A competição das mesmas e os recursos disponíveis favorecem a frequência e a diversidade de nematoides dentro do ecossistema.

4.5. Distribuição das populações por região

A prevalência dos fitonematoides nas áreas amostradas mostrou maior dominância para *Rotylenchus* sp. nos três territórios avaliados, seguido dos nematoides de vida livre. Concomitantemente, por *Meloidogyne* sp., *Helicotylenchus* sp. e *Pratylenchus* sp. Desta forma, que os gêneros *Criconemella* e *Tylenchus* não estiveram presentes no Território do Baixo Sul, o mesmo foi observado nos municípios de Cairu, Governador Mangabeira, Muritiba e Valença.

Concordantemente com kandji; ogol; albrecht, (2001) os níveis predominantes de populacional de nematoides nas propriedades avaliadas, corresponde a maior proporção para os vida livre. Ele também afirma ainda que os fitonematoides tornam-se um fator limitante para as culturas, principalmente quando o cultivo ocorre consecutivamente ao longo do tempo.

O estudo avaliou a distribuição dos nematoides em áreas de cultivos de mandioca. Com base nos parâmetros associativos para os atributos físico-químico, as propriedades foram agrupadas, concomitantemente com a distribuição populacional dos nematoides, apresentando a maior frequência para *Helicotylenchus* sp., *Meloidogyne* sp., *Rotylenchus* sp., vida livre, *Criconemella* sp., *Tylenchus* sp. e *Pratylenchus* sp. (Figura 6).

Dentre as propriedades amostradas, destacaram-se algumas pertencentes aos municípios de Laje, São Felipe e Cruz das Almas, por compartilharem alguns atributos semelhante de forma mais associativa, exacerbando a maior dominância para os *Helicotylenchus* sp., *Meloidogyne* sp., *Rotylenchus* sp. e vida livre, enquanto, *Criconemella* sp., *Tylenchus* sp. e *Pratylenchus* sp. não apresentaram parâmetros que enfatizaram sua dominância total.

Os atributos químicos do solo e a formação da vegetação, são os propulsores das comunidades, à medida que o ecossistema cresce, em resposta ocorre uma série de mudanças na comunidade do solo por meio da vegetação presente e das propriedades abióticas, conforme destacado por Bokhorst *et al.*, (2017). O mesmo afirma, que não ocorrer mudanças abruptas na abundância e riquezas de espécies ou simplesmente não acompanhar as mudanças da vegetação ou até mesmo na

disponibilidade de nutrientes, isso significa que as correlações são limitadas por diferentes fatores.

O estudo mostrou que em áreas de cultivo de mandioca a predominância dos gêneros foram iguais, e que não houve divergência na diversidade ao analisar a distribuição das populações por região amostradas, porém, para o território do Baixo Sul não houve a predominância de *Tylenchus* sp. e *Criconemella* sp., isso significa que em áreas de cultivos de mandioca no cenário atual, a distribuição dos gêneros de nematoides é semelhante, havendo apenas mudança na taxa populacional por ponto amostrado.

As populações de fitonematoides prevalentes em áreas de cultivo de mandioca, foram mantidas e multiplicadas na variedade crioula 'Salangor Preta', por ser uma variedade crioula. Estudos posteriores avaliaram o nível de agressividade causado por esses patógenos em variedades comerciais de mandioca.

5. CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que a predominância dos fitonematoides ocorre frequentemente nas regiões do Recôncavo, Baixo Sul e Vale do Jiquiriçá no Estado da Bahia, mesmo em baixos níveis populacionais, como também a prevalência dos nematoides de vida livre.

A predominância dos nematoides nas áreas avaliadas deve-se às associações pelos compartilhamentos dos recursos disponíveis dentro da própria comunidade ecológica, visto que os atributos químicos-físicos avaliados podem ser considerados um bom resultado para explicar a correlação existente com base nas características do solo.

A diversidade populacional dentro do território do Baixo Sul apresentou os menores índices de riqueza e abundância das espécies estudadas, ao contrário do Vale do Jiquiriçá que apresentou os maiores valores para as médias avaliadas nos territórios, assim como o território do Recôncavo se destacou quando avaliado a riqueza de espécies.

Neste sentido, a associação entre a incumbência do ecossistema e os grupos funcionais nem sempre é consistente para explicar a prevalência dos gêneros no ambiente.

6. REFERÊNCIA

AKOMOLAFE, F. A. *et al.* Infrastructure and Agricultural Value Chain in Nigeria: 1981-2019, Vector Error Correction Mechanism (VECM) Approach. **UIJRT | United International Journal for Research & Technology** |, v. 03, n. 04, p. 2582–6832, 2022.

BOKHORST, S. *et al.* Responses of communities of soil organisms and plants to soil aging at two contrasting long-term chronosequences. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 106, p. 69–79, 2017.

BONGERS, T. The Maturity Index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. **Plant and Soil**, v. 212, p. 13–22, 1999.

BRÜCHER, E. *et al.* Characterization of a population of *helicotylenchus dihystra* (cobb, 1893) sher, 1961, parasitizing maize roots, in southern córdoba, Argentina. **Nematropica**, v. 49, n. 1, p. 49–58, 2019.

CASTILLO, P. *et al.* Institute of Parasitology of the Russian Academy of Sciences, **Leninskii prospect** 33. 93, 2003.

FASAE, O. A.; YUSUF, A. O. Cassava leaves and peels: Nutritional value and potential productivity in West African dwarf breeds of sheep and goats– A review. **Nigerian Journal of Animal Production**, v. 49, n. 3, p. 301–311, 2022.

FERRAZ, L. C. C. B. Chave ilustrada de identificação dos principais gêneros de fitonematoides no Brasil baseada em caracteres das fêmeas. Diagnose de fitonematoides. Campinas, SP: **Millennium Editora**, p. 237–253, 2016.

FERRAZ, L.C.C.B. (2012). Chave para a identificação de gêneros de fitonematoides do Brasil baseada em caracteres morfológicos / morfométricos das fêmeas. Sociedade Brasileira de Nematologia. Disponível em: <<https://nematologia.com.br/files/tematicos/10.pdf>>. Acesso em: 08 de março de 2023

FIGUEIRA, A. F. *et al.* Estrutura da população de nematoides do solo em uma unidade de produção agroecológica no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Acta Scientiarum*. **Agronomy Maringá**, n. 2, p. 223–229, 2011.

GARRIDO, M. D. S. *et al.* Nematodes associated with rhizosphere and roots of cassava planted in rotation with yam crops. **Summa Phytopathologica**, v. 34, n. 2, p. 181–182, 2008.

GBIGBI, T. M.; CHUKS-OKONTA, V. A. A. Profitability and Resource Use Efficiency in Cassava Production: Evidence from Delta State, Nigeria. **International Journal of Research and Review (ijrrjournal.com)**, v. 8, n. 6, 2021.

GONZAGA, V.; SANTOS, J. M. DOS; SOARES, P. L. M. Chave ilustrada para a identificação das seis espécies de *Pratylenchus* mais comuns no Brasil. 2012.

GOULART, A. M. C. Análise nematológica: importância e princípios gerais. **EMBRAPA CERRADOS**, 2010.

GRYNBERG, P. *et al.* Comparative genomics reveals novel target genes towards specific control of plant-parasitic nematodes. **Genes**, v. 11, n. 11, 2020.

HILLOCKS, R. J.; WYDRA, K. Bacterial, fungal and nematode diseases. Em: Cassava: biology, production and utilization, 2001.

IBGE, - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Acesso em: 5 out. 2022.

JENKINS, W. R. B. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant disease reporter**, 1964.

JIMÉNEZ-PÉREZ, N.; CROZZOLI, R.; GRECO, N. Nematodos fitoparasiticos asociados con el cultivo de la papa en el estado Lara, Venezuela. **Fitopatologia Venezolana**, v. 20, p. 34–40, 2007.

KANDJI, S. T.; OGOL, C. K. P. O.; ALBRECHT, A. Diversity of plant-parasitic nematodes and their relationships with some soil physico-chemical characteristics in improved fallows in western Kenya. **Applied Soil Ecology**, v. 18, n. 2, p. 143–157, 2001.

KOLOMBIA, Y. A. *et al.* Morphological and molecular characterization of *Pratylenchus* species from Yam (*Dioscorea* spp.) in West Africa. **Journal of Nematology**, v. 52, p. 1–25, 2021.

LAZAROVA, S. *et al.* Functional Diversity of Soil Nematodes in Relation to the Impact of Agriculture—A Review. **Diversity 2021, Vol. 13, Page 64**, v. 13, n. 2, p. 64, 4 fev. 2021.

LIMA-MEDINA, I.; GOMES, C. B.; GONZAGA, V. Caracterização de espécies do nematoide das lesões em batata na região sul do Brasil e reação de genótipos a *pratylenchus brachyurus*. 2014.

MARGALEF, R. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. **Perspectives in Marine Biology**, p. 323–347, 1958.

MELO, A. S. O que ganhamos “confundindo” riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? **Biota Neotropica**, v. 8, n. 3, p. 21–27, 2008.

MONDINO, E. A. *et al.* Avaliação das comunidades de nematóides do solo em agroecossistemas orgânicos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 509–515, 2009.

MOROENYANE, I. *et al.* Deterministic processes dominate nematode community structure in the Fynbos Mediterranean heathland of South Africa. **Evolutionary Ecology**, v. 30, n. 4, p. 685–701, 2016.

OKUBARA, P. A.; PEETZ, A. B.; SHARPE, R. M. Cereal root interactions with soilborne pathogens—from trait to gene and back. **Agronomy**, Vol. 9, Page 188, 2019.

OYETUNDE, A. K. *et al.* The differential impact of four tropical species of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on biofortified cassava. **Nematology**, v. 24, n. 6, p. 695–705, 2022.

QI ZHAO Z, DAVIES KA. Nematoda: Aphelenchina) from Native Pine *Callitris Preissii* in South Australia Article in **Transactions** of the. <https://doi.org/10.1080/3721426.2006.10887044>, 2006.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 14 out. 2022.

ROBÉRIO, M. *et al.* Períodos de interferência de plantas infestantes na cultura da mandioca, submetida ou não à adubação NPK, em Vitória da Conquista-Ba. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 237–247, 2019.

ROCHA, A. DE J. *et al.* Interaction between *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense and *Radopholus similis* can lead to changes in the resistance of banana cultivars to *Fusarium* wilt. **European Journal of Plant Pathology**, v. 158, n. 2, p. 403–417, 2020.

ROSA, J. M. O. *et al.* Nematoides fitoparasitas associados à mandioca na Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 2, 2014.

SCHNEIDER, C. A. ; RASBAND, W. S. ; ELICEIRI, K. W. ; NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature methods**, v. 9, n. 7, p. 671–675, 2012.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. THE MATHEMATICAL THEORY OF COMMUNICATION. 1949.

SIMPSON, E. H. Measurement of Diversity. **Nature 1949 163:4148**, v. 163, n. 4148, p. 688–688, 1949.

SOARES, J. M. DA S. *et al.* Gene Expression, Histology and Histochemistry in the Interaction between *Musa* sp. and *Pseudocercospora fijiensis*. **Plants 2022, Vol. 11, Page 1953**, v. 11, n. 15, p. 1953, 2022.

SOARES, P. L. M.; DOS SANTOS, J. M.; LEHMAN, P. S. Estudo Morfométrico Comparativo de Populações de *Rotylenchulus reniformis* (Nemata: Rotylenchulinae) do Brasil*. 2003.

SOARES, P. L. M.; SANTOS, J. M. DOS; FERRAUDO, A. S. Estudo morfométrico comparativo de 58 populações brasileiras de *Rotylenchulus reniformis* (Nemata: Rotylenchulinae). **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 419–424, 2004.

VAN DER PUTTEN, W. H. *et al.* Plant–soil feedbacks: the past, the present and future challenges. **Journal of Ecology**, v. 101, n. 2, p. 265–276, 2013.

VILAS-BOAS, S. A. V. *et al.* Survey of fungi associated with cassava root rot from different producing regions in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 1, p. 60–67, 2017.

WILSCHUT, R. A.; GEISEN, S. Nematodes as Drivers of Plant Performance in Natural Systems. **Trends in Plant Science**, v. 26, n. 3, p. 237–247, 2021.

CAPÍTULO 2

Reação de cultivares de mandioca a populações de *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp. ¹

¹Artigo a ser submetido ao comitê editorial do periódico científico Tropical Plant Pathology

Reação de cultivares de mandioca a populações de *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp.

RESUMO: A produtividade da cultura da mandioca pode ser afetada por patógenos do solo, sendo os nematoides responsáveis por desempenhar um importante papel no cenário das grandes perdas ao rendimento e produtividade. A resistência genética apesar de ser um desafio, é a melhor alternativa para controlar patógenos, visto que os estudos envolvendo a ocorrência de fitonematoides são resultantes do parasitismo em tecidos radiculares na mandioca, apesar dos relatos serem dispersos e muitas vezes deixar lacunas do conhecimento. Diante do exposto, uma alternativa para entender a ocorrência de nematoides na cultura da mandioca é realizar uma busca por fonte de mandioca resistente, quando inoculados com populações de fitonematoides (*Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp.). O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Estação Experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura. O delineamento experimental foi em bloco casualizado (DBC), com o arranjo fatorial triplo 5 x 3 (5 variedades de mandiocas x 3 tratamentos (*Meloidogyne*, *Pratylenchus* e controle)), distribuídos em 4 blocos com 25 plantas por parcela. Manivas de 8 cm de cada uma das variedades ('BRS Poti Branca'; 'BRS Kiriris'; 'BRS Formosa'; 'BRS Novo Horizonte'; 'Salangor Preta') foram plantadas antes em vasos plásticos de 3,5L contendo solo autoclavado, na posição vertical. Após as plantas atingirem 20-30 cm de altura, equivalente a 25 dias após o plantio foi realizada a inoculação. O procedimento de infestação dos solos foi realizado por meio da adição de 4 mL⁻¹/planta da suspensão com o inóculo, aproximadamente 2.000 nematoides e eventuais ovos. O estudo avaliou os danos causados aos 60, 100, 130 e 147 dias após a inoculação (DAI). Em cada avaliação destrutiva, foram utilizadas cinco plantas por tratamento (inoculada e controle), visando determinar o potencial de dano e resistência/susceptibilidade das plantas. Os resultados denotam, que os parâmetros avaliados para o índice de infecção foram considerados significativamente, interferindo na altura, vigor, massa fresca e seca da parte aérea (MFPA e MSPA, respectivamente), massa seca e fresca das raízes (MSR e MFR, respectivamente) pelo método gravimétrico (volume de raiz/mL⁻¹). Os danos causados, como redução no peso, e características iniciais de apodrecimento das raízes foram significativamente provocados por ambas as populações, observadas através das extrações nematológicas do solo e raiz, e submetidas ao processo de clarificação e observação em microscópio de luz. As variedades que apresentaram maiores danos causados por populações de *Meloidogyne* sp. foram 'BRS Novo Horizonte' e 'Salangor Preta' e por *Pratylenchus* sp. 'BRS Novo Horizonte' e 'BRS Poti Branca' aos 147 DAI. Novos estudos devem ser realizados, buscando investigar as infecções causadas após o processo de formação das raízes de armazenamento, a fim de averiguar se a ocorrência das infecções e o progresso no apodrecimento de raízes são progressivos ou se estão atrelados apenas no início da cultura. Os danos iniciais refletem no comprometimento final da cultura, na formação e na quantidade de raízes produzidas por planta, consequentemente ocasionando perdas consideráveis.

Palavras-chave: Infecções, Interações patogênicas, Nematoides, Podridão radicular, Suscetibilidade.

Reaction of cassava cultivars to populations of *Pratylenchus* sp. and *Meloidogyne* sp.

ABSTRACT: The productivity of the cassava crop can be affected by soil pathogens, and nematodes are responsible for playing an important role in the scenario of large losses in yield and productivity. Genetic resistance, despite being a challenge, is the best alternative to control pathogens, since studies involving the occurrence of phytonematodes are the result of parasitism in root tissues in cassava, despite the reports being dispersed and often leaving gaps in knowledge. Given the above, an alternative to understand the occurrence of nematodes in cassava is to search for a source of resistant cassava, when inoculated with populations of phytonematodes (*Pratylenchus* sp. and *Meloidogyne* sp.). The experiment was carried out in a greenhouse at the Experimental Station of Embrapa Cassava and Fruits. The experimental design was a randomized block (DBC), with a 5 x 3 triple factory arrangement (5 manioc varieties x 3 treatments (*Meloidogyne*, *Pratylenchus* and controle)), distributed in 4 blocks with 25 plants per plot. 8 cm cuttings of each variety ('BRS Poti Branca'; 'BRS Kiriris'; 'BRS Formosa'; 'BRS Novo Horizonte'; 'Salangor Preta') were planted first in 3.5L plastic pots containing autoclaved soil, in vertical position. After the plants reached 20-30 cm in height, equivalent to 25 days after planting, inoculation was performed. The soil infestation procedure was carried out by adding 4 mL⁻¹/plant of the suspension with the inoculum, approximately 2,000 nematodes and occasional eggs. The study evaluated the damage caused at 60, 100, 130 and 147 days after inoculation (DAI). In each evaluation, five plants were used per treatment (inoculated and control), aiming to determine the damage potential and resistance/susceptibility of the plants. The results denote that the parameters evaluated for the infection index were considered significantly, interfering in height, vigor, fresh and dry dough of the shoot (MFPA and MSPA, respectively), dry and fresh dough of the roots (MSR and MFR, respectively) by the gravimetric method (root volume/mL⁻¹). The damage caused, such as reduction in weight, and initial characteristics of root rot were significantly caused by both populations, observed through the nematological extractions of the soil and root, and submitted to the clarification process and observation under a light microscope. The varieties that showed the greatest damage caused by populations of *Meloidogyne* sp. were 'BRS Novo Horizonte' and 'Salangor Preta' and by *Pratylenchus* sp. 'BRS Novo Horizonte' and 'BRS Poti Branca' at 147 DAI. New studies should be carried out, seeking to investigate the infections caused after the storage root formation process, in order to find out if the occurrence of infections and the progress in root rot are progressive or if it is only linked to the beginning of the crop. The initial damages reflect in the final compromise of the culture, in the formation and in the amount of roots produced per plant, consequently causing considerable losses.

Key words: Infections, Pathogenic interactions, Nematodes, Root rot, Susceptibility.

1. INTRODUÇÃO

A produtividade da cultura da mandioca, pode ser afetada por patógenos do solo, sendo os nematoides, parasitas vegetais responsáveis por desempenhar um importante papel no cenário das grandes perdas ao rendimento e produtividade (AKINSANYA *et al.*, 2020). Segundo Akinsanya; Afolami, (2018), a cultura da mandioca por ser considerada rústica, não era levada em consideração pelos nematologistas. Estudos realizados por Rosa *et al.*, (2014), mostram que *P. brachyurus*, seguida de *M. incognita* são considerados como os mais agressivos para a cultura da mandioca.

A infestação causada por fitonematoides provocam deformações e consequentemente danos físicos diretos que facilitam a ocorrência de infecções causadas por patógenos secundários. Estas alterações favorecem o surgimento de um complexo de doenças envolvendo os fitonematoides e induz a produção de metabólitos secundários ou exsudados radiculares da planta hospedeira, facilitando a predisposição a outros patógenos potenciais (AKINSANYA *et al.*, 2020; SIDDIQUI *et al.*, 2012).

As populações de nematoides do gênero *Meloidogyne*, adentram na raiz e migram intracelularmente para o interior das células, induzindo a formação de células gigantes por intermédio da própria alimentação. Além disso, estimulam a divisão celular, resultando em galhas ou nós, enquanto populações de fitonematoides do gênero *Pratylenchus*, migram intercelularmente por intermédio das raízes, provocando o rompimento das células das plantas (OKUBARA; PEETZ; SHARPE, 2019).

Segundo estudos realizados por Carneiro *et al.*, (2006) e Akinsanya *et al.*, (2020), mostraram que todas as cultivares de mandioca apresentaram-se altamente suscetíveis as inoculações de *M. incógnita* e *javanica*, causando perdas significativas no rendimento percentual (carotenóides totais). O emprego de cultivares resistentes é a melhor alternativa para a reduções causadas por populações de nematoides e o cultivo em áreas infestadas (CARNEIRO *et al.*, 2006; ROSA *et al.*, 2014), entretanto os estudos sobre as fontes de resistência as populações de *Meloidogyne* e *Pratylenchus* ainda são escassos na literatura.

Os danos decorrentes de infecções causadas por nematoides impactam diretamente na produtividade. Desta forma os sintomas principais, iniciam com o

retardamento no crescimento aéreo, surgimento de folhas amarelas e redução na circunferência do caule e conseqüentemente menor peso fresco da parte aérea e raízes, assim como a redução no número de raízes por planta (AKINSANYA *et al.*, 2020).

Embora a ocorrência de fitonematoides ocasione parasitismo dos tecidos radiculares na mandioca, é importante analisar as informações, uma vez que os sintomas decorrentes podem ser reflexo de outros fatores que debilitam e atrasam o desenvolvimento das plantas, visto que os relatos são dispersos e muitas vezes deixam lacunas do conhecimento. Diante do exposto, uma alternativa para entender a ocorrência de nematoides na cultura da mandioca é avaliar a reação de cultivares de mandioca ao parasitismo de *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Obtenção das populações

Estudo realizado por (NEVES, 2022), avaliou a obtenção, manutenção a multiplicação das populações de fitonematoides oriundas de áreas de cultivo de mandioca nos territórios de identidade, Recôncavo, Vale do Jiquiriçá e Baixo Sul na Bahia, nesse intuito montou-se o experimento em casa de vegetação da Estação Experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, com três culturas diferentes, sendo a mandioca, milho e o tomate, para cada cultura foram utilizadas 16 repetições (Figura 1 A).

Figura 1. Montagem do experimento para a obtenção das populações de nematoides (A). Avaliação dos sistemas radiculares das plantas inoculadas (B).



Fonte: Bruno Neves

As manivas-sementes de mandioca da variedade crioula 'Salangor Preta', foram adquiridas do Banco ativo de Germoplasma de Mandioca (BAG-Mandioca) da Estação Experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, Bahia), cortadas e padronizadas, medindo aproximadamente 8 cm de comprimento. Feita a desinfestação com hipoclorito de sódio a 0,05% por três minutos e posteriormente lavadas em água corrente e plantadas numa profundidade de 5 a 8

cm.

O plantio das sementes de milho híbrido, mandioca e o transplante de mudas de tomate Santa Cruz Kada (paulista) medindo aproximadamente 10 cm de altura, foram transferidos para vasos plásticos de 2,5 litros, contendo substrato de cultivo (solo, areia e matéria orgânica) na proporção de 3:1:1. A mistura do substrato de cultivo foi previamente esterilizada em autoclave a 120 °C por 1 hora. A adubação foi realizada utilizando uma fonte de nutrientes a partir de esterco bovino curtido e autoclavado, conforme as proporções recomendadas para o plantio.

2.2. Multiplicação das populações de nematoides

Após as plantas atingirem 20 - 30 cm de altura, ponto ideal para a inoculação, foi feita a extração de nematoides de cada amostra de solo coletada anteriormente, conforme o quadro 1 no primeiro capítulo. A avaliação consiste em padronizar a suspensão com os nematoides em 5 mL, retirando 1 mL para fazer a contagem do número de indivíduo/população de cada espécie obtidas e transformados, multiplicando por um fator 5 para expressar o número total de nematoides, referente ao volume total da suspensão.

A inoculação consistiu na aplicação de 5 mL da suspensão aquosa contendo o inóculo, com o auxílio de uma seringa estéril, sendo aplicado em três orifícios equidistantes com 2-3 cm de profundidade na rizosfera de cada planta da parcela.

Aos 80 dias após a inoculação (DAI), os sistemas radiculares das plantas foram lavados e avaliados, sendo realizada a extração de nematoides das amostras de raízes (Figura 1B). Os ovos/juvenis de segundo estágio (J2) de nematoides em amostras de raízes, foram extraídos pelo método do liquidificador e peneiramento (COOLEN; D'HERDE, 1972).

As amostras de raízes foram cortadas em pedaços de aproximadamente 2 cm, misturadas e em seguida, retirou-se uma subamostra de 10 gramas de raízes fragmentadas. A subamostra foi triturada em liquidificador em alta rotação, durante 20-30 segundos, usando 200 mL de água. O material liquidificado foi vertido sobre peneira de malha com abertura de 35 (mesh), que por sua vez está sobre a peneira de malha 500 (mesh).

Os resíduos contendo os nematoides foram recolhidos da peneira de 500 e vertido sobre um funil, para tubo de centrífuga, mediante jato de água (AD) no fundo

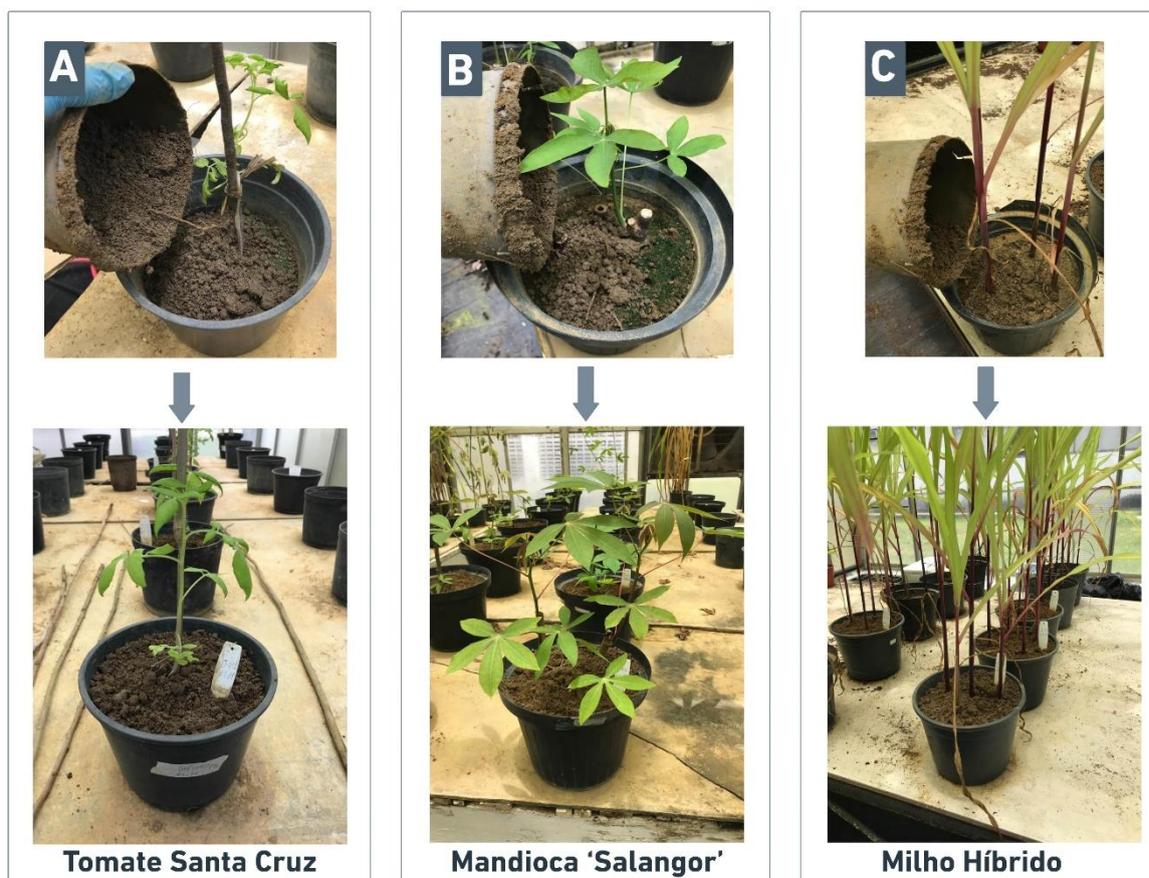
da peneira, com a utilização da pisseta. Em seguida o material que se encontrava no tubo centrífuga foi submetido ao processo de centrifugação seguindo a metodologia descrita por (JENKINS, 1964) modificada, conforme apresentado no capítulo 1.

Após a extração dos nematoides presentes na suspensão contida nos tubos de ensaio, foram agitados e ressuspensos utilizando uma pipeta de 1 mL e retirando-se uma alíquota de 1 mL da suspensão amostral, adicionado à Câmara de Peters e observado ao microscópio de luz (óptico) para realização da leitura das amostras.

Ressalta-se, que a inoculação não foi eficiente, visto que as avaliações apresentaram baixa quantidade populacional de nematoides presentes nas amostras de solo. Novas coletas de solo foram realizadas no intuito de confirmar os resultados obtidos a campo, assim como conseguir populações suficientes para os novos experimentos.

A segunda coleta de solo, consistiu em um maior volume de solo, recolhido das áreas amostradas e colocados diretamente nos vasos cultivados, aproximadamente 500 g de solo/vaso com as culturas de tomate (A), mandioca (B) e milho (C) (Figura 2).

Figura 2. Adição de aproximadamente 500g de solo infestado/vasos já cultivado com as culturas de tomate (A), mandioca (B) e milho (C).



Fonte: Bruno Neves

Aos 80 dias após a adição do solo, as raízes foram coletadas e extraídas em análise nematológica, visto que os resultados obtidos ainda não foram eficientes em razão das extrações não terem apresentado um quantitativo adequado e satisfatório com populações puras, dessa forma cultivou-se pela terceira vez e até a obtenção de populações suficiente de *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp. para novos experimentos.

2.3. Purificação das populações de *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp.

Populações de fitonematoides para os gêneros *Pratylenchus* e *Meloidogyne* apresentaram-se predominantes em raízes de milho híbrido e mandioca da variedade Salangor Preta, após as avaliações das extrações. Salienta-se que tais populações foram cultivadas por aproximadamente cinco meses consecutivos até atingirem a quantidade populacional de nematoides suficiente para a inoculação em novos experimentos.

2.4. Busca por fontes de resistência

O experimento para avaliar as fontes de plantas resistentes foi montado com as variedades de mandioca comerciais e as populações de fitonematoides do gênero *Pratylenchus* e *Meloidogyne* obtidas do experimento de multiplicação. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Estação Experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura. O delineamento experimental foi em bloco casualizado (DBC), com o arranjo fatorial triplo 5 x 3 (5 variedades de mandiocas x 3 tratamentos (*Meloidogyne*, *Pratylenchus* e controle)), distribuídos em 4 blocos com 25 plantas por parcela, totalizando 200 plantas das variedades 'BRS Poti Branca', 'BRS Kiriris', 'BRS Formosa', 'BRS Novo Horizonte', Salongor Preta.

As manivas-sementes foram adquiridas no Banco de Germoplasma (BAG) de Mandioca da Estação Experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, foram cortadas e padronizadas, medindo aproximadamente 8 cm de comprimento. Feita a desinfestação com fungicida (cercobin, 1g/10 Litros de água) em imersão por três minutos. Após o tratamento, as manivas permaneceram em repouso por 12 horas até a completa absorção do produto, sendo posteriormente plantadas em vasos plásticos de 3,5 litros, contendo substrato de cultivo (solo com matéria orgânica e areia) na proporção de 3:2 numa profundidade de 4 a 5 cm.

Ressaltar-se, que anteriormente a mistura do substrato de cultivo foi previamente esterilizada em autoclave a 120°C por 40 minutos, a fim de calibrar em 40 minutos, nesse intuito foi realizado o teste de patogenicidade, tanto em placas de Petri contendo meio de cultura BDA (Agar Batata Dextrose), quanto em placas Petri contendo meio de cultura Ágar YPG (Ágar, Peptona, Extrato de leveduras e Glicose), autoclavada a 120°C por 20 minutos.

As placas foram incubadas em B.O.D em temperatura 26±2 °C com fotoperíodo de 12 horas, após 7 dias não foram constatados nenhum crescimento de fungos e bactérias. Foi realizada também a extração de nematoides a partir de uma amostra de solo. Observou-se que o solo se apresentou inerte, além disso foi possível observar que durante o experimento não foi constatado o crescimento de plantas espontâneas.

Após as plantas atingirem 20-30 cm de altura, equivalente a 25 dias após o plantio (Figura 3A), a suspensão final foi calibrada e padronizada em 4 mL/planta

com a concentração contendo aproximadamente 2.000 fitonematoides e eventuais ovos. O procedimento de inoculação iniciou-se com o auxílio de um bastão de vidro perfurou-se três orifícios com pequenos diâmetros, equidistantes na rizosfera da planta, ou seja, ao redor do colo e o mais próximo das raízes de cada planta a ser inoculada na parcela, à uma profundidade de 2-3 cm (Figura 3B).

Figura 3. Instalação do experimento para avaliação da reação de cultivares de mandioca às populações de nematoides em casa de vegetação na Estação Experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura. Plantas medindo 20-30 cm de altura, aptas à inoculação (A). Inoculação com auxílio de uma seringa esteril (B).



Fonte: Bruno Neves

Esse procedimento evita gastos energéticos exagerados por parte dos fitonematoides e ao mesmo tempo garante a presença das raízes, otimizando o processo. Após a abertura dos orifícios, inoculou-se 4 mL da suspensão aquosa contendo o inóculo, utilizando uma seringa esteril. A suspensão de inóculo foi constantemente agitada manualmente com um bastão de vidro, evitando que os fitonematoides fossem depositados lentamente no fundo do becker de modo a garantir a concentração estável. Vale ressaltar que antes da inoculação as plantas foram irrigadas e após a inoculação os pequenos orifícios foram cobertos e a irrigação foi interrompida por 24 horas.

Aos 60 dias após a inoculação (DAI), foi realizada a primeira avaliação, onde foram utilizando 50 plantas ao total, sendo cinco plantas de cada tratamento (inoculadas/controle) para cada variedade cultivada, a segunda avaliação aos 100 DAI, a terceira aos 130 e a quarta aos 147 DAI finalizando o experimento.

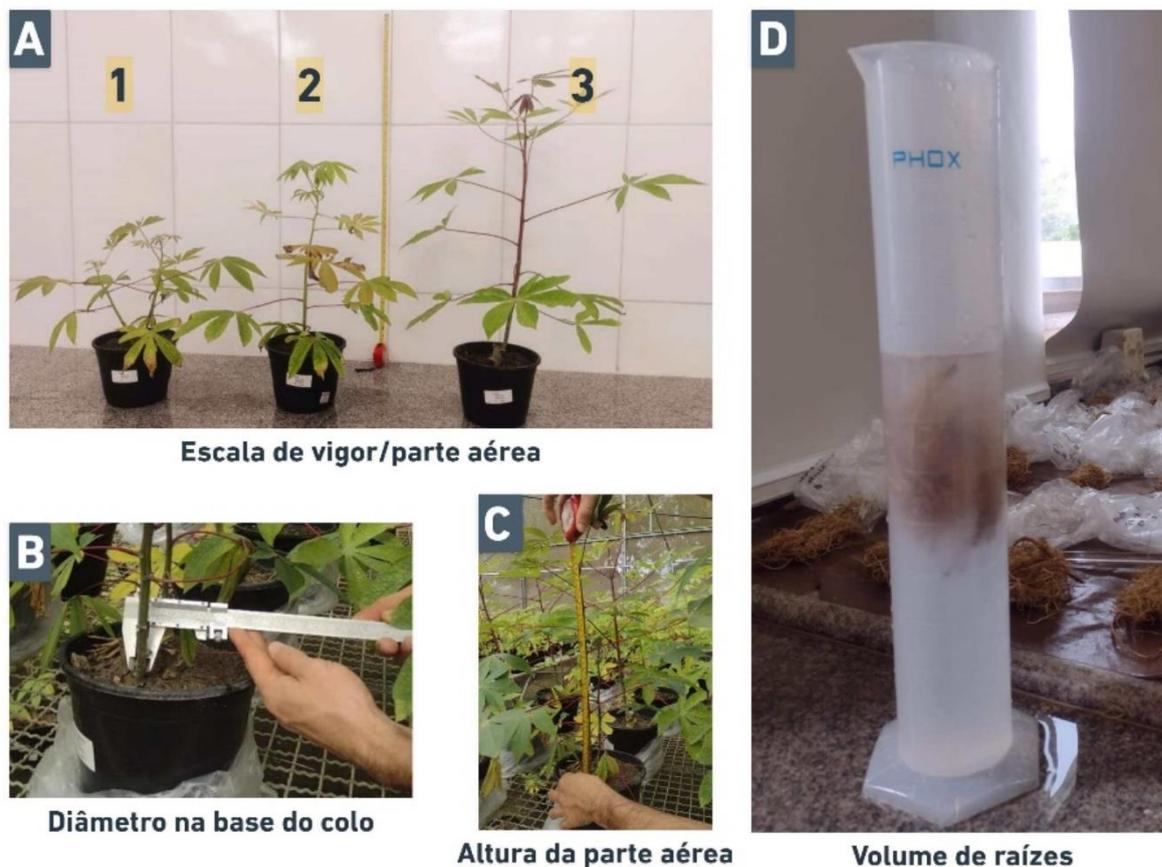
As avaliações prosseguiram da seguinte forma, sendo avaliadas quanto: a) o

vigor da planta, determinado a partir da escala proposta como padrão dentro do experimento, em que 1 expressa o menor vigor entre as plantas do experimento avaliado, 2 representa a uniformidade entre o menor vigor e o maior vigor e 3 representa o maior vigor expressado pela planta dentro do experimento; b) diâmetro da haste, mensurado a partir da inserção da haste na base do colo por meio de leituras em paquímetro analógico; c) altura da planta determinada a partir do início do desenvolvimento da estrutura do sistema caulinar à inserção da última folha com auxílio de trena milimétrica (50 cm) e d) número de hastes por vaso (Figura 4).

As plantas foram colhidas e separadas parte aérea e sistema radicular para determinação da massa fresca (g) da parte aérea por meio da pesagem em balança digital de alta precisão e a massa seca (mg) de raiz, utilizando o volume radicular (cm^3), gerado por intermédio da medição do deslocamento da coluna de água em proveta graduada, e inserindo-as, após a lavagem, em proveta contendo um volume conhecido de água (800 mL). Pela diferença entre o deslocamento da coluna de água, obteve-se a resposta direta do volume de raízes, através da equivalência de unidades ($1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$), segundo metodologia descrita por Falcão Neto et al., (2011). Para a mensuração da massa seca da parte aérea foi levado à estufa com circulação forçada de ar à temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$ até atingir o peso constante.

Após ser mensurado o volume, partes das raízes e do solo foram submetidas ao processo de extração de nematoides para identificação e quantificação de fitonematoide. Outra parte das raízes foi utilizada para realizar a clarificação e coloração de fitonematoides.

Figura 4. Parâmetros avaliados no experimento de inoculação de fitonematoides. Escala de vigor (A). Diâmetro do caule (B). Altura da planta (C). Volume de raiz pelo método gravimétrico (D).



Fonte: Bruno Neves

A avaliação para triagem de resistência, seguiu-se a metodologia proposta por Coolen; D'herde, (1972), em que os J2 de nematoides em amostras de raízes, foram extraídos pelo método do liquidificador e peneiramento. Em seguida o material que se encontra no tubo é submetido ao processo de centrifugação através da metodologia descrita por Jenkins, (1964). Os nematoides presentes na suspensão contida nos tubos de ensaio, foram adicionados à Câmara de Peters e observado ao microscópio de luz (óptico) para quantificação dos nematoides, para posteriormente, calcular o fator de reprodução, determinadas com base na área sob a curva de progresso da doença (AUDPC), durante as avaliações, determinada a partir dos dados quantitativos obtidos no experimento. Desta forma, é possível calcular a infecção inicial, o progresso e o acúmulo total no final do experimento, ou seja, como a planta se comportou durante o processo de inoculação, segundo (CAMPBELL & MADDEN, 1990; HOHENFELD et al., 2022).

Segundo a fórmula, AUDPC:

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) * (t_{i+1} - t_i) \right]$$

Onde:

y_i = gravidade da doença com base no progresso da doença no tempo i avaliado;

y_{i+1} = gravidade da doença no momento da avaliação subsequente $i + 1$;

t_{i+1} = tempo (dias) da avaliação subsequente $i + 1$;

t_i = tempo (dias) no momento da observação i .

2.5. Avaliação da colonização dos tecidos internos.

A colonização das raízes por nematoides foi avaliada seguindo a metodologia proposta por Machado; Ferraz; Silva, (2019), modificada, por meio da clarificação dos tecidos.

As raízes inteiras foram cuidadosamente separadas do solo, utilizando-se bandeja plástica e água corrente, em seguida as raízes foram colocadas em um becker e adicionado a solução de Hipoclorito de sódio (30 mL de Hipoclorito de sódio (2,5 % de cloro ativo), 50 mL de água destilada (AD), o suficiente para submergir as raízes por completo, com o auxílio de um bastão de vidro, mexeu-se por um período de 6 minutos para uma melhor clarificação. Em seguida as raízes foram lavadas sobre a peneira de 30 Mesh, utilizando água corrente, e colocadas em um béquer com AD por 15 minutos agitando esporadicamente e descartada, a fim de retirar o completo resíduo do hipoclorito.

Adicionou-se, AD em um béquer de vidro o suficiente para cobrir as raízes na proporção de 1:30 (1 mL de solução corante (75 mL de AD, 25 mL de Ácido acético, 0,35g de Fucsina ácida) para 30 mL de água) e levado ao micro-ondas para a fervura. Após o início da fervura marcou-se 30 segundos, tempo suficiente para a coloração e esperado o completo resfriamento das raízes. Logo após, verteu-se todo o conteúdo do becker em peneira, lavou-se delicadamente as raízes em AD e umedeceu-as com solução de glicerina acidificada (1 L de Glicerina PA / 13 mL de Ácido clorídrico (5M)) e armazenadas em geladeira (Figura 5).

Figura 5. Etapas do processo de clarificação e coloração de raízes de mandioca utilizando fucsina ácida.

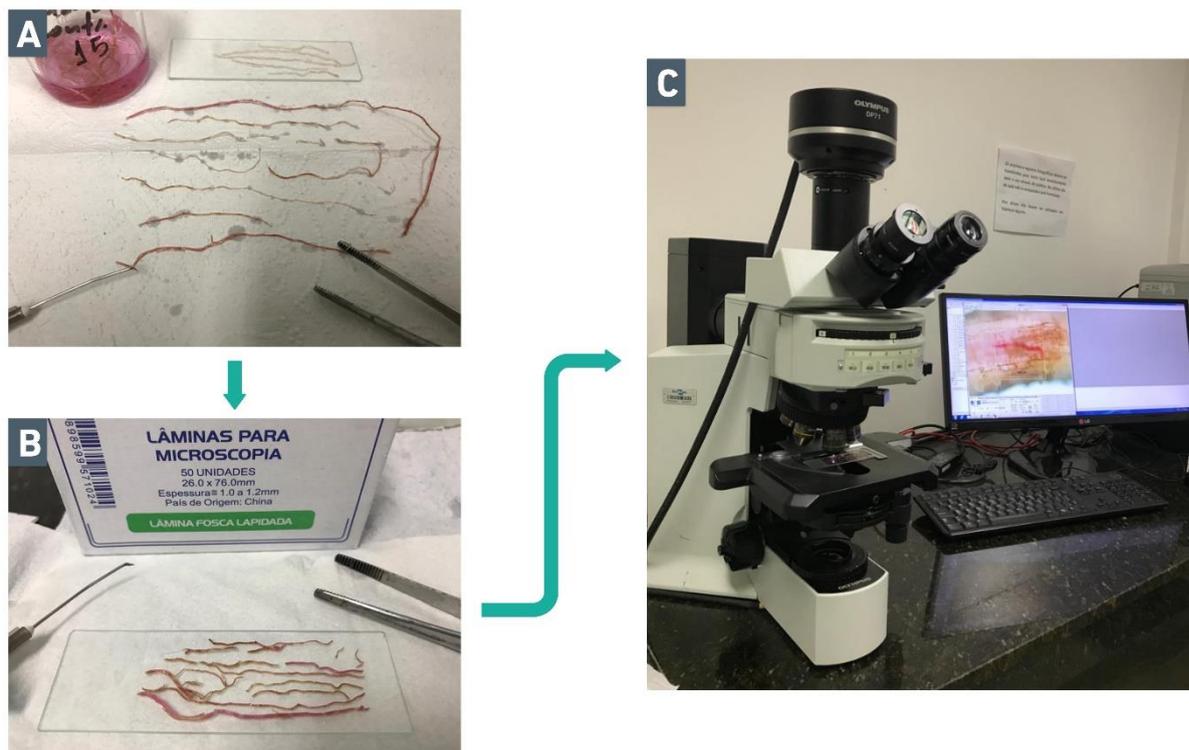


Fonte: Bruno Neves

2.6. Montagem das lâminas

As lâminas foram montadas, utilizando como superfície de apoio a bancada, pinça e bisturi como ferramentas de trabalho. O excesso de glicerina acidificada foi retirado com papel absorvente. Foram utilizados fragmentos de raízes em tamanho ideal para montar as lâminas por completo, dentro do campo observado, sendo possível a identificação e observação em microscópio de luz (óptico) (Figura 6).

Figura 6. Etapas do processo de montagem das lâminas com tecidos radiculares para observação em microscopia. Retirada do excesso de glicerina acidificada em papel toalha (A). Montagem das lâminas (B). Identificação e observação em microscopia de luz – óptico (C)



Fonte: Bruno Neves

2.7. Análises Estatísticas

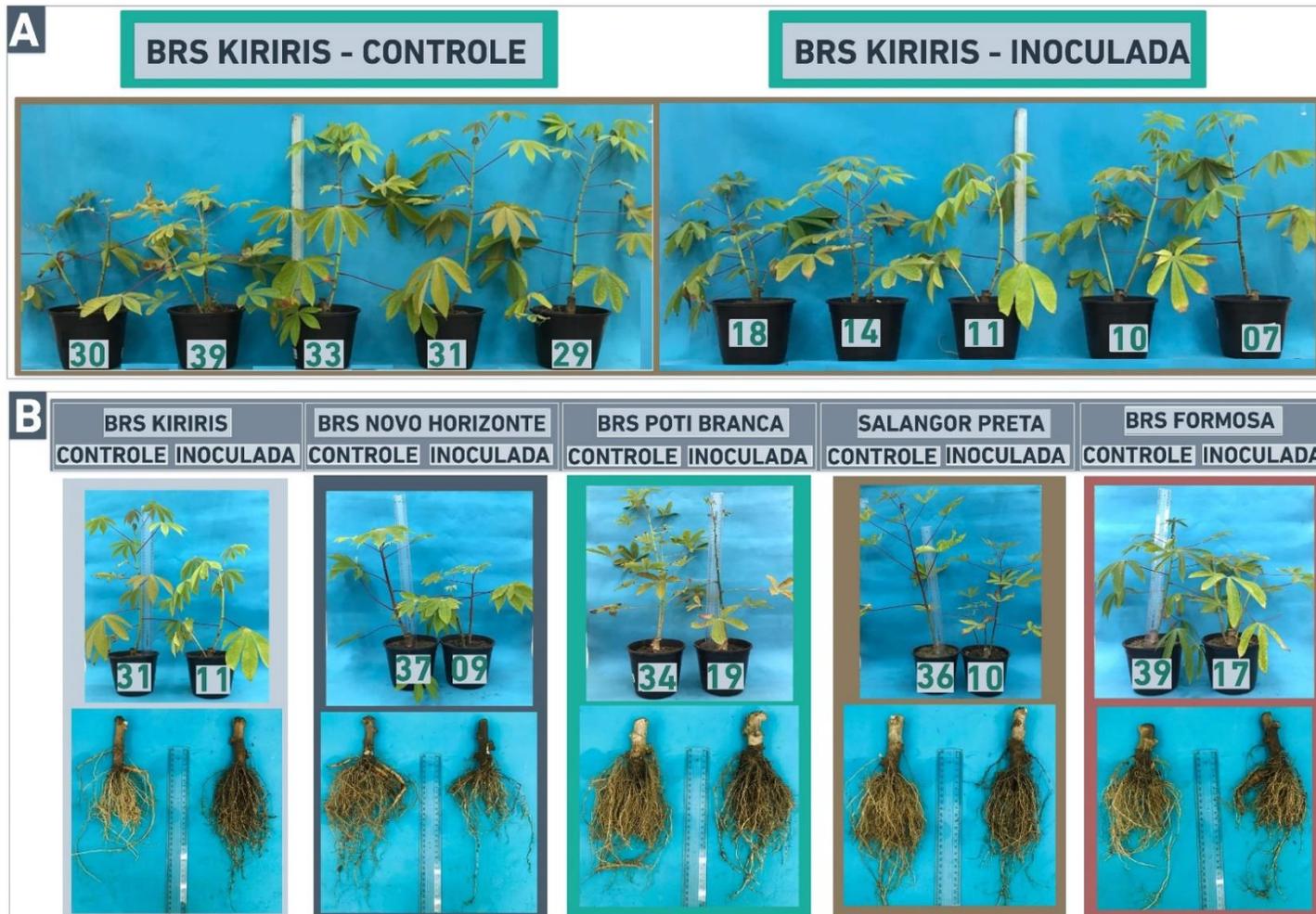
Os dados do AUDPC foram submetidos à análise de variância, as médias foram agrupadas pelos testes de Scott-Knott em nível de significância de 5% utilizando o pacote `geom_boxplot`. Os gráficos foram construídos usando o `ggplot2`, implementado com o software R, versão 4.1.1 (R CORE TEAM, 2022).

3. RESULTADOS

As variedades de mandioca apresentaram diferenças significativas com base nas características agronômicas da cultura e com base na suscetibilidade devido a alta taxa de infecção causadas por fitonematoides do gênero *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp. A figura 7, demonstra a primeira avaliação realizado no experimento aos 60 DAI, comparando as características agronômicas visuais, como altura, vigor, volume de raízes e a qualidades das mesmas, quando comparada a última avaliação realizada aos 147 DAI (Figura 8), as demais avaliações foram realizadas aos 100 e 130 DAI.

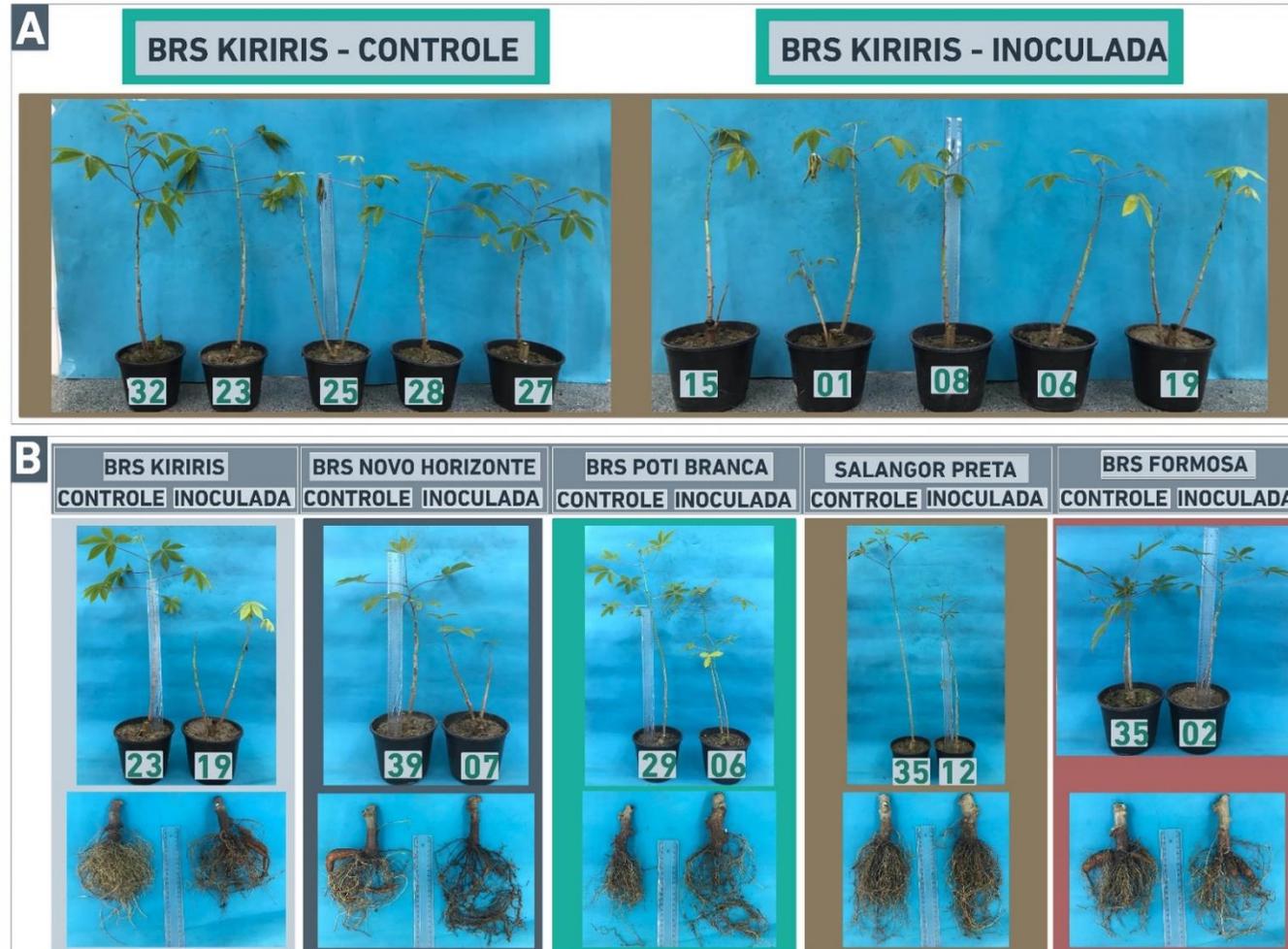
Foi observado a ocorrência de perdas no volume de parte aérea, amarelecimento das folhas e redução no crescimento das plantas inoculadas, apesar de ser uma característica da cultura. Quanto ao volume de raízes foi notável a grande diferença entre plantas inoculadas e não inoculadas. Isto acontece, pelo fato da infecção causada por nematoides, ocorrendo uma diminuição no volume e escurecimento das raízes, em consequência do drástico apodrecimento das radículas.

Figura 7. Primeira avaliação do experimento busca por fonte de resistência aos 60 DAI. Representação da altura e vigor das plantas controle e inoculadas (A). Comparação entre os tratamentos com base nos caracteres agronômicos e volume e qualidade de raízes (B).



Fonte: Bruno Neves

Figura 8. Avaliação final do experimento busca por fonte de resistência aos 147 DAI. Representação da altura e vigor das plantas controle e inoculadas (A). Comparação entre os tratamentos com base nos caracteres agronômicos e volume e qualidade de raízes (B).

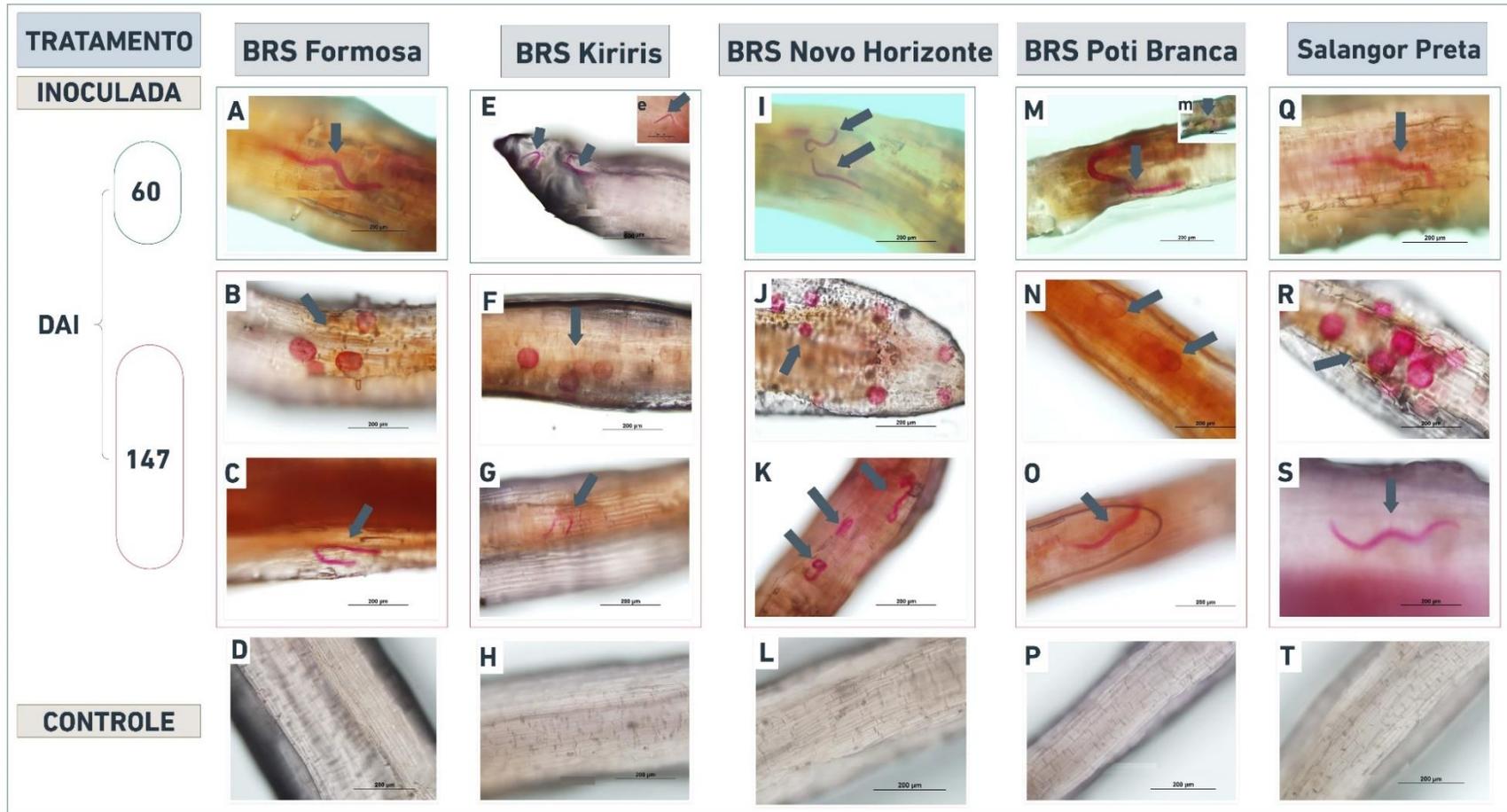


Fonte: Bruno Neves

3.1. Clarificação e coloração do fitonematoides em tecidos radiculares

Pela técnica de clareamento de raízes e coloração com fucsina ácida, foram observadas estruturas de nematoides presentes no interior dos tecidos radiculares nas variedades de mandioca após 60 e 147 DAI (Figura 9. A-S) complementando a avaliação de extração de amostras de raízes, e confirmando a presença dos gêneros no processo de infecção e progresso da doença. Conforme observado, as variedades avaliadas apresentaram suscetíveis quando inoculadas, os danos iniciais não são tão perceptíveis, contudo se tornam maiores com o decorrer do período. Ressalta que, à medida em que ocorre a formação de raízes tuberosas, as predominâncias do fitonematoides começam a diminuir nas raízes. Nas amostras não inoculadas, as análises não permitiram detectar a presença de nematoides em cada variedade (Figura 9 D, H, L, P, T).

Figura 9. Penetração de Juvenil de *Meloidogyne* sp. e *Pratylenchus* sp. nos tecidos radiculares de mandioca. Aos 60 dias após a inoculação (DAI) a presença dos J2, na variedade 'BRS Formosa' (A), 'BRS Kiriris' (E), 'BRS Novo Horizonte' (I), 'BRS Poti Branca' (M) e 'Salangor Preta' (Q). Aos 147 DAI a predominância e diferença entre os fitonematoides adultos, sendo (B, F, J, N e R) fêmeas obesas de *Meloidogyne* sp. e em (C, G, K, O e S) vermiformes de *Pratylenchus* sp. Os controles (D, H, L, P e T), sem a presença de sintomas de infecção nas raízes de plantas de mandioca.



Fonte: Bruno Neves

3.2. Análise de regressão polinomial local (LOESS)

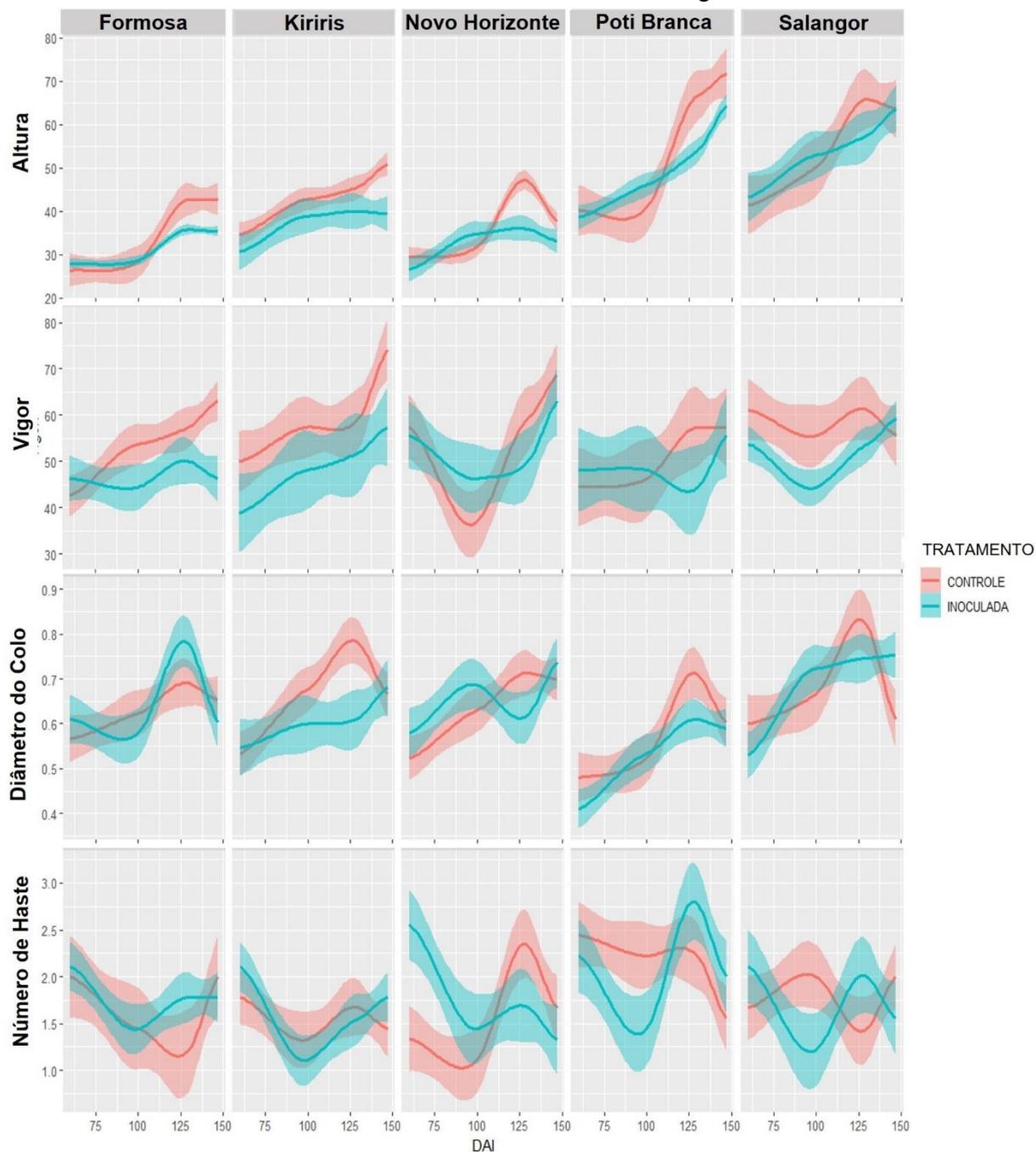
Os parâmetros analisados no experimento não apresentaram proporções diretas entre os valores. Dessa forma utilizamos a análise de regressão, para melhor descrever as variações entre as avaliações ao longo do experimento. A altura e vigor das plantas entre os tratamentos mostraram-se superiores para todos os controles entre as variedades. O tratamento controle apesar das oscilações, ao analisarmos aos 60 DAI todas as variedades iniciavam sem muitas oscilações, a partir dos 100 dias essas oscilações foram aumentando, e conseqüentemente uma queda no crescimento e vigor das plantas inoculadas (Figura 10).

A altura das plantas (AP) variou entre as variedades durante o experimento, sendo os controles: 'Salangor Preta' de 32 a 93,02 cm, 'BRS Formosa' de 22,30 a 51 cm, 'BRS Kiriris' de 25,60 a 64 cm, 'BRS Poti Branca' de 33,40 a 92 cm, e 'BRS Novo Horizonte' de 22 a 59 cm. As inoculadas: 'Salangor Preta' de 38,80 a 84 cm, 'BRS Formosa' de 24,50 a 39,50 cm, 'BRS Kiriris' de 25,20 a 49,50 cm, 'BRS Poti Branca' de 33 a 73 cm, e 'BRS Novo Horizonte' de 20,60 a 55 cm. O vigor variou de um a três, não apresentando valores discrepantes entre as variáveis.

Quanto ao diâmetro na base do colo e o número de haste, os dados apresentaram variações normais em torno da margem de erro ao longo das avaliações (Figura 18), sendo os controles: 'Salangor Preta' com o mínimo 0,4 e o máximo 1,1 cm, 'BRS Formosa' de 0,5 a 0,8 cm, 'BRS Kiriris' de 0,4 a 0,9 cm, 'BRS Poti Branca' de 0,4 a 0,9 cm, e 'BRS Novo Horizonte' de 0,4 a 0,9 cm. As inoculadas: 'Salangor Preta' de 0,5 a 1,1 cm, 'BRS Formosa' de 0,4 a 0,9 cm, 'BRS Kiriris' de 0,4 a 0,8 cm, 'BRS Poti Branca' de 0,4 a 0,8 cm, e 'BRS Novo Horizonte' de 0,5 a 0,9 cm, para o diâmetro do colo.

Em relação ao número de hastes, todos os tratamentos apresentaram no mínimo uma e no máximo quatro.

Figura 10. Análise de regressão polinomial local (LOESS) para os diferentes parâmetros de crescimento. As linhas mostram as variações entre a altura, vigor, diâmetro do colo e o número de haste, as sobras das regressões denotam a margem de erro em cada variação, para os tratamentos controle e inoculada (*Meloidogyne* sp. e *Pratylenchus* sp.) em variedades de ‘BRS Formosa’, ‘BRS Kiriris’, ‘BRS Novo Horizonte’, ‘BRS Poti Branca’ e ‘Salangor Preta’.



Fonte: Bruno Neves

A massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) aferido em gramas, foi maior para os tratamentos controle (Figura 11). As plantas inoculadas perderam a maior parte das folhas do terço inferior e médio. Quanto ao

diâmetro na base do colo, houve um leve aumento nas plantas inoculadas, talvez atrelados aos mecanismos e estratégia de sobrevivência da planta.

O controle 'Salangor Preta' apresentou o peso de MFPA com 18,05 e o maior 49,45, 'BRS Formosa' de 20,15 a 48,44, 'BRS Kiriris' de 13,21 a 40,31, 'BRS Poti Branca' de 21,30 a 46,29, e 'BRS Novo Horizonte' de 18,87 a 44,93. As inoculadas: 'Salangor Preta' de 8 a 49,59, 'BRS Formosa' de 10,75 a 46,54, 'BRS Kiriris' de 11,89 a 44,85, 'BRS Poti Branca' de 19,02 a 46,31, e 'BRS Novo Horizonte' de 6,59 a 44,93.

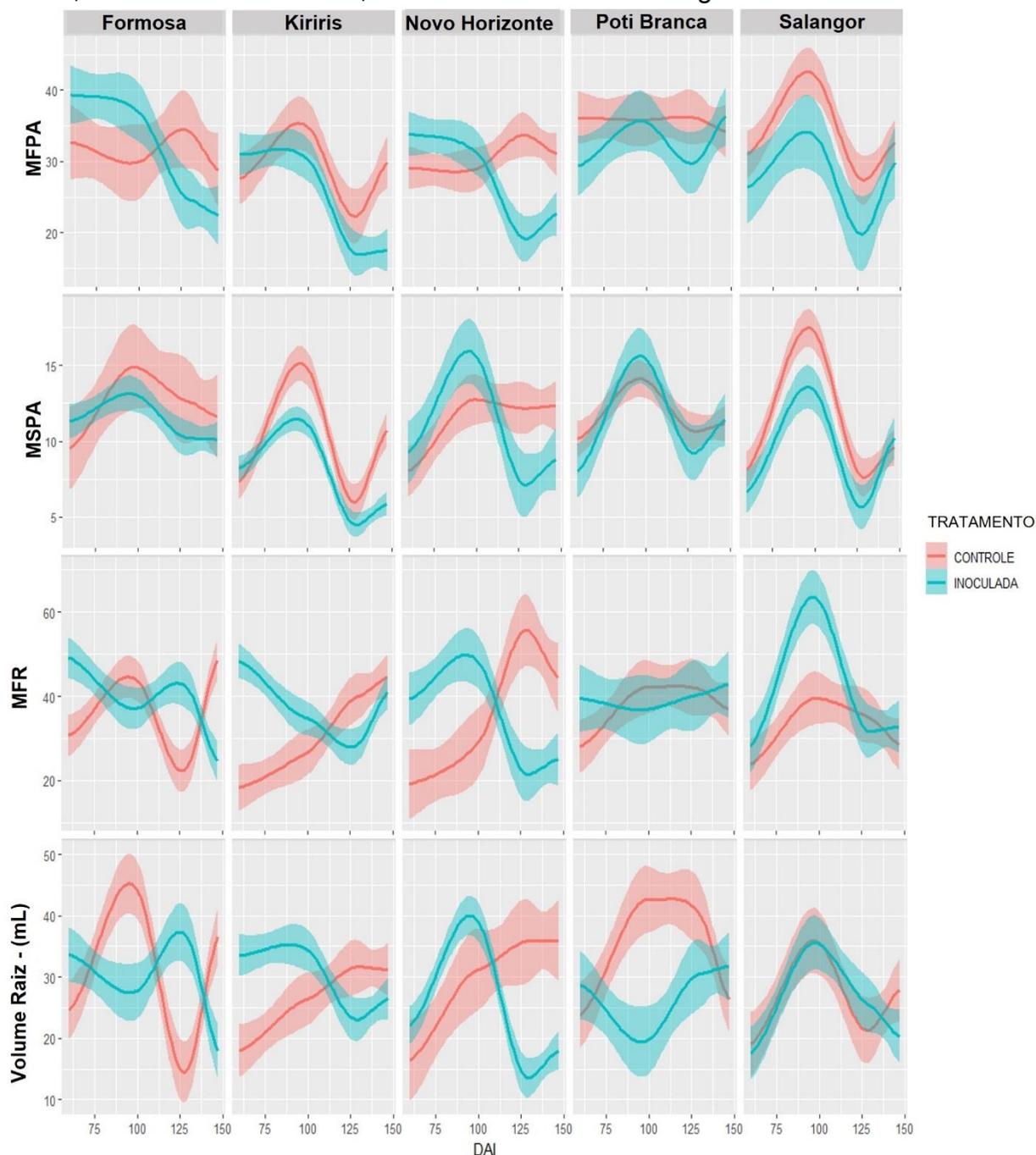
Quanto a MSPA para os controles: 'Salangor Preta' com o mínimo 4,32 e o máximo 19,9, 'BRS Formosa' de 7,01 a 22,01, 'BRS Kiriris' de 3,32 a 17,79, 'BRS Poti Branca' de 6,02 a 15,86, e 'BRS Novo Horizonte' de 4,87 a 16,21. As inoculadas: 'Salangor Preta' de 1,58 a 16,37, 'BRS Formosa' de 4,5 a 17,65, 'BRS Kiriris' de 1,66 a 13,29, 'BRS Poti Branca' de 4,03 a 19,33, e 'BRS Novo Horizonte' de 1,31 a 19,88.

Os dados de massa fresca de raiz (MFR) em grama e a massa seca, atribuída pelo método gravimétrico (volume de raiz/mL⁻¹), representando a massa seca de raiz (Figura 11). Podemos observar, que houve quedas bruscas na quantidade de raízes e qualidade da mesma, resultado da ocorrência de infecções causadas por nematoides e conseqüentemente apodrecimento e perda de tecidos radiculares, logo fica claro as diferenças quanto a altura e vigor.

A MFR em gramas para os controles: a variedade crioula 'Salangor Preta' apresentou o mínimo de 14,03 e o máximo 55,66, 'BRS Formosa' de 12,64 a 70,25, 'BRS Kiriris' de 12,92 a 58,91, 'BRS Poti Branca' de 17,23 a 56,57, e 'BRS Novo Horizonte' de 5,71 a 86,82. As inoculadas: 'Salangor Preta' de 12,21 a 78,25, 'BRS Formosa' de 11,75 a 65,94, 'BRS Kiriris' de 12,86 a 57,02, 'BRS Poti Branca' de 19,82 a 74,48, e 'BRS Novo Horizonte' de 6,59 a 64,48.

O volume de raízes em mL, para os controles: 'Salangor Preta' com o mínimo 12 e o máximo 40, 'BRS Formosa' de 8 a 62, 'BRS Kiriris' de 14 a 40, 'BRS Poti Branca' de 10 a 59, e 'BRS Novo Horizonte' de 9 a 49. As inoculadas: 'Salangor Preta' de 10 a 48, 'BRS Formosa' de 10 a 49, 'BRS Kiriris' de 10 a 48, 'BRS Poti Branca' de 10 a 43, e 'BRS Novo Horizonte' de 5 a 50.

Figura 11. Análise de regressão polinomial local (LOESS) para os diferentes parâmetros de crescimento. As linhas mostram as variações entre a MFPA, MSPA, MFR e a MSR (volume de raiz/mL), as sobras das regressões denotam a margem de erro em cada variação, para os tratamentos controle e inoculada (*Meloidogyne* sp. e *Pratylenchus* sp.) em variedades de ‘BRS Formosa’, ‘BRS Kiriris’, ‘BRS Novo Horizonte’, ‘BRS Poti Branca’ e ‘Salangor Preta’.



Fonte: Bruno Neves

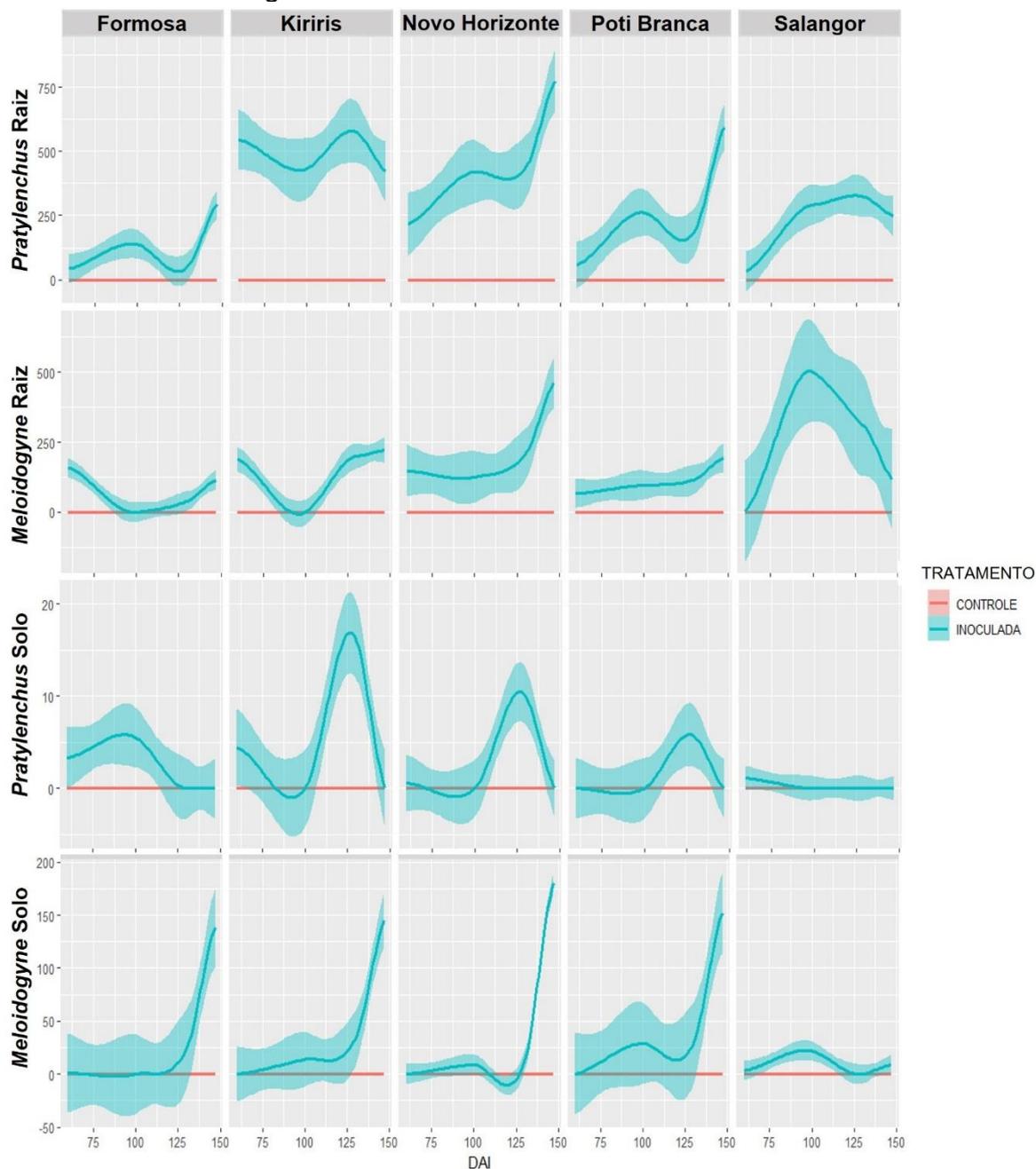
Os tratamentos controles apresentaram inertes em análises de extração de raízes e coloração, o mesmo foi observado em extrações de solo. Enquanto as inoculadas apresentaram-se, suscetíveis aos gêneros *Pratylenchus* e *Meloidogyne*

em todas as variedades avaliadas (Figura 12).

As populações de *Pratylenchus* sp. nos tratamentos, apresentou em 10 gramas de raízes: 'Salangor Preta' o menor valor foi 0 e o maior 700 J2, 'BRS Formosa' de 0 a 575, 'BRS Kiriris' de 110 a 1025, 'BRS Poti Branca' de 30 a 780, e 'BRS Novo Horizonte' de 50 a 900. *Meloidogyne* sp. nos tratamentos, apresentou o mínimo 0 em todas as variedades e o máximo: 'Salangor Preta' com 1250, 'BRS Formosa' com 400, 'BRS Kiriris' com 380, 'BRS Poti Branca' 400, e 'BRS Novo Horizonte' 625.

As populações de *Pratylenchus* sp. nos tratamentos, apresentou em 100 cm³ de solo: 'Salangor Preta' o maior valor com 10 J2, 'BRS Formosa' com 25, 'BRS Kiriris' com 40, 'BRS Poti Branca' com 25, e 'BRS Novo Horizonte' com 25. *Meloidogyne* sp. o maior valor foi: 'Salangor Preta' com 40, 'BRS Formosa' com 225, 'BRS Kiriris' com 250, 'BRS Poti Branca' 310, e 'BRS Novo Horizonte' 275.

Figura 12. Análise de regressão polinomial local (LOESS) para os diferentes parâmetros de crescimento. As linhas mostram as variações para o aumento das infecções e as sobras das regressões denotam a margem de erro em cada variação, causadas por populações de *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp. durante as avaliações em comparação com o tratamento controle em raízes e solo das variedades de ‘BRS Formosa’, ‘BRS Kiriris’, ‘BRS Novo Horizonte’, ‘BRS Poti Branca’ e ‘Salangor Preta’.



Fonte: Bruno Neves

3.3. Análise de Boxplot

As médias do AUDPC foram comparadas nas cinco variedades utilizando o gráfico boxplot, dessa forma os valores foram distribuídos de acordo com a

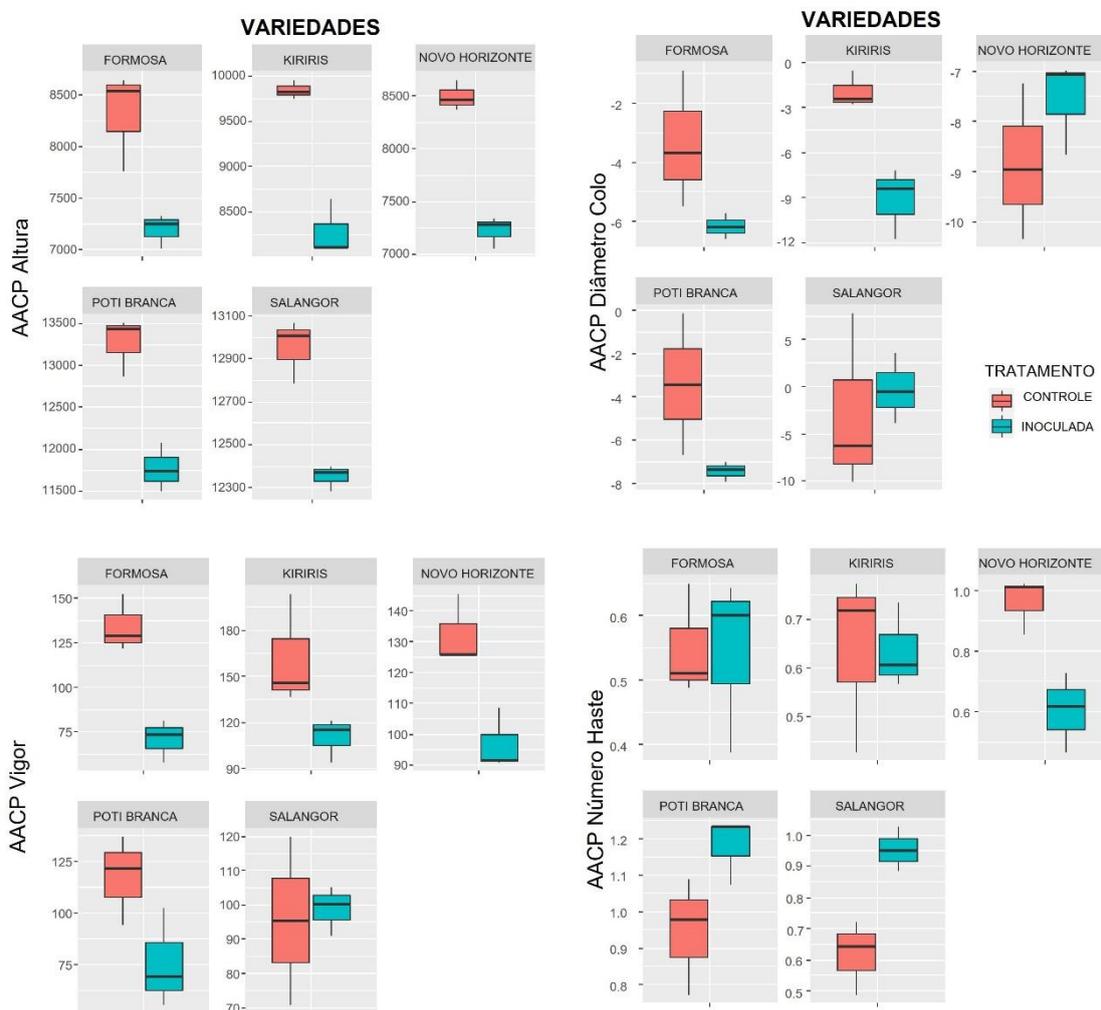
dispersão dos dados. O conjunto de dados foi ilustrado em diagramas de caixas representando as variáveis com relação a altura das plantas, vigor, diâmetro do colo, haste, MFPA, MSPA, MFR, MSR e os fitonematoides.

A distribuição das variáveis quanto a altura, apresentou variáveis significativamente diferentes para todos os conjuntos de dados entre os tratamentos. O mesmo foi observado para o vigor, apenas a variedade crioula 'Salangor Preta', o tratamento inoculado, apresentou os valores da mediana segundo quartil (Q2) acima do controle, entretanto não superior ao terceiro quartil (Q3) e o máximo (Figura 13). De forma geral, denota que as variáveis quanto a altura e vigor são superiores nos controles.

Quanto ao diâmetro do colo e o número de haste (Figura 13), o mesmo se assemelhou, havendo diferenças estatísticas para a variedade 'BRS Formosa', 'BRS Kiriris' e 'BRS Poti Branca'. Para a variedade 'Salangor Preta' o tratamento inoculado apresentou os valores da mediana superiores ao controle, porém não superior aos valores máximos entre os tratamentos, ao contrário da variedade 'BRS Novo Horizonte' em que os valores medianos e máximo dos tratamentos inoculados, superaram os valores máximos para o controle.

No que diz respeito ao número de haste, os tratamentos inoculados referentes às variedades 'BRS Poti Branca' e 'Salangor Preta' os valores foram superiores aos controles, diferindo estatisticamente. As variedades 'BRS Novo Horizonte' s divergiram estatisticamente, sendo significativamente superior o valor dos tratamentos controle. As variedades 'BRS Kiriris' e 'BRS Formosa' apresentaram valores semelhantes, contudo estatisticamente inferior para os tratamentos inoculados quando analisamos a discrepância dos valores medianos para a 'BRS Kiriris', e contrariamente a variedade 'BRS Formosa', em que os valores medianos foram superiores para as plantas inoculadas.

Figura 13. Boxplot formado com base na altura, vigor, diâmetro do colo e o número de haste. Variedades de 'BRS Formosa', 'BRS Kiriris', 'BRS Novo Horizonte', 'BRS Poti Branca' e 'Salangor Preta' avaliados entre os tratamentos controle e inoculada (*Meloidogyne* sp. e *Pratylenchus* sp.).



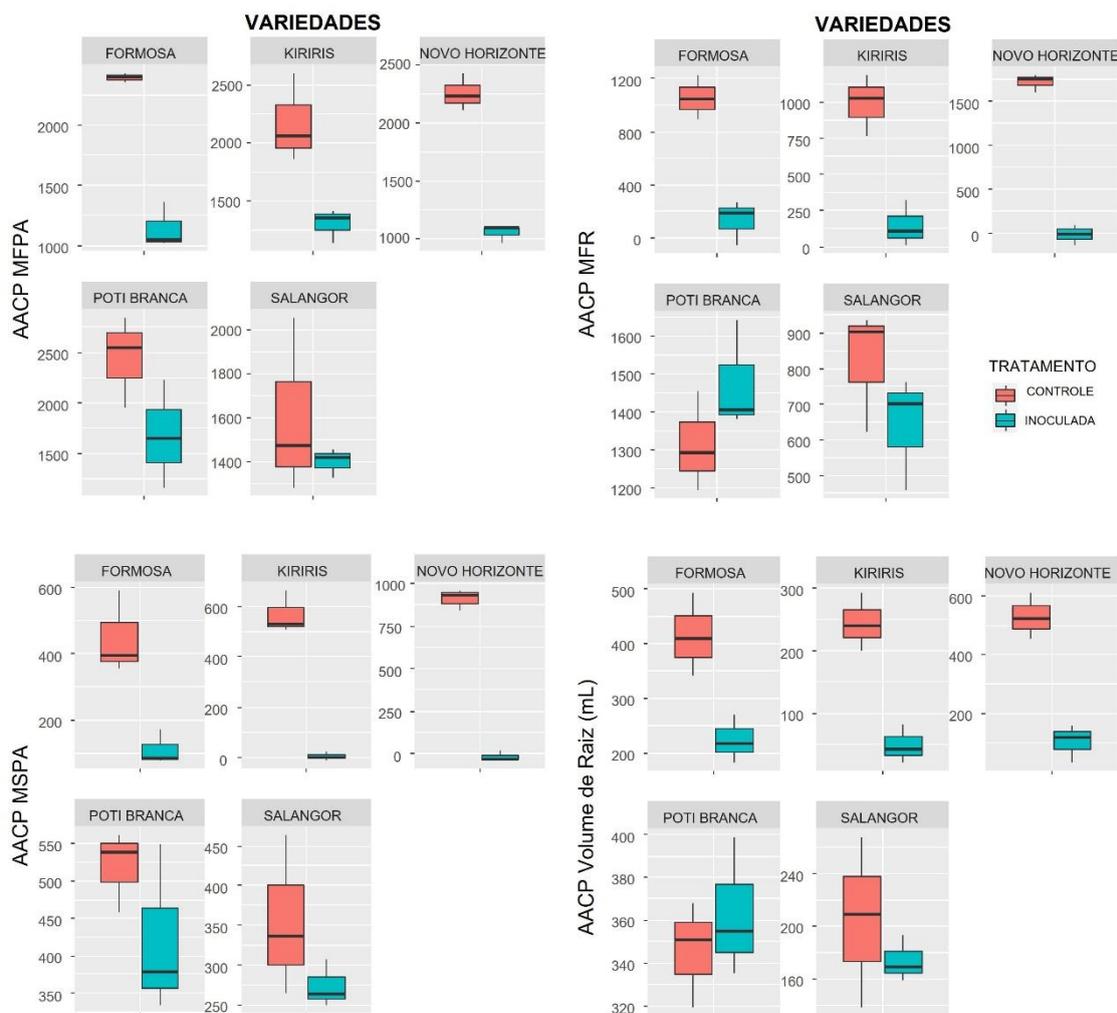
Fonte: Bruno Neves

No entanto, se compararmos os valores referentes a MFPA e MSPA, em todas as variedades os tratamentos controles foram significativamente superiores quando comparados com as inoculadas, demonstrando que houve uma redução quando comparamos o volume de parte aérea, logo a incidência do patógeno (fitonematoides) foram os propulsores dos danos causados (Figura 14).

Ao compararmos a distribuição dos valores entre as variedades e os tratamentos, quanto a MFR e MSF, verificou-se que todas as variedades foram estatisticamente maior para os controles, com exceção da variedade 'BRS Poti Branca', que os valores medianos foram superiores estatisticamente para as variedades inoculadas (Figura 14). Já nas variedades 'BRS Formosa', 'BRS Kiriris'

e 'BRS Novo Horizonte', houve uma redução no volume de raízes do tratamento inoculados, indicando que as mesmas foram altamente susceptíveis às infecções causadas pelos fitonematóides.

Figura 14. Boxplot formado com base na MFPA, MSPA, MFR e MSR (volume de raiz/mL⁻¹). Variedades de 'BRS Formosa', 'BRS Kiriris', 'BRS Novo Horizonte', 'BRS Poti Branca' e 'Salangor Preta' avaliando entre os tratamentos controle e inoculada (*Meloidogyne* sp. e *Pratylenchus* sp.).



Fonte: Bruno Neves

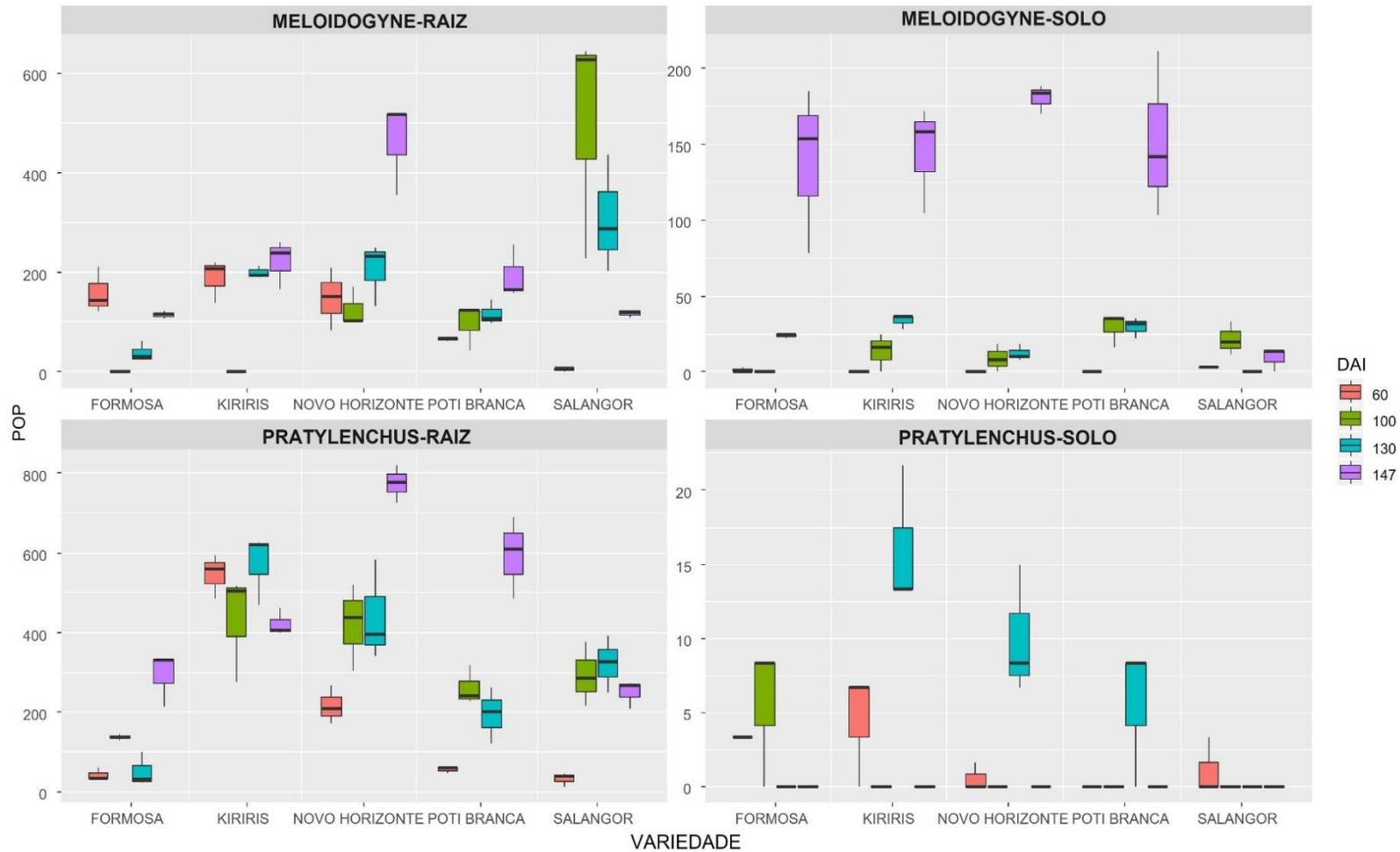
Os valores médios das variedades aos 60, 100, 130 e 147 DAI variaram ao longo das avaliações para as populações de *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp. (Figura 15). No entanto, ao comparar a distribuição dos fitonematóides para a variedade 'BRS Formosa', as populações de *Meloidogyne* sp. foram maiores aos 60 DAI nas raízes e aos 147 DAI no solo. Já as populações de *Pratylenchus* sp. foram maiores nas raízes aos 147 dias e no solo aos 100 DAI.

As variedades 'BRS Kiriris', tanto na raiz quanto no solo foram maiores aos 147 DAI, contudo no solo esse aumento foi gradual ao longo do período de avaliação, enquanto as populações de *Pratylenchus* sp. houve oscilações ao longo do período em raízes e uma diminuição aos 147 DAI, com valores mais altos aos 130 DAI em raízes e solo.

Nas variedades 'BRS Novo Horizonte' e 'BRS Poti Branca', para ambos nematoides, as populações aumentaram ao longo das avaliações progressivamente em raízes e solo, divergindo para *Pratylenchus* sp. no solo, apresentando os maiores valores aos 130 DAI.

Na variedade 'Salangor Preta', as populações de *Meloidogyne* sp. nas raízes e no solo foram superiores aos 100 DAI, enquanto as populações de *Pratylenchus* sp. em raiz aos 130 DAI e no solo aos 60 DAI.

Figura 15. Boxplot formado com base na incidência das populações de *Meloidogyne* sp. e *Pratylenchus* sp. Raízes das variedades 'BRS Formosa', 'BRS Kiriris', 'BRS Novo Horizonte', 'BRS Poti Branca' e 'Salangor Preta' durante o período de avaliação.



Fonte: Bruno Neves

4. DISCUSSÃO

O estudo avaliou os danos causados por populações de *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp. em variedades de mandioca aos 60, 100, 130 e 147 dias após a inoculação (DAI). Os resultados denotam, índices de infecção considerados significativamente, interferindo no processo de crescimento da planta, vigor, MFPA, MSPA, MFR e MSR. Os danos causados, como redução no peso, e características iniciais de apodrecimento das raízes foram significativamente provocados por ambas as populações.

A menor altura entre os controles foi observada em 'BRS Novo Horizonte' 22 cm e o maior em 'Salangor Preta' com 93,02 cm. Com relação às inoculadas não foi diferente, sendo a menor para 'BRS Novo Horizonte' 20,60 cm e o maior em 'Salangor Preta' com 84 cm. Os Tratamentos inoculados com as populações de fitonematoides, destacaram os maiores índices de infecção, entretanto todas as plantas sobreviveram às inoculações.

Todas as variedades foram suscetíveis, contudo as populações de *Meloidogyne* sp. e *Pratylenchus* sp. foram menos agressivas na variedade 'BRS Formosa' e 'BRS Kiriris', e na variedade 'BRS Poti Branca' por *Meloidogyne* sp.

As variedades que apresentaram maior agressividade causada por *Meloidogyne* sp. foram 'BRS Novo Horizonte' e 'Salangor Preta' e por *Pratylenchus* sp. 'BRS Novo Horizonte' e 'BRS Poti Branca' aos 147 DAI.

Estudos elaborados por Akinsanya *et al.*, (2020) confirmam os resultados obtidos no presente estudo, evidenciando que todas as cultivares estudadas por eles, foram altamente suscetíveis em decorrência de perdas na produtividade de cultivares de mandioca infestados por *M. incognita*.

Em pesquisas realizadas na Nigéria, com *M. incognita* mostra que as infecções causadas, promovem supressão significativa no crescimento e produção das cultivares de mandioca após 12 meses, apesar do baixo nível de infestação de nematoides no campo (AKINSANYA; AFOLAMI, 2018).

Segundo Makumbi-Kidza; Speijer; Sikora, (2000) a agressividade causada por *M. incognita* em mandioca ocorre no período inicial de formação da raiz, iniciando quando a plantas têm entre 1 e 2 meses de plantio (DAP). O mesmo avaliou até os 88 DAP confirmando a redução no número de raízes. Após a formação de armazenamentos das raízes não ocorre novas infecções, dessa forma as perdas

ocorrem devido a inibição de armazenamento da raiz durante a formação, sem apresentar sintomas aparente na parte aérea ou escoriações em raízes de armazenamento.

Concordantemente com Okubara; Peetz; Sharpe, (2019), durante o período inicial, ou seja, processo de estabelecimento no local de alimentação, os danos são poucos, em seguida extraem os nutrientes das plantas, modifica a morfologia da planta e induz a formação de progênie. Populações de fitonematoides alimentam-se das células corticais das raízes sem provocar o rompimento do cilindro vascular por meio das camadas de lignina e suberina, subsequentemente ocorre o apodrecimento das mesmas.

As espécies de nematoides encontradas nesse estudo, foram relatadas anteriormente, estando presentes na região rizosférica da planta e são responsáveis por ocasionarem danos econômicos consideráveis para a cultura da mandioca. (GARRIDO *et al.*, 2008; ROSA *et al.*, 2014; COYNE; AFFOKPON, 2018).

Danos causados por fitonematoides se iniciam interrompendo o crescimento da planta e conseqüentemente ocorre uma redução na produtividade da cultura. Segundo Okubara; Peetz; Sharpe, (2019) e Smiley *et al.*, (2017) a resistência genética apesar de ser um desafio, é a melhor alternativa para controlar patógenos habitantes do solo, caracterizada pelos manejos de cultivares capazes de suprimir ou impossibilitar a reprodução. Apesar da utilização de nematicida a base do princípio ativo (Carbufurano) em culturas de mandioca, apresentaram melhoria no crescimento e rendimento relacionados a presença de nematoides, no entanto, sua utilização foi proibida pela ANVISA (AKINSANYA; AFOLAMI, 2018).

Desta forma, as sequências de eventos que ocorrem durante o ciclo de infecção, compreende as etapas de inoculação do patógeno, penetração, infecção, colonização, reprodução e disseminação na planta hospedeira (LEITE *et al.*, 2020). Desta forma, os nematoides provocam deformações, lesões físicas diretas nas raízes, desvio de nutrientes essenciais e intoxicações por enzimas secretadas pelo fitonematoide, bem como os danos secundários causados por bactérias, fungos e oomicetos durante o processo de infecção, resultando em necrose radicular, galhas, ramificações anormal das raízes, deficiência nutricional, murcha, e menor crescimento da parte aérea (POOF, 1988; SIDDIQUI *et al.*, 2012; ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2016; COYNE; AFFOKPON, 2018).

Novos estudos devem ser realizados, buscando investigar as infecções causadas após o processo de formação das raízes de armazenamento, a fim de averiguar se a ocorrência das infecções e o progresso no apodrecimento de raízes são progressivos ou se está atrelado apenas no início da cultura, apesar que, os danos iniciais refletem no comprometimento final da cultura, na formação e na quantidade de raízes produzidas por planta, conseqüentemente ocasionando perdas consideráveis.

5. CONCLUSÕES

As variedades estudadas apresentaram suscetibilidade às infecções causadas por fitonematoides (*Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp.), interferindo significativamente na altura das plantas, vigor, MFPA, MSPA, MFR e MSR.

As variedades que apresentaram maior agressividade causada por populações de *Meloidogyne* sp. foram 'BRS Novo Horizonte' e 'Salangor Preta' e por *Pratylenchus* sp. 'BRS Novo Horizonte' e 'BRS Poti Branca' aos 147 DAI.

6. REFERÊNCIA

AKINSANYA, A. K. *et al.* The root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, profoundly affects the production of popular biofortified cassava cultivars. **Nematology**, v. 22, n. 6, p. 667–676, 14 jul. 2020.

AKINSANYA, A. K. *et al.* The root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, profoundly affects the production of popular biofortified cassava cultivars. **Nematology**, v. 22, n. 6, p. 667–676, 14 jul. 2020.

AKINSANYA, A. K.; AFOLAMI, S. O. Effect of seven elite cassava (*manihot esculenta crantz*) varieties to infection by *Meloidogyne* spp. And other nematodes in the field. **Nematropica**, v. 48, n. 1, p. 50–58, 2018.

CARNEIRO, R. G. *et al.* Reaction of cassava cultivars to race 1 and 3 of *Meloidogyne incognita*, to *M. paranaensis* and to *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 275–279, 2006.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue.**, 1972.

COYNE, D.; AFFOKPON, A. Nematode parasites of tropical root and tuber crops (excluding potatoes). **Plant parasitic nematodes in subtropical** , 2018.

FALCÃO NETO, R. *et al.* Biometric characteristics of *Gurguéia* nut seedlings as a function of liming and NPK. p. 940–949, 2011.

GARRIDO, M. D. S. *et al.* Nematodes associated with rhizosphere and roots of cassava planted in rotation with yam crops. **Summa Phytopathologica**, v. 34, n. 2, p. 181–182, 2008.

HOHENFELD, C. S. *et al.* Genome-wide association study and selection for field resistance to cassava root rot disease and productive traits. **PLOS ONE**, v. 17, n. 6, p. e0270020, 2022.

JENKINS, W. R. B. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant disease reporter**, 1964.

JÚNIOR, V. C. A. *et al.* Resistência de clones de batata-doce a *Meloidogyne javanica*. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 1, 2016.

LEITE, N. DE O. G. *et al.* Influências das interações Patógeno- Hospedeiro- Meio Ambiente nas funções Biológicas das plantas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, 2020.

MACHADO, A.; FERRAZ, L.; SILVA, S. Métodos em Nem. Agrícola Internet e Nematologia: a importância da rapidez e precisão na divulgação da informação científica View project *Pratylenchus brachyurus* x algodoeiro: patogenicidade, métodos de controle e caracterização molecular de populações View project. 2019.

MAGRINELLI OSÓRIO ROSA, J. *et al.* Nematoides fitoparasitas associados à

mandioca na Amazônia brasileira Plant parasitic nematodes on cassava cultivated in the Brazilian Amazon. v. 44, n. 2, p. 271–275, 2014.

MAKUMBI-KIDZA, N. N.; SPEIJER, P. R.; SIKORA, R. A. Effects of *Meloidogyne incognita* on Growth and Storage-Root Formation of Cassava (*Manihot esculenta*) 1. 2000.

NEVES, B. S. L. Nematoides associadas à cultura da mandioca nos territórios do baixo sul, vale do jiquiriçá e recôncavo da bahia e suscetibilidade genética, 2022.

OKUBARA, P. A.; PEETZ, A. B.; SHARPE, R. M. Cereal Root Interactions with Soilborne Pathogens—From Trait to Gene and Back. **Agronomy** 2019, Vol. 9, Page 188, v. 9, n. 4, p. 188, 2019.

POOF, P. A. A. Tylenchida, parasites of plants and insects. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v. 94, n. 3, 1988.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 14 out. 2022.

ROSA, J. M. O. *et al.* Nematoides fitoparasitas associados à mandioca na Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 2, 2014.

SIDDIQUI, Z. A. *et al.* Interactions of plant-parasitic nematodes and plant-pathogenic bacteria. **Bacteria in Agrobiolgy: Plant Probiotics**, v. 9783642275159, p. 251–267, 1 dez. 2012.

SMILEY, R. W. *et al.* Cereal cyst nematodes: A complex and destructive group of heterodera species. **Plant Disease**, v. 101, n. 10, p. 1692–1720, 1 out. 2017.