

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MICROBIOLOGIA
AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO**

**EFEITO DE DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA
SUPRESSIVIDADE/CONDUCIVIDADE DE PODRIDÕES
RADICULARES DA MANDIOCA**

MARIA CRISTIANE PEREIRA SOUSA

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
NOVEMBRO - 2020**

**EFEITO DE DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA
SUPRESSIVIDADE/CONDUCIVIDADE DE PODRIDÕES
RADICULARES DA MANDIOCA**

MARIA CRISTIANE PEREIRA SOUSA

Bacharel em Agronomia

Santarém – Pará, 2018

Dissertação submetida ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Microbiologia Agrícola.

Orientador: Dr. Saulo Alves Santos de Oliveira

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA

NOVEMBRO - 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

S725e

Sousa, Maria Cristiane Pereira.

Efeito de diferentes coberturas vegetais na supressividade / conducividade de podridões radiculares da mandioca / Maria Cristiane Pereira Sousa._ Cruz das Almas, Bahia, 2020.

67f.; il.

Orientador: Saulo Alves Santos de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Microbiologia Agrícola.

1.Mandioca – Doenças e pragas. 2.Mandioca – Fitopatologia. 3.Solo – Manejo. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 633.682

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MICROBIOLOGIA
AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MARIA CRISTIANE PEREIRA SOUSA**

Pesquisador. Dr Saulo Alves Santos de Oliveira
Embrapa Mandioca e Fruticultura
(Orientador)

Dr. Thiago Alves Santos de Oliveira
Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS

Dr. Sami Jorge Michereff
Universidade Federal do Cariri - UFCA

“Dissertação homologada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em
Microbiologia Agrícola em _____ conferindo o grau de
Mestre em Microbiologia Agrícola em _____”

DEDICO

**Á Minha Mãe Maria Cristina
Minha Inspiração, Minha Guerreira!!**

AGRADECIMENTOS

À universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola pela oportunidade;

A equipe de professores do curso de Pós-Graduação pelos conhecimentos adquiridos;

À Embrapa Mandioca e Fruticultura (CNPMPF), pelo apoio institucional e infraestrutura de trabalho;

À Fundação Amparo de Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo auxílio da bolsa concedida;

Ao meu orientador, pesquisador, Dr. Saulo Alves Santos de Oliveira, por ter aceitado me orientar e por todo apoio, paciência, ensinamentos e correções.

À equipe da Mandioca, Cristiana, Jorge, Diego, Bruno, Danilo, pela amizade e por ajudarem no desenvolvimento e conclusão do trabalho;

À Maria Selma pelo apoio, ajuda, ensinamentos.

À Camila, Diego, Massaine pelo apoio e ajuda;

À equipe de campo pela disponibilidade de auxiliar nos serviços;

Aos colegas do laboratório de Fitopatologia, pelos conhecimentos e amizade;

As minhas amigas nessa jornada, Joyse, Adiele e Michelle; pelo incentivo e amizade;

Aos amigos que mesmo distante me apoiaram e confiaram na minha capacidade de enfrentar mais esse desafio;

Aos meus pais, pelo apoio, incentivo e orações;

Aos meus irmãos por todo carinho, compreensão;

Ao meu namorado, por nessa etapa ter sido minha família e pelo apoio e incentivo;

À Deus sempre, meu amparo em todos os momentos;

E a todos que torceram e me desejaram o bem, obrigada!

ÍNDICE

RESUMO	4
ABSTRACT	5
INTRODUÇÃO GERAL	6
CAPÍTULO 1	8
Revisão de Literatura: Efeito de diferentes coberturas vegetais na supressividade/conducividade de podridões radiculares da mandioca	8
Mandioca.....	9
Podridão radicular seca e negra.....	10
Supressividade dos solos.....	12
Supressividade por meio de coberturas vegetais.....	15
REFERÊNCIAS	18
CAPÍTULO 2	27
Resumo.....	28
1. Introdução	30
2. Material e Métodos.....	32
2.1 Preparação do inóculo e infestação do solo.....	32
2.2 Cultivo de mandioca e cobertura vegetal	33
2.3 Parâmetros de germinação, agronômicos e de doença	34
2.4 Parâmetro microbiológico e químicos	35
2.5 Análise estatística	36
3. Resultados.....	36
4. Discussão.....	53
5. Agradecimentos	57
6. Referências.....	57
CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
ANEXO	64

RESUMO

Sousa, M. C. P. Efeito de coberturas vegetais na supressividade das podridões radiculares e nas características agronômicas da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma das principais culturas alimentares nos países em desenvolvimento e o Brasil é destaque na produção mundial, mas enfrenta um grande desafio que são as doenças. Dentre estas, as podridões radiculares causam grandes perdas na produção, destacando-se a podridão radicular seca (PRS) e a podridão radicular negra (PRN), causadas por fungos com grande capacidade de competição saprofítica e sobrevivência no solo. Como são doenças de difícil controle, há necessidade da avaliação de novas medidas para comporem o manejo integrado. Nesse contexto, a indução da supressividade do solo pela incorporação de material vegetal pode constituir uma opção de manejo das doenças, além de proporcionar melhorias nos fatores bióticos e abióticos do solo. Diante disso, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito de diferentes tipos de cobertura vegetal incorporadas ao solo na supressão da PRS e PRN da mandioca, identificar os possíveis fatores químicos e microbiológicos do solo associados com a supressividade ou conducividade às doenças, bem como caracterizar os efeitos sobre as características agronômicas da mandioca. Foram desenvolvidos quatro ciclos de cultivo, alternando o plantio de coberturas vegetais (crotalária ocreleuca - CO, aveia preta - AP, feijão de porco - FP, milho - MI, amendoim - AM e feijão caupi - FC) com pousio (PO) e as variedades de mandioca BRS Kiriris (resistente) e BRS Formosa (suscetível) em solos infestados com patógenos causadores de PRS e PRN. Para cada ciclo foram efetuadas avaliações de parâmetros agronômicos e de doença, bem como coletadas amostras dos solos para avaliações das propriedades químicas e das populações de bactérias totais (BT), bactérias produtoras de endósporos (BPE), bactérias produtoras de sideróforos (BPS), actinobactérias (ACT), fungos totais (FT) e *Trichoderma*. No 2º ciclo de cultivo, BRS Formosa obteve melhores características agronômicas e BRS Kiriris maior índice de doença (70,8%) e de incidência das doenças nas manivas (79,2%). No 4º ciclo de cultivo, as incorporações de AM, FP e FC resultaram em melhorias no vigor, peso fresco e seco da parte aérea, peso fresco e seco da raiz para ambas as variedades de mandioca. Considerando a incidência externa e interna dos sintomas das doenças, os tratamentos com menor eficácia foram MI, MA, AP, FP e PO. Pela análise de componentes principais, a incorporação de FP propiciou as maiores populações de BT, BPE e BPS, porém não evidenciou uma relação consistente com os níveis de supressividade do solo. As incorporações ao solo de FC, FP e AM ao longo dos ciclos proporcionaram melhorias significativas nas características agronômicas da mandioca, o que pode ser indicativo do potencial de utilização num sistema de manejo integrado das doenças.

Palavras – Chave: tipo de planta, manejo agrícola, supressividade do solo.

ABSTRACT

Sousa, M. C. P. Effect of vegetable coverings on root rot suppression and cassava agronomic characteristics

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is one of the main food crops in developing countries and Brazil is highlighted in world production, but it faces a great challenge that are diseases. Among these, root rot causes great losses in production, with emphasis on dry root rot (PRS) and black root rot (PRN), caused by fungi with great capacity for saprophytic competition and soil survival. As these are diseases that are difficult to control, there is a need to evaluate new measures to make up integrated management. In this context, the induction of soil suppressiveness by incorporating plant material may constitute an option for disease management, in addition to providing improvements in the biotic and abiotic factors of the soil. Therefore, the objective of the study was to evaluate the effect of different types of vegetation cover incorporated in the soil in the suppression of the PRS and PRN of cassava, to identify the possible chemical and microbiological factors of the soil associated with the suppression or conductivity to diseases, as well as to characterize the effects on the agronomic characteristics of cassava. Four cultivation cycles were developed, alternating the planting of vegetable coverings (crotalaria oroleuca - CO, black oats - AP, pork beans - FP, corn - MI, peanuts - AM and cowpea - FC) with fallow (PO) and the cassava varieties BRS Kiriris (resistant) and BRS Formosa (susceptible) in soils infested with pathogens that cause PRS and PRN. For each cycle, evaluations of agronomic and disease parameters were carried out, as well as soil samples were collected to assess chemical properties and populations of total bacteria (BT), endospore-producing bacteria (BPE), siderophor-producing bacteria (BPS), actinobacteria (ACT), total fungi (FT) and Trichoderma. In the 2nd cultivation cycle, BRS Formosa had better agronomic characteristics and BRS Kiriris had a higher disease rate (70.8%) and disease incidence in the stem cuttings (79.2%). In the 4th cultivation cycle, the incorporation of AM, FP and FC resulted in improvements in vigor, fresh and dry weight of the aerial part, fresh and dry weight of the root for both varieties of cassava. Considering the external and internal incidence of disease symptoms, the least effective treatments were MI, MA, AP, FP and PO. By the analysis of main components, the incorporation of PF provided the largest populations of BT, BPE and BPS, however it did not show a consistent relationship with the levels of suppressiveness of the soil. Incorporations into the soil of FC, FP and AM over the cycles provided significant improvements in the agronomic characteristics of cassava, which may be indicative of the potential for use in an integrated disease management system.

Keywords: plant type, agricultural management, soil suppressiveness.

INTRODUÇÃO GERAL

A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tem grande importância socioeconômica nos países em desenvolvimento, caracterizada como um dos produtos agrícolas para segurança alimentar (FAO, 2020), utilizadas na produção industrial de amido, ração animal, bioetanol (BALAGOPALAN, 2002; DE VRIES *et al.*, 2010) e em cultivos pequenos para agricultura de subsistência pois é adaptável a condições marginais de clima e solo, requer pouco manejo, possuindo uma resistência maior do que outras culturas agrícolas (EI-SHARKAWY, 2004; BURNS *et al.*, 2010; OKOGBENIN *et al.*, 2013).

No cenário agrícola o Brasil é o quinto país com maior produção de mandioca, apresentando 18,073 Milhões de toneladas (FAO, 2020). E a região nordeste é a terceira maior produtora com 3,84 toneladas (IBGE, 2020). Apesar do destaque quanto a produção as podridões radiculares vem ganhando cada vez mais destaque no país, em especial para as regiões Norte e Nordeste e mais recentemente no Centro-Sul do Brasil, pois locais com essa doença chegam a ter perdas de 80% no cultivo (BOAS *et al.*, 2017; BRITO *et al.*, 2020).

Entre as podridões radiculares estão a podridão radicular seca que geralmente é associada a fungos do gênero *Fusarium* spp. (HOHENFELD *et al.*, 2018; MACHADO *et al.*, 2018) e a podridão radicular negra associada aos fungos pertencente à família Botryosphaeriaceae como os gêneros *Lasiodiplodia* e *Neoscytalidium* (MACHADO *et al.*, 2014; BRITO *et al.*, 2020). Os patógenos causadores de podridões radiculares em mandioca são de difícil controle, pois o uso de produtos químicos é ineficiente, além disso, poucas são as variedades com resistência genética múltipla à podridão negra e seca (MACHADO *et al.*, 2018).

Deste modo é necessário um manejo agrícola que contribua para redução de inóculos patogênicos e das doenças, sem causar prejuízos ao ambiente. Nesse sentido, a supressividade do solo é uma estratégia a ser estudada, pois, mesmo que se tenha um patógeno virulento e uma planta suscetível e o clima adequado para favorecer a doença, pode não ocorrer a doença e caso ocorra seria com menos severidade (COOK; BAKER 1983; HORNBY, 1983; KINKEL *et al.*, 2011).

A indução da supressividade ocorre por várias medidas como a incorporação de resíduos de culturas, resíduos orgânicos, incorporação de adubos

verdes, uso de composto inorgânicos, compostagem, uso de microrganismos de controle biológico como *Trichoderma*, *Pseudomonas fluorescentes* (PÉREZ-PIQUERES *et al.*, 2006; KLEIN *et al.*, 2007; BONANOMI *et al.*, 2007). Além de técnicas como rotação de culturas, plantio direto, sucessão de cultivos (TIEMANN *et al.*, 2015; PERALTA *et al.*, 2018). No entanto, algumas dessas medidas podem induzir a condutividade do solo, tornando o solo mais propício ao desenvolvimento da doença (HORNBY, 1983; WELLER *et al.*, 2002; BONANOMI *et al.*, 2007)

A indução da supressividade por meio de coberturas vegetais é usada, geralmente, para melhorar a qualidade físico-química do solo, a fertilidade, além de aumentar a atividade microbiana que pode favorecer a presença e aumento de microrganismos antagonistas contra os patógenos (MAGID *et al.*, 2001; CONKLIN *et al.*, 2002; CAVIGELLI; THIEN, 2003; NOBLE; COVENTRY, 2005; BONANOMI *et al.*, 2007). Entretanto, para ocorrer o melhoramento das características do solo, envolvendo os componentes bióticos e abióticos, é importante a seleção da planta para cultivo, além do tipo de manejo agrícola empregado desde o plantio a colheita para que se tenha um solo supressivo a doença (GARBEVA *et al.*, 2004; BONILLA *et al.*, 2012; BARROS *et al.*, 2014).

São poucas as informações disponíveis sobre o efeito do plantio e incorporação de cobertura vegetal no solo quanto a condutividade ou supressividade no solo, sob variedades de mandioca cultivadas em locais com incidência de podridões radiculares da mandioca e conhecimento sobre possíveis fatores responsáveis pela supressividade. Considerando esses aspectos no primeiro capítulo, trata-se da revisão de literatura abordando sobre a cultura da mandioca, doenças que acomete a cultura, podridão radicular seca e negra, sobre conceitos de supressividade e aplicação de coberturas vegetais na indução da supressividade. No segundo capítulo, realizou-se um estudo de seleção de coberturas vegetais por meio de plantas como leguminosas e gramíneas, além de pousios, que são geralmente usados consorciados ou em rotação de culturas com variedades de mandioca resistentes ou suscetíveis, afim de selecionar aqueles com potencial supressivo ou condutivo às podridões radiculares seca e negra, e identificar os possíveis fatores responsáveis pela indução da supressividade.

CAPÍTULO 1

Revisão de Literatura: Efeito de diferentes coberturas vegetais na supressividade/conducividade de podridões radiculares da mandioca

Mandioca

A mandioca pertence a espécie *Manihot esculenta* Crantz, ao gênero *Manihot*, família Euphorbiaceae, ordem Malpighiales e a classe Magnoliopsida (ITIS, 2020).

As suas raízes recebem diferentes nomes de acordo com a sua concentração de ácido cianídrico (HCN) e a região do país. Dividindo-se em dois grupos, considerando o potencial de ácido cianídrico, um grupo de cultivares com baixas quantidades (teor de glicosídeos menor que 100 mg/kg em peso fresco) e com altas quantidades (maior que 100 mg/kg em peso fresco, necessitando de tratamento para tornar-se comestível) (ALVES 2002; PERONI *et al.*, 2007).

Pesquisas indicam que a origem dessa planta foi na América do sul, precisamente na região amazônica (ALLEM, 2002; HILLOCKS, 2002; CLEMENT *et al.*, 2010), e que por meio da domesticação e migração dos povos nativos para outras regiões do Brasil ocorreu a expansão dessa cultura em outros lugares do país, até se expandir a outros continentes por portugueses e espanhóis durante os séculos XVI e XVII, respectivamente, para áreas tropicais e subtropicais da África, da Ásia, Indonésia e Ilhas do Pacífico (HILLOCKS, 2002; NASSAR, 2002). Tornando-se uma importante cultura no continente africano, asiático, e nos países da América Latina, configurando-se como um dos produtos mais consumidos na alimentação humana, animal e como matéria prima nas indústrias (OKOGBENIN *et al.*, 2013).

É bastante cultivada na África Tropical e Subtropical, na Ásia e América Latina, entre as latitudes 30 N e 30 S, do nível do mar a mais de 2000 metros de altitude em solos ácidos de baixa fertilidade e altamente erodida, praticamente sem a aplicação de agroquímicos (EL-SHARKAWY, 1993; RUPPENTHAL *et al.*, 1997; EL-SHARKAWY, 2004). Entretanto requer um clima quente maior que 20°C para crescimento e produção ótima (EL-SHARKAWY *et al.*, 2004). Pode sobreviver e ser produtiva sob condições em que outras culturas básicas, como cereais e legumes, raramente produzem (OKOGBENIN *et al.*, 2013).

O destaque na produção mundial da mandiocultura é a África com 60,7% da produção, seguida da Ásia 29,3%, as Américas 9,9% e Oceania com 0,1%. (FAO, 2020). Entre os principais países produtores estão: Nigéria 59,413 milhões de toneladas, Tailândia 31,258 milhões de toneladas, República Democrática do

Congo 30,486 milhões de tonelada, Ghana 19,927 milhões de tonelada e o Brasil, 18,073 milhões de tonelada. O Brasil ocupa o quinto lugar no ranking referente aos países produtores de mandioca (FAO, 2020).

Embora a produção da mandiocultura seja destaque mundialmente, ocorre problemas e perdas na produtividade, e dentre os principais fatores estão os artrópodes-pragas e as doenças.

Entre as principais doenças que afetam esta cultura no Brasil por vírus são: vírus do mosaico comum (*Cassava common mosaic virus-CsCMV*), vírus do mosaico das nervuras (*Cassava vein mosaic virus-CsVMV*), além do complexo couro de sapo (WALTER *et al.*, 1989; CALVERT *et al.*, 2012; LEGG *et al.*, 2015). Doenças causadas por bactérias como a bacteriose (*Xanthomonas phaseoli* pv. *manihotis*), (LOZANO *et al.*, 1974; FANOU *et al.*, 2018). Doenças causadas por fungos como superalongamento da mandioca (*Sphaceloma manihoticola*), (ALVAREZ; MOLINA, 2000). Antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *manihotis*) (FOKUNANG *et al.*, 2001), ferrugem (*Uromyces* spp.) (ALVAREZ *et al.*, 2012) e podridões radiculares causada por diversos fungos como *Fusarium* spp. (BOAS *et al.*, 2017) fungos fitopatogênicos da família Botryosphaeriaceae (*Lasiodiplodia*, *Neoscytalidium*, (MACHADO *et al.*, 2014), e oomicetos do gênero *Phytophthora* e *Pythium* (OLIVEIRA *et al.*, 2016; BOAS *et al.*, 2017). Tais doenças geram grande prejuízo sócio-econômicos na cadeia produtiva da mandioca. Entretanto as podridões radiculares estão ganhando destaque devido a grande complexidade de patógenos envolvidos e por ser uma das principais doenças nas regiões produtoras do Brasil.

Podridão radicular seca e negra

Atualmente, a incidência dessas doenças está aumentando principalmente em áreas do Nordeste e do Centro-Sul do país (BRITO *et al.*, 2020). Podendo chegar a perdas de 80% como ocorre em plantios com grande avanço dessa doença, gerando redução no rendimento da cultura, comprometendo a qualidade das raízes e o lucro da produção, interferindo economicamente nas regiões produtoras.

As podridões seca e negra da mandioca são causadas por diferentes patógenos habitantes do solo, e os sintomas expressos nas raízes tuberosas são úteis para distinguir o patógeno envolvido (BANDYOPADHYAY *et al.*, 2006,

HOHENFELD *et al.*, 2018). Pode ocorrer tanto em plantas jovens como velhas, por um único organismo patogênico ou por um complexo de fungos (MSIKITA *et al.*, 2005).

A podridão radicular seca é geralmente caracterizada pelo amarelecimento e murcha da parte aérea da planta seguida da queda das folhas parcial ou total e posteriormente a morte. As raízes apresentam estrias ou lesões necróticas variando da cor rósea ou marrom clara a escura (MASSOLA *et al.*, 2016; BOAS *et al.*, 2017). A podridão radicular negra caracteriza-se por lesões necróticas secas de coloração cinza a escura nas raízes e nas hastes quando enegrecido ocorre a produção de estruturas reprodutivas do patógeno e com avanço da doença também ocorre amarelecimento e queda das folhas, até a morte (OLIVEIRA *et al.*, 2013; MACHADO *et al.*, 2014) .

Dentre os patógenos relacionados a podridão radicular seca se encontram as espécies do gênero *Fusarium* spp. como *F. solani*, *F. oxysporum*, *F. verticillioides*, *F. graminearum*, *F. proliferatum*, *F. incarnatum-equiseti* e *F. chlamydosporum*. Considera-se que os complexos de *F. solani* e de *F. oxysporum* (FSSC e FOSSC) são os grandes agentes causadores da podridão radicular seca (ONYEKA *et al.*, 2005; BANDYOPADHYAY *et al.*, 2006; AIGBE; REMISON, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2013; MASSOLA *et al.*, 2016; BOAS *et al.*, 2016; HOHENFELD *et al.*, 2018; MACHADO *et al.*, 2018).

Enquanto para podridão negra da mandioca no Brasil está relacionada a família Botryosphaeriaceae os gêneros *Lasiodiplodia* e *Neoscytalidium*, sendo que foram relatados as espécies: *Lasiodiplodia euphorbicola*, *L. hormozganensis*, *L. parva*, *L. theobromae* e *Neoscytalidium dimidiatum*, como atuais patógenos responsáveis por essa doença em áreas brasileiras (MACHADO *et al.*, 2014; HOHENFELD *et al.*, 2018; BRITO *et al.*, 2020).

Para o controle dessa doença é utilizado variedades resistentes, associadas a práticas culturais preventivas como realizar cultivos em áreas bem drenadas possuir conhecimento do histórico da área de plantio, uso de hastes limpas, rotação ou sucessão de culturas (ONYEKA *et al.*, 2005; MASSOLA *et al.*, 2016; BOAS *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2013; HOHENFELD *et al.*, 2018, MACHADO *et al.*, 2018). Controle químico que além de ser o menos ineficiente aos patógenos habitantes de solos podem gerar, desequilíbrios na população microbiana e contaminação do ambiente, além disso existe apenas um produto

registrado que é a mistura de epoxiconazol e piraclostrobina para o controle de *Lasiodiplodia theobromae* e não está previsto o seu uso no solo, apenas nas plantas. Entretanto para outros tipos de podridão não há registro de produtos químicos (MACHADO *et al.*, 2018; MAPA, 2020).

Outro tipo de controle contra as podridões radiculares é o controle biológico, usando principalmente microrganismos antagonistas como *Trichoderma* sp., *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* spp. e outros adaptados ao micro-habitat do patógeno (MARIANO *et al.*, 2005; UBALUA; OTI, 2007; LOUZADA *et al.*, 2009). Outra alternativa de manejo sustentável para doenças de plantas, quanto aos patógenos habitantes do solo é a indução da supressividade de solos por meio da incorporação de material orgânico proporcionando aumento dos microrganismos antagonistas, aumento da fertilidade do solo, diminuição na quantidade de inóculo e de doença, favorecendo o desenvolvimento e crescimento da planta. Esta alternativa ainda é pouca estudada quando se relaciona a podridão radicular da mandioca, porém já existe início de pesquisas nessa cultura aplicando essa estratégia de manejo (BETTIOL; GHINI, 2005; KLEIN *et al.*, 2011; KLEIN *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2017; MACHADO *et al.*, 2018).

Supressividade dos solos

Solos supressivos à doenças são conhecidos há mais de 100 anos e os mecanismos pelos quais ocorre a supressão da doença é objeto de estudo há quase quatro décadas. (HORNBY, 1983; BETTIOL; GHINI, 2005; CHANDRASHEKARA *et al.*, 2012). São solos que tem a capacidade de deter o aparecimento da doença em um hospedeiro suscetível, mesmo na presença de uma densidade significativa de inóculo do patógeno. Nestes solos a incidência ou severidade da doença geralmente permanece baixa, mesmo em condições ambientais que favorecem o desenvolvimento da doença (COOK; BAKER, 1983; HORNBY, 1983; KINKEL *et al.*, 2011).

Solos não supressivos também chamados de solos condutivos, são aqueles em que a doença consegue se desenvolver (HORNBY, 1983; BETTIOL; GHINI, 2005; WELLER *et al.*, 2002). O solo é supressivo ao patógeno quando reduz a densidade do inóculo e suas atividades saprófitas. Quando não se pode demonstrar esta atividade sobre o patógeno, mas a doença é controlada pela redução da severidade mesmo com alta densidade de inóculo e capacidade de

sobrevivência do patógeno é denominado supressivo a doença. (BETTIOL; GHINI, 2005; MARIANO *et al.*, 2005).

O conceito de solo supressivo foi baseado nos termos de supressão geral e supressão específica (COOK; BAKER, 1983; HORNBY, 1983; BETTIOL; GHINI, 2005; CHANDRASHEKARA *et al.*, 2012). Na natureza os solos supressores são facilmente identificados pois as culturas plantadas apresentam redução na doença mesmo em condições como o clima e plantas suscetíveis que são favoráveis ao ataque dos patógenos (HUTZENLAUB, 2010).

Supressão geral é uma característica natural e preexistente do solo, muitas vezes é eficaz contra um amplo espectro de doenças no solo, devido a atividade total de toda a biomassa microbiana como atividade competitiva e antagônica contra os patógenos, resultando na limitação do desenvolvimento das populações patogênicas (WELLER *et al.*, 2002; COOK, 2014; SCHLATTER *et al.*, 2017). Devido considerar a biomassa microbiana total, não é transferível essa característica para um solo condutivo por pequena porção de solo (HÖPER; ALABOUVETTE, 1995; WELLER *et al.* 2002). Pode ser reduzida por vaporização e eliminada pela esterilização do solo. Porém, pode ser influenciada pelas práticas de manejo que aumentam o conteúdo de matéria orgânica, aumentam a fertilidade do solo, levando ao aumento do tamanho da população, a diversidade e/ou atividade microbiana do solo (COOK, 2014; WELLER *et al.*, 2002, SCHLATTER *et al.*, 2017).

A supressão específica é altamente eficaz resulta de espécies individuais ou um grupos selecionados de microrganismos ou uma combinação de vários grupos que são antagônicos ao patógeno. Como a supressão específica não depende da biomassa total, pode ser transferível se os requisitos ecológicos das espécies antagônicas estiverem presentes no outro solo. É transferível pela adição de culturas puras ou quantidades muito pequenas 1 a 10% de solo supressivo a um solo condutivo, mas geralmente é eliminado por pasteurização a 55 a 60° C por 30min ou fumigando (brometo de metila o solo (WELLER *et al.*, 2002; HUTZENLAUB, 2010; SCHLATTER *et al.*, 2017).

A supressão específica é baseada na população enquanto a supressão geral é baseada na comunidade. Especificamente, interações entre patógenos e antagonistas geram supressão específica, enquanto interações entre antagonistas e antagonistas geram supressão geral (SCHLATTER *et al.*, 2017). Na supressão geral a redução de ataques de fungos e nematóides, já na supressão específica é

eficaz a apenas um ou poucos patógenos. Ambos podem ser eliminadas pela autoclavagem e radiação gama. Além disso, mecanismos de supressão específica e geral não foram totalmente definidos para a maioria dos solos supressivos (WELLER *et al.*, 2002; SCHLATTER *et al.*, 2017).

A supressão específica também pode ser diferenciada de acordo com sua longevidade: “Supressão de longa duração” e curta duração ou supressão induzida”. A supressão de longa duração é uma condição biológica naturalmente associada ao solo, sua origem não é conhecida e parece sobreviver na ausência de plantas, ocorrendo devido as propriedades estáveis do solo (HORNBY, 1983; WELLER *et al.*, 2002).

A supressão a curto prazo ou supressão induzida surge de uma rápida alteração no ambiente no solo, por meio de práticas agrícolas como calagem, fertilização e preparo do solo ou introdução de um organismo antagônico contra patógeno. A supressividade induzida pode ser iniciada e mantida pela monocultura de uma cultura ou pela adição de inóculo do patógeno alvo (HORNBY, 1983; WELLER *et al.*, 2002).

Em geral, os solos supressivos são eficazes devido a uma combinação de supressividade geral e específica, mas podem ser influenciados de diferentes maneiras pelas circunstâncias edáficas, climáticas e agronômicas (WELLER *et al.*, 2002; HUTZENLAUB, 2010).

A supressão da doença pode ser influenciada pela prática de cultivo e manejo (GARBEVA *et al.*, 2004) como a rotação de culturas, pois as densidades dos patógenos do solo e dos microrganismos antagônicos são afetadas (COOK; BACKER, 1983; ABAWI *et al.*, 2000; PERALTA *et al.*, 2010). As culturas de cobertura podem servir como “adubo verde”, melhorando as características físicas do solo (MAGID *et al.*, 2001; CONKLIN *et al.*, 2002; CAVIGELLI; THIEN, 2003) além de aumentar a atividade microbiana reduzindo a doença da planta (NOBLE; COVENTRY, 2005; BONANOMI *et al.*, 2007). O cultivo de plantas influencia a atividade microbiana do solo e, portanto, a supressividade (GARBEVA *et al.*, 2004). A incorporação de material orgânico, resíduos de cultura ou adubos e compostagem podem ser adequados para o controle de patógenos existentes no solo (KLEIN *et al.*, 2011; BAILEY; LAZAROVITS, 2003; MAZZOLA, 2007). Os atributos químicos e físicos do solo, incluindo pH, matéria orgânica e teor de argila, podem atuar na supressão de doenças de plantas, direta ou indiretamente, por

meio do impacto sobre a atividade microbiana do solo (MAZZOLA, 2002; BETTIOL; GHINI, 2005).

Supressividade por meio de coberturas vegetais

Diferentes formas de manejo, incluindo a incorporação de coberturas vegetais causam impacto na saúde e produtividade das plantas, além de mudanças físicas, químicas e biológicas no solo geradas pelo aumento da matéria orgânica (BAILEY; LAZAROVITS, 2003). Níveis altos de matéria orgânica é geralmente associada a menor incidência e severidade da doença (COHEN *et al.*, 2005; KASUYA *et al.*, 2006). Os resíduos de cultura, incluindo, material orgânico bruto como de adubos verdes ou detritos de culturas exemplos de folhas, caule, raiz etc, podem ser indicados para o controle de patógenos que sobrevivem no solo (PÉREZ-PIQUERES *et al.*, 2006; KLEIN *et al.*, 2007; BONANOMI *et al.*, 2007) pois podem influenciar as propriedades do solo que indiretamente afetam a comunidade microbiana do solo (WIGGINS; KINKEL, 2005; FINNEY *et al.*, 2017).

As espécies de plantas e o genótipo são fatores significativos que determinam a composição das comunidades microbianas residentes nos solos e na rizosfera (MIETHLING *et al.*, 2000; MARSCHNER *et al.*, 2001; BERG *et al.*, 2002; MAZZOLA; GU, 2002), igualmente o cultivo de plantas e o manejo agrícola influencia na atividade microbiana consequentemente a supressividade, isso por que o tipo de planta interfere na estrutura das comunidades microbianas, pois as plantas são fontes de carbono e energia. No caso o manejo agrícola como rotação ou sucessão de cultivos também interfere, pois na ausência de uma planta hospedeira ocorrerá menor viabilidade dos microrganismos fitopatogênicos (GARBEVA *et al.*, 2004).

Em estudos com coberturas vegetais demonstraram o aumento de C total, N total, pH, densidade e porosidade no solo (BULLOCK, 1992; TILMAN *et al.*, 2002; TIEMANN *et al.*, 2015), além disso a diversidade de culturas por rotações melhoram a disponibilidade de água para as plantas, diminui a densidade do solo, aumentando o espaço de poros do solo e aumentando a formação de agregados (TILMAN *et al.*, 2002; TIEMANN *et al.*, 2015), quimicamente as culturas de cobertura fornecem mais carbono ao solo com resíduos vegetais (PERALTA *et al.*, 2018).

Deste modo, dependendo de qual cobertura vegetal for utilizada no manejo agrícola é necessário verificar os efeitos positivos e negativos quanto a seleção da

cobertura vegetal usada para plantio. Existem resíduos de plantas que causam efeitos de fitotoxicidade ou servem de alimentos para os patógenos (BONANOMI *et al.*, 2007). Alguns subprodutos da decomposição microbiana de resíduos de plantas frescas são fitotóxicos, fazendo com que as reações fitotóxicas aumentem a permeabilidade e o exsudatos das raízes das plantas predispondo-as ao ataque de patógenos, e os produtos químicos voláteis liberados pelo material em decomposição podem estimular a germinação e crescimento dos propágulos do patógeno (STONE *et al.*, 2004). Quanto a efeitos positivos pode ocorrer fungistase, liberação de compostos fungitóxicos, indução da resistência da planta evitando o aumento da doença (BONANOMI *et al.*, 2007).

Vários autores relatam o uso de coberturas vegetais quanto ao melhoramento da estrutura e fertilidade do solo (MAGID *et al.*, 2001; CONKLIN *et al.*, 2002; CAVIGELLI; THIEN, 2003) e diminuição da incidência de doenças causadas por patógenos do solo (LITTERICK *et al.*, 2004; NOBLE; COVENTRY, 2005). Demonstram a importância de coberturas vegetais como “adubos verde” pois podem melhorar características físicas do solo (REID; GROSS, 1981; GARBEVA *et al.*, 2004) aumentando a atividade microbiana e reduzindo doenças de plantas (HARRIS *et al.*, 1994; SUMMER; BOOSALIS, 1981; GARBEVA *et al.*, 2004). Em vista disso, podemos definir a cobertura vegetal, como material vegetal não decomposto e incorporado ou deixado sob o solo, sendo que entre os mais utilizados estão adubos verdes, leguminosas e gramíneas (DING *et al.*, 2006).

O adubo verde fresco pode inicialmente estimular o crescimento de organismos tanto prejudiciais como benéficos porém é após o material parcialmente decomposto que ocorre o aumento dos microrganismos supressores (HOITINK; BOEHM, 1999; PANKHURST *et al.*, 2005). Do ponto de vista microbiológico, possuem efeitos positivos como o fornecimento de nutrientes ricos em carbono orgânico para biomassa microbiana, aumenta a biodiversidade dos microrganismos do solo pela seleção de culturas usadas como adubo verde em manejo de rotações (MANICI *et al.*, 2004).

Efeitos negativos que após a incorporação do material vegetal ocorre um aumento na atividade microbiana reduzindo a disponibilidade de N (WYLAND *et al.*, 1995; MANICI *et al.*, 2004). E assim os compostos alelopáticos vão sendo liberados durante a degradação do tecido da planta (MANICI *et al.*, 2004).

Coberturas vegetais leguminosas: feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), feijão caupi (*Vigna Unguiculata*), crotalária (*Crotalaria Ochroleuca*), amendoim (*Arachis hypogaea*), possuem baixa relação C/N. Enquanto as gramíneas milho (*Zea Mays*), aveia preta (*Avena strigosa*) são pobres em N com alta relação C/N. Diferente das culturas não leguminosas, as culturas leguminosas possuem a capacidade de utilizar fósforo (P) e potássio (K) em frações que são quase inacessíveis no solo (KHIND *et al.*, 1992; FISCHLER *et al.*, 1999) e com isso melhoram a disponibilidade de P e K para as culturas subsequentes (FISCHLER *et al.*, 1999). As leguminosas geralmente contém mais concentrações de proteínas e minerais do que as gramíneas. (HAFLEY *et al.*, 1987; FRASER *et al.*, 2004; THIESSEN MARTENS *et al.*, 2011).

Os benefícios das coberturas vegetais incluem, fixação do nitrogênio, conservação do solo, melhorias na matéria orgânica e na estrutura do solo e controle de plantas daninhas (HARTWIG; AMMON 2002). A fixação biológica de N (FBN) é um dos principais benefícios do plantio de adubos verdes ou cobertura vegetais (HARTWIG; AMMON, 2002; THIESSEN MARTENS *et al.*, 2011).

Tenuza e Lazarovits (2002) relatam que após a aplicação de resíduos de cultura com alto conteúdo de N (relação C/N) foram responsável pela erradicação de microestrutura de *Verticillium dahliae*, pois materiais com alta relação C/N podem estimular a atividade microbiana, reduzindo a disponibilidade de nitrogênio, conseqüentemente prejudicando o processo de infecção do patógeno (SNYDER *et al.*, 1959 *apud* BONANOMI *et al.*, 2007). Entretanto a privação de N, logo após a aplicação de matéria orgânica pode prejudicar o crescimento das plantas (SELIGMAN *et al.*, 1986; MICHELSEN *et al.*, 1995; BONANOMI *et al.*, 2007).

A incorporação de material vegetal aumenta a densidade de bactérias fluorescente *Pseudomonas* spp. (BULLUCK; RISTAINO, 2002; MAZZOLA *et al.*, 2001), estreptomicetos e actinomicetos (MAZZOLA *et al.*, 2001; PALANIYANDI *et al.*, 2013; CORDOVEZ *et al.*, 2015), *Trichoderma* Spp. (NUR AIN IZZATI; ABDULLAH, 2008) no solo. Na maioria dos estudos a presença desses microrganismos estão associados a supressividade no solo (WIGGINS; KINKEL, 2005). As Bactérias *Pseudomonas* spp. reduzem a infecção da podridão radicular por vários mecanismos como a indução da resistência sistêmica contra fitopatógenos na planta hospedeira (RAMAMOOTTHY *et al.*, 2001). As bactérias *Bacillus* spp. são reconhecidas pela sua capacidade de produzir antibióticos ativos,

especialmente contra fungos afim de promover o crescimento das plantas ou induzir a resistência sistêmica. (ZACCARDELLI *et al.*, 2003; ZACCARDELLI *et al.*, 2004). As actinobactérias são produtoras prolíficas de antibióticos estes antibióticos produzidos por actinobactérias, demonstraram suprimir doenças de plantas (PALANIYANDI *et al.*, 2013). E o *Trichoderma* spp. é usado como agente de biocontrole contra muitos patógenos do solo (BULLUCK; RISTAINO, 2001; NUR AIN IZZATI; ABDULLAH, 2008).

Os mecanismos de supressão ocorrem por meio da competição por recursos alimentares, antibiose, predação, parasitismo e resistência induzida do hospedeiro contra o patógeno. (WHIPPS, 2001; MAZZOLA, 2002; PANKHURST *et al* 2005; PAL; GARDENER, 2006; PALANIYANDI *et al.*,2013; COOK, 2014). Contudo um dos fatores que favorece a doença na planta é o solo ser dominado por microrganismos nocivos, caso contrário, se existir muitos microrganismos benéficos a planta continuará saudável (NIHORIMBERE *et al.*, 2011).

Algumas coberturas vegetais possuem a capacidade de induzir a supressividade do solo, no entanto ainda existe vários fatores que limitam seu uso, pois ainda é imprevisível o impacto desse manejo sobre as populações de patógeno e supressão de doenças. Faltam diretrizes confiáveis para prever o impacto de qualquer tipo de alteração da matéria orgânica sobre doenças específicas do solo (BONANOMI *et al.*, 2007).

REFERÊNCIAS

- ABAWI, G. S.; WIDMER, T. L. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. **Applied Soil Ecology**, v. 15, n. 1, p. 37-47, 2000.
- AIGBE, S. O.; REMISON, S. U. The influence of growth stages on cassava tuberous root rot in different ecological environments. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 43, n. 12, p. 1243-1248, 2010.
- ALLEM, A. C. The origins and taxonomy of cassava. *In*: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. **Cassava**: biology, production and utilization. Wallingford: CABI, 2002. v. 1, p. 1-16,.Disponível em: http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/cabi_04ch1.pdf. Acesso em: 2 fev. 2020.

- ALVAREZ, E.; LLANO G. A.; MEJIA J. F. Cassava diseases, *In*: OSPINA, B.; VEBALLOS, H. **Cassava in the third millennium: Modern production, processing, use, and marketing systems**. Cali: CIAT, 2012. p. 165-199.
- ALVAREZ, E.; MOLINA, M. L. Characterizing the *Sphaceloma fungus*, causal agent of superelongation disease in cassava. **Plant Disease**, v. 84, n. 4, p. 423-428, 2000.
- ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. *In*: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. **Cassava: Biology, production and utilization**. CABI: New York, 1. ed., 2002, p. 67-89.
- BAILEY, K. L.; LAZAROVITS, G. Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments. **Soil and Tillage Research**, v. 72, n. 2, p. 169-180, 2003.
- BALAGOPALAN, C. Cassava utilization in food, feed and industry. *In*: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. **Cassava: Biology, production and utilization**, p. 301-318, 2002.
- BANDYOPADHYAY, R. *et al.* *Fusarium* species from the cassava root rot complex in West Africa. **Phytopathology**, v. 96, n. 6, p. 673-676, 2006.
- BARROS, J. A. *et al.* Different cover promote sandy soil suppressiveness to root rot disease of cassava caused by *Fusarium solani*. **African Journal of Microbiology Research**, v. 8, n. 10, p. 967-973, 2014.
- BERG, G. *et al.* Plant dependent genotypic and phenotypic diversity of antagonistic rhizobacteria isolated from different *verticillium* host plants. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 68, n. 7, p. 3328-3338, 2002.
- BETTIOL, W.; GHINI, R. Solos Supressivos. *In*: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais**, UFRPE, p. 125-152, 2005.
- BOAS, S. A. V. *et al.* Sources of resistance to cassava root rot caused by *Fusarium* spp.: a genotypic approach. **Euphytica**, v. 209, n. 1, p. 237-251, 2016.
- 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.
- BONANOMI, G. *et al.* Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. **Journal of Plant Pathology**, p. 311-324, 2007.
- BONILLA, N. *et al.* Enhancing soil quality and plant health through suppressive organic amendments. **Diversity**, v. 4, n. 4, p. 475-491, 2012.
- BRITO, A. C. Q. *et al.* Diversity and pathogenicity of Botryosphaeriaceae species associated with black root rot and stem cutting dry rot in *Manihot esculenta* in Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, Brazil, v. 157, p. 583-598, 2020.

- BULLOCK, D. G. Crop rotation. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 11, n. 4, p. 309-326, 1992.
- BULLUCK, L. R.; RISTAINO, J. B. Effect of synthetic and organic soil fertility amendments on southern blight, soil microbial communities, and yield of processing tomatoes. **Phytopathology**, v. 92, n. 2, p. 181-189, 2002.
- BURNS, A. *et al.* Cassava: the drought, war and famine crop in a changing world. **Sustainability**, v.2, n. 11, p. 3572-3607, 2010.
- CALVERT, L.; CUERVO, M.; LOZANO, I. Cassava viral diseases of South America. *In*: OSPINA, B.; *et al.* **Cassava in the third millennium: modern production, processing, use and marketing systems**. Cali, Colombia: CIAT. p. 309-318, 2012.
- CAVIGELLI, M. A.; THIEN, S. J. Phosphorus Bioavailability following Incorporation of Green Manure Crops. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, n. 4, p. 1186-1194, 2003.
- CHANDRASHEKARA, C.; BHATT, J. C.; KUMAR, R.; CHANDRASHEKARA, K. N. Suppressive Soils in Plant Disease Management. *In*: VAIBHAV, K. S.; YOGENDRA SINGH, A. S. **Eco-friendly Innovative Approaches in Plant Disease Management**. India: International Book Distributors, v. 5, p. 241-256, 2012.
- CLEMENT, C. R. *et al.* Origin and domestication of native Amazonian crops. **Diversity**, v. 2, n. 1, p. 72-106, 2010.
- COHEN, M. F.; YAMASAKI, H.; MAZZOLA, M. *Brassica napus* seed meal soil amendment modifies microbial community structure, nitric oxide production and incidence of Rhizoctonia root rot. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 7, p. 1215-1227, 2005.
- CONKLIN, A. E. *et al.* Effects of red clover (*Trifolium pratense*) green manure and compost soil amendments on wild mustard (*Brassica kaber*) growth and incidence of disease. **Plant and Soil**, v. 238, n. 2, p. 245-256, 2002.
- COOK, R. J. **Plant Health Management: Pathogen Suppressive Soils**. v. 4p. 441-455. 2014.
- COOK, R. J.; BAKER, K. F. **The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens**. St. Paul, MN: American Phytopathological Society, 1983.
- CORDOVEZ, V. *et al.* Diversity and functions of volatile organic compounds produced by *Streptomyces* from a disease-suppressive soil. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. OCT, p. 1-13, 2015.
- DE VRIES, S. C. *et al.* Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops, processed by first-generation conversion techniques. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 5, p. 588–601, 2010.

- DING, G. *et al.* Effect of cover crop management on soil organic matter. **Geoderma**, v. 130, n. 3–4, p. 229-239, 2006.
- EL-SHARKAWY, M. A. Cassava biology and physiology. **Plant Molecular Biology**, v. 53, n. 4, p. 621-641, 2004.
- El-Sharkawy, M. A. Drought- tolerant cassava for Africa, Asia, and Latin America: breeding projects work to stabilize productivity without increasing pressures on limited natural resources. **Bioscience** 43: p. 441-451, 1993.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2020) FAOSTAT database. FAO, Rome, Italy. Cassava. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 12 fev. 2020.
- FINNEY, D. M.; BUYER, J. S.; KAYE, J. P. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 72, n. 4, p. 361-373, 2017.
- FISCHLER, M.; WORTMANN, C. S.; FEIL, B. *Crotalaria* (*C. ochroleuca* G. Don.) as a green manure in maize–bean cropping systems in Uganda. **Field Crops Research**, v. 61, n. 2, p. 97-107, 1999.
- FOKUNANG, C. N. *et al.* Anthracnose: An economic disease of cassava in Africa. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 4, p. 920-925, 2001.
- FRASER, J. *et al.* Yield potential and forage quality of annual forage legumes in southern Alberta and northeast Saskatchewan. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 84, n. 1, p. 143-155, 2004.
- GARBEVA, P.; VAN VEEN, J. A.; VAN ELSAS, J. D. Microbial diversity in soil: Selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. **Annual Review of Phytopathology**, v. 42, n. 1, p. 243-270, 2004.
- HAFLEY, J. *et al.* In vitro protein degradation of cool season forages planted with minimum tillage and no fertilization. **Journal of Dairy Science**, v. 70, n. 11, p. 2322-2329, 1987.
- HARRIS, G. H. *et al.* Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long-term cropping systems experiment. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 5, p. 910-915, 1994.
- HARTWIG, N. L.; AMMON, H. U. Cover crops and living mulches. **Weed science**, v. 50, n. 6, p. 688-699, 2002.
- HILLOCKS, Rory J. Cassava in africa. *In*: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. **Cassava: Biology, production and utilization**, p. 41-54, 2002. Disponível em: http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/cabi_06ch3.pdf. Acesso em: 3 fev.2020.
- HOHENFELD, C. S. *et al.* Modelling growth characteristics and aggressiveness of *Neoscytalidium hyalinum* and *Fusarium solani* associated with black and dry root rot diseases on cassava. **Tropical Plant Pathology**, v. 43, n. 5, p. 422-432, 2018.

HOITINK, H. A. J.; BOEHM, M. J. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. **Annual review of phytopathology**, v. 37, n. 1, p. 427-446, 1999.

HORNBY, D. Suppressive soils. **Annual review of phytopathology**, v. 21, n. 1, p. 65-85, 1983.

HUTZENLAUB, Natalie. **Assessment of Soil Suppressiveness – The system of fusarium foot rot on wheat**. Department of Forest Mycology and Pathology, p. 1-33, 2010.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2020). Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em: 12 nov. 2020.

INTEGRATED TAXONOMIC INFORMATION SYSTEM (ITIS). *Manihot esculenta*, Taxonomic. 2020. Disponível em: <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt#null>. Acesso em: 5 set. 2020.

KASUYA, M. *et al.* Induction of soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* by incorporation of dried plant residues into soil. **Phytopathology**, v. 96, n. 12, p. 1372-1379, 2006.

KHIND, C. S. *et al.* Nutrient transformations in soils amended with green manures. *In*: STEWART, B. A. *et al.* **Advances in soil science**. Springer, New York, v. 20 1992. p. 237-309.

KINKEL, L. L.; BAKKER, M. G.; SCHLATTER, D. C. A. Coevolutionary Framework for Managing Disease-Suppressive Soils. **Annual Review of Phytopathology**, v. 49, n. 1, p. 47-67, 2011.

KLEIN, E. *et al.* Controlled laboratory system to study soil solarization and organic amendment effects on plant pathogens. **Phytopathology**, v. 97, n. 11, p. 1476-1483, 2007.

KLEIN, E. *et al.* Soil Suppressiveness to Fusarium Disease: Shifts in Root Microbiome Associated with Reduction of Pathogen Root Colonization. **Phytopathology**, v. 103, n. 1, p. 23-33, 2013.

KLEIN, E.; KATAN, J.; GAMLIEL, A. Combining residues of herb crops with soil heating for control of soilborne pathogens in a controlled laboratory system. **Crop Protection**, v. 30, n. 3, p. 368-374, 2011.

LEGG, J. P. *et al.* Cassava virus diseases: biology, epidemiology and management. **Advances in virus research**. v. 91, p. 85-142, 2015.

LITTERICK, A. M. *et al.* The role of uncomposted materials, composts, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production - a review. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 23, n. 6, p. 453-479, 2004.

- LOUZADA, Gisele A. S. *et al.* Potencial antagônico de *Trichoderma* spp. originários de diferentes agroecossistemas contra *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium solani*. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 3, p. 145-149, 2009.
- LOZANO, J. C.; BOOTH, R. H. Diseases of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **PANS Pest Articles & News Summaries**, v. 20, n. 1, p. 30-54, 1974.
- MACHADO, A. R. *et al.* New occurrences of Botryosphaeriaceae causing black root rot of cassava in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 39, n. 6, p. 464-470, 2014.
- MACHADO, A. R.; BRITO, A. C.; MELO, J. F. Podridões fúngicas de raízes tuberosas no Nordeste brasileiro: etiologia e manejo. *In*: LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. **Desafios do manejo de doenças radiculares causadas por fungos**, Recife, p. 95, 2018.
- MAGID, J. *et al.* Disproportionately high N-mineralisation rates from green manures at low temperatures - Implications for modeling and management in cool temperate agro-ecosystems. **Plant and Soil**, v. 228, n. 1, p. 73-82, 2001.
- MANICI, L. M.; CAPUTO, F.; BABINI, V. Effect of green manure on *Pythium* spp. population and microbial communities in intensive cropping systems. **Plant and Soil**, v. 263, n. 1, p. 133-142, 2004.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Brasília, 2020. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 23 Fev. 2020.
- MARIANO, R. L. R.; SILVEIRA, E. B.; GOMES, A. M. A. Controle biológico de doenças radiculares. *In*: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. (Eds.). **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, 2005. p. 303-321.
- MARSCHNER, P. *et al.* Soil and plant specific effects on bacterial community composition in the rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 11, p. 1437-1445, 2001.
- MASSOLA, N. S.; BEDENDO, I. P.; OLIVEIRA, S. A. S. Doenças de mandioca. *In*: KIMATI, H., AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. 5. ed ed. [s.l.] Ouro Fino: Agronômica Ceres, p. 515-522. 2016.
- MAZZOLA, M. *et al.* Suppression of specific apple root pathogens by *Brassica napus* seed meal amendment regardless of glucosinolate content. **Phytopathology**, v. 91, n. 7, p. 673-679, 2001.
- MAZZOLA, M. Manipulation of rhizosphere bacterial communities to induce suppressive soils. **Journal of Nematology**, v. 39, n. 3, p. 213-20, 2007.
- MAZZOLA, M. Mechanisms of natural soil suppressiveness to soilborne diseases. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 81, n. 1-4, p. 557-564, 2002.

MAZZOLA, M.; GU, Y. H. Wheat genotype-specific induction of soil microbial communities suppressive to disease incited by *Rhizoctonia solani* Anamorphosis Group (AG)-5 and AG-8. **Phytopathology**, v. 92, n. 12, p. 1300-1307, 2002.

MICHELSSEN, A. *et al.* Inhibition of growth, and effects on nutrient uptake of arctic graminoids by leaf extracts—allelopathy or resource competition between plants and microbes?. **Oecologia**, v. 103, n. 4, p. 407-418, 1995.

MIETHLING, R. *et al.* Variation of microbial rhizosphere communities in response to crop species, soil origin, and inoculation with *Sinorhizobium meliloti* L33. **Microbial Ecology**, v. 40, n. 1, p. 43-56, 2000.

MSIKITA, W. *et al.* Prevalence and severity of *Nattrassia mangiferae* root and stem rot pathogen of cassava in Bénin. **Plant Disease**, v. 89, n. 1, p. 12-16, 2005.

NASSAR, N. M. A. Cassava, *Manihot esculenta* Crantz, genetic resources: Origin of the crop, its evolution and relationships with wild relatives. **Genetics and Molecular Research**, v. 1, n. 4, p. 298-305, 2002.

NIHORIMBERE, V. *et al.* Effet bénéfique de la communauté microbienne de la rhizosphère sur la croissance et la santé des plantes. **Biotechnology, Agronomy and Society and Environment**, v. 15, n. 2, p. 327-337, 2011.

NOBLE, R.; COVENTRY, E. Suppression of soil-borne plant diseases with composts: A review. **Biocontrol Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 3-20, 2005.

NUR AIN IZZATI, M. Z.; ABDULLAH, F. Disease Suppression in Ganoderma - infected Oil Palm Seedlings Treated with *Trichoderma harzianum*. **Plant Protection Science**, v. 44, n. 3, p. 101-107, 2008.

OKOGBENIN, E. *et al.* Phenotypic approaches to drought in cassava. **Frontiers in physiology**, v. 4, p. 93, 2013.

OLIVEIRA, S. A. S. *et al.* Resistance to *Fusarium* dry root rot disease in cassava accessions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 10, p. 1414-1417, 2013.

ONYEKA, T. J.; DIXON, A. G. O.; EKPO, E. J. A. Assessment of laboratory methods for evaluating cassava genotypes for resistance to root rot disease. **Mycopathologia**, v. 159, n. 3, p. 461-467, 2005.

PAL, K. K.; GARDENER, B. M. Biological Control of Plant Pathogens. **The Plant Health Instructor**, p. 1-25, 2006.

PALANIYANDI, S. A. *et al.* Effects of actinobacteria on plant disease suppression and growth promotion. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 97, n. 22, p. 9621-9636, 2013.

PANKHURST, C. E. *et al.* Effect of rotation breaks and organic matter amendments on the capacity of soils to develop biological suppression towards soil organisms associated with yield decline of sugarcane. **Applied Soil Ecology**, v. 28, n. 3, p. 271-282, 2005.

- PERALTA, A. L. *et al.* Crop rotational diversity increases disease suppressive capacity of soil microbiomes. **Ecosphere**, v. 9, n. 5, p. e02235, 2018.
- PÉREZ-PIQUERES, A. *et al.* Response of soil microbial communities to compost amendments. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 3, p. 460-470, 2006.
- PERONI, N.; KAGEYAMA, P. Y.; BEGOSSI, A. Molecular differentiation, diversity, and folk classification of “sweet” and “bitter” cassava (*Manihot esculenta*) in Caçara and Caboclo management systems (Brazil). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 54, n. 6, p. 1333-1349, 2007.
- REID, J. B.; GOSS, M. J. Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. **Journal of Soil Science**, v. 32, n. 4, p. 521-541, 1981.
- RUPPENTHAL, M. *et al.* Losses of organic matter and nutrients by water erosion in cassava-based cropping systems. **Experimental Agriculture**, v. 33, n. 4, p. 487-498, 1997.
- SCHLATTER, D. *et al.* Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. **Phytopathology**, v. 107, n. 11, p. 1284-1297, 2017.
- SELIGMAN, N. G. *et al.* Uptake of nitrogen from high C-to-N ratio, 15N-labeled organic residues by spring wheat grown under semi-arid conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 18, n. 3, p. 303-307, 1986.
- SILVA, C. A. D. *et al.* Interference of incorporation of soil organic matter in control of cassava black root, caused by *Scytalidium lignicola*. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1823-1831, 2013.
- SILVA, J. M. D. A *et al.* Fumes and microbial activities involved in the suppression of cassava root rot by organic matter. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 708-717, 2017.
- STONE, A. G.; SCHEUERELL, S. J.; DARBY, H. M. Suppression of soilborne diseases in field agricultural systems: organic matter management, cover cropping, and other cultural practices. In: MAGDOFF, F. & WEIL, R.R. **Soil organic matter in sustainable agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 2004. p.132-164.
- SUMNER, D. R.; DOUPNIK JR, B.; BOOSALIS, M. G. Effects of reduced tillage and multiple cropping on plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, v. 19, n. 1, p. 167-187, 1981.
- TENUTA, M.; LAZAROVITS, G. Soil properties associated with the variable effectiveness of meat and bone meal to kill microsclerotia of *Verticillium dahliae*. **Applied Soil Ecology**, v. 25, n. 3, p. 219-236, 2004.
- THIESSEN MARTENS, J.; ENTZ, M. Integrating green manure and grazing systems: A review. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 91, n. 5, p. 811–824, 2011.

- TIEMANN, L. K. *et al.* Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. **Ecology letters**, v. 18, n. 8, p. 761-771, 2015.
- TILMAN, D. *et al.* Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, n. 6898, p. 671-677, 2002.
- UBALUA, A. O.; OTI, E. Antagonistic properties of *Trichoderma viride* on post harvest cassava root rot pathogens. **African Journal of Biotechnology**, v. 6, n. 21, 2007.
- WALTER, B. *et al.* Some properties of a previously undescribed virus from cassava: Cassava American latent virus. **Annals of Applied Biology**, v. 115, n. 2, p. 279-289, 1989.
- WELLER, D. M. *et al.* Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, v. 40, n. 1, p. 309-348, 2002.
- WHIPPS, J. M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. suppl_1, p. 487-511, 2001.
- WIGGINS, B. E.; KINKEL, L. L. Green manures and crop sequences influence alfalfa root rot and pathogen inhibitory activity among soil-borne streptomycetes. **Plant and Soil**, v. 268, n. 1, p. 271-283, 2005.
- WIGGINS, B. E.; KINKEL, L. L. Green manures and crop sequences influence potato diseases and pathogen inhibitory activity of indigenous streptomycetes. **Phytopathology**, v. 95, n. 2, p. 178-185, 2005.
- WYLAND, L. J.; JACKSON, L. E.; SCHULBACH, K. F. Soil-plant nitrogen dynamics following incorporation of a mature rye cover crop in a lettuce production system. **The Journal of Agricultural Science**, v. 124, n. 1, p. 17-25, 1995.
- ZACCARDELLI, M. *et al.* The development and suppressive activity of soil microbial communities under compost amendment. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 13, n. 3, p. 730-742, 2013.

CAPÍTULO 2

Efeito de coberturas vegetais na supressividade das podridões radiculares e nas características agronômicas da mandioca

Artigo a ser submetido à revista *European Journal of Plant Pathology*.

1 **Efeito de coberturas vegetais na supressividade das podridões radiculares e nas características**
2 **agronômicas da mandioca**

3

4 Maria Cristiane Pereira Sousa¹; Saulo Alves Santos de Oliveira^{2*}

5 ¹Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710 – Centro, CEP 44380-000, Cruz das
6 Almas, Bahia, Brasil.

7 ²Embrapa Mandioca e Fruticultura, Rua Embrapa, s/n, CP 007, Centro, CEP 44380-000, Cruz das Almas,
8 Bahia, Brasil.

9

10 *Autor para correspondência: Saulo Alves Santos de Oliveira.

11 E-Mail: saulo.oliveira@embrapa.br

12 Embrapa Mandioca e Fruticultura, Rua Embrapa s/n CP 007, 44380-000 Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

13

14 **Resumo**

15 A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é afetada por várias doenças, destacando-se as podridões radiculares,
16 como a podridão radicular seca (PRS) e a podridão radicular negra (PRN), causada por um complexo de fungos
17 com alta capacidade saprofítica e de sobrevivência no solo. São doenças de difícil controle, por isso a
18 necessidade de novas estratégias para integrar o manejo integrado contra essas doenças, dessa forma uma das
19 opções de manejo é a indução da supressividade do solo pela incorporação do material vegetal que afeta
20 positivamente as características bióticas e abióticas do solo. Por conseguinte, o objetivo deste estudo foi avaliar
21 o efeito de diferentes tipos de cobertura vegetal incorporadas ao solo e identificar os possíveis fatores
22 microbiológicos e químicos associados a supressividade e conducividade da doença, além de caracterizar os
23 efeitos sobre as características agrônômicas da planta. Foram desenvolvidos 4 ciclos de cultivos, alternando o
24 plantio com variedade de mandioca BRS Kiriris (resistente) e BRS Formosa (suscetível) com plantio de
25 coberturas vegetais (crotalária oroleuca - CO, aveia preta - AP, feijão de porco - FP, milho - MI, amendoim -
26 AM e feijão caupi - FC) com pousio (PO), em solos infestados com patógenos causadores de PRS e PRN. Para
27 cada ciclo foram efetuadas avaliações de parâmetros agrônômicos e de doença, e coletas de amostras dos solos
28 para avaliações das propriedades químicas e das populações de bactérias totais (BT), bactérias produtoras de
29 endósporos (BPE), bactérias produtoras de sideróforos (BPS), actinobactérias (ACT), fungos totais (FT) e
30 *Trichoderma*. No 2º ciclo de cultivo ocorreu maior incidência de doenças nas manivas (79,2%), e índice de

31 doença (70,8%), na variedade BRS Kiriris, enquanto a variedade BRS Formosa destacou-se com melhores
32 características agronômicas. No 4º ciclo de cultivo, as incorporações de AM, FP e FC destacaram-se quanto
33 ao vigor, peso fresco e seco da parte aérea, peso fresco e seco da raiz para ambas as variedades de mandioca.
34 Enquanto, MI, MA, AP e PO, foram os menos eficazes apresentando maiores incidência externa e interna de
35 sintomas das doenças. Considerando a análise de componentes principais a incorporação de FP propiciou as
36 maiores populações de BT, BPE e BPS, porém não evidenciou uma relação consistente com os níveis de
37 supressividade do solo. Ao longo dos ciclos as incorporações no solo de FC, FP, AM, demonstraram resultados
38 significativos nas características agronômicas da mandioca, o que possivelmente pode ser indicativo do
39 potencial para utilização num sistema de manejo integrado de doenças.

40

41 **Palavras Chave:** Cobertura vegetal, conducividade, manejo, supressão do solo.

42

43 **Abstract**

44 Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is affected by several diseases, especially root rot, such as dry root rot
45 (PRS) and black root rot (PRN), caused by a complex of fungi with a high health and survival capacity in the
46 soil. These are diseases that are difficult to control, so the need for new strategies to integrate integrated
47 management against these diseases, so one of the management options is the induction of soil suppressiveness
48 by incorporating plant material that positively affects the biotic and abiotic characteristics of the soil. ground.
49 Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of different types of vegetation cover
50 incorporated into the soil and to identify the possible microbiological and chemical factors associated with the
51 suppression and conductivity of the disease, in addition to characterizing the effects on the agronomic
52 characteristics of the plant. Four crop cycles were developed, alternating planting with a variety of cassava
53 BRS Kiriris (resistant) and BRS Formosa (susceptible) with planting of vegetable coverings (crotalaria
54 ocroleuca - CO, black oats - AP, pork beans - FP, corn - MI , peanut - AM and cowpea - FC) with fallow (PO),
55 in soils infested with pathogens that cause PRS and PRN. For each cycle, evaluations of agronomic and disease
56 parameters were carried out, and soil sample collections were carried out to assess the chemical properties and
57 populations of total bacteria (BT), endospore-producing bacteria (BPE), siderophor-producing bacteria (BPS),
58 actinobacteria (ACT), total fungi (FT) and Trichoderma. In the 2nd cultivation cycle, there was a higher
59 incidence of diseases in the plants (79.2%), and disease index (70.8%) in the BRS Kiriris variety, while the
60 BRS Formosa variety stood out with better agronomic characteristics. In the 4th cultivation cycle, the

61 incorporations of AM, FP and FC stood out in terms of vigor, fresh and dry weight of the aerial part, fresh and
62 dry weight of the root for both varieties of cassava. While, MI, MA, AP and PO, they were the least effective
63 with the highest external and internal incidence of disease symptoms. Considering the analysis of main
64 components, the incorporation of FP provided the largest populations of BT, BPE and BPS, however it did not
65 show a consistent relationship with the levels of suppression of the soil. Throughout the cycles, incorporations
66 into the soil of FC, FP, AM have shown significant results in the agronomic characteristics of cassava, which
67 may possibly be indicative of the potential for use in an integrated disease management system.

68 **Keywords:** cover crop, conduciveness, management, soil suppression.

69

70 **1. Introdução**

71 A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma das culturas com grande potencial econômico e social
72 para países em desenvolvimento de áreas tropicais e subtropicais (Silva et al. 2017), é alimento básico para
73 quase um bilhão de pessoas em 105 países, possuem raízes ricas em amido e com alto teor calórico, de extrema
74 importância para segurança alimentar e aplicações industriais como biocombustíveis, biopolímeros, alimentos,
75 ração, cosméticos e remédios (Li et al. 2017; Mombo et al. 2017).

76 Entre os principais países produtores, destaca-se o Brasil como quinto maior produtor mundial (FAO
77 2020), entretanto nas regiões produtoras como Nordeste, Norte, e Sudeste é crescente o aumento de doenças
78 conhecidas como podridões radiculares que geram perdas na produção de até 80% (Brito et al. 2020). Este
79 aumento pode estar ligado ao fato de que grande parte da sua produção é proveniente de áreas de pequenos
80 agricultores que utilizam material de propagação com baixa qualidade fisiológica e fitossanitária (Notaro et al.
81 2013).

82 As podridões radiculares, identificadas como podridão radicular seca, geralmente está associada a
83 fungos do gênero *Fusarium*, (Onyeka et al. 2005; Boas et al. 2016; Hohenfeld et al. 2018) enquanto a podridão
84 radicular negra, os principais agentes envolvidos pertencem ao gênero *Lasiodiplodia* e *Neoscytalidium*
85 (Machado et al. 2014; Hohenfeld et al. 2018; Brito et al. 2020), essas doenças são causadas por patógenos
86 habitantes do solo com grande capacidade saprofítica e de sobrevivência, sendo doenças de difícil de manejo
87 (Machado et al. 2018). Por isso, é essencial adoção de estratégias que visem melhores características
88 agrônomicas da planta e redução do inóculo primário e da doença.

89 O uso de variedades resistentes é a estratégia mais viável e econômica, porém o desenvolvimento
90 dessas variedades é difícil pelo fato desses patógenos sobreviverem no solo e o surgimento dos sintomas podem

91 ser influenciados por condições climáticas e pelo solo (Santiago et al. 2017). O uso do controle químico é
92 ineficiente, além de gerar efeito deletério ao ambiente (Machado et al. 2018). Uma das estratégias que vem
93 ganhando destaque contra a podridão radicular da mandioca é a indução de supressividade do solo por meio de
94 diferentes materiais orgânicos ou coberturas vegetais (Barros et al. 2014; Silva et al. 2017; Medeiros et al.
95 2019). Pois, a supressividade do solo, consiste na limitação da doença, por que mesmo apresentando uma planta
96 suscetível, um patógeno virulento, ambiente adequado para favorecer a doença, esta pode não ocorrer, mas
97 caso ocorra seria menos severa (Bettiol e Ghini 2005; Kinkel et al. 2011) A indução da supressividade está
98 relacionada aos fatores bióticos e abióticos do solo, a planta e ao ambiente, o conjunto desses fatores podem
99 implicar na supressividade ou conduçividade da doença (Garbeva et al. 2004; Bonanomi et al. 2007).

100 O manejo com uso de coberturas vegetais associados a sucessão ou rotação de culturas pode gerar
101 aumento da atividade microbiana, aumento de microrganismos antagônicos, melhorar as propriedades físicas
102 e químicas do solo, influenciando na redução da doença (Mazzola 2002; Bettiol e Ghini 2005) ou também
103 podem aumentar a gravidade da doença (Mazzola et al. 2001; Tilston et al. 2002; Pérez-Piqueres et al. 2006;
104 Bonanomi et al. 2007). O uso de diferentes coberturas vegetais promoveram a supressão do solo contra a
105 podridão seca causada por *Fusarium solani* (Barros et al. 2014) e ocorreu efeitos benéficos do consórcio de
106 plantas na supressão da podridão negra da mandioca, causada por *Scytalidium lignicola* (Medeiros et al. 2019).

107 As coberturas vegetais como as leguminosas feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), feijão caupi
108 (*Vigna unguiculata*), crotalária (*Crotalaria ochroleuca*), amendoim (*Arachis hypogaea*), possuem baixa
109 relação C/N. possuem a capacidade de utilizar fósforo (P) e potássio (K) em frações que são quase inacessíveis
110 no solo melhorando a disponibilidade de P e K para as culturas subsequentes (Fisher et al. 1999). Enquanto as
111 gramíneas milho (*Zea mays*), aveia preta (*Avena strigosa*), esses materiais com alta relação C/N podem
112 estimular a atividade microbiana, reduzindo a disponibilidade de nitrogênio, consequentemente prejudicando
113 o processo de infecção do patógeno (Snyder et al. 1959 apud Bonanomi et al. 2007).

114 Os benefícios das coberturas vegetais incluem, fixação do nitrogênio, conservação do solo, melhorias
115 na matéria orgânica e na estrutura do solo e controle de plantas daninhas (Hartwig e Ammon 2002) e podem
116 ser usadas como promotoras de supressão do solo contra a podridão radicular da mandioca (Barros et al. 2014).
117 Aliada com o uso de rotação ou sucessão de culturas torna-se importante pois a densidade de populações de
118 patógenos e microrganismos antagônicos do solo são afetadas (Garbeva et al. 2004).

119 Os objetivos deste estudo foram: (i) avaliar o efeito de diferentes tipos de cobertura vegetal
120 incorporadas ao solo na supressão das podridões radicular seca e negra da mandioca; (ii) identificar os possíveis

121 fatores químicos e/ou microbiológicos do solo associados com a supressividade ou condutividade às doenças;
 122 (iii) caracterizar os efeitos de diferentes tipos de cobertura vegetal incorporados ao solo sobre as características
 123 agronômicas da mandioca.

124 2. Material e Métodos

125 O experimento foi conduzido na Embrapa Mandioca e Fruticultura, no município de Cruz das Almas
 126 (Bahia, Brasil), em casa de vegetação com temperatura de 32 ± 2 °C. O solo foi proveniente do campo
 127 experimental da Embrapa Tabuleiros Costeiros (11°22'37.9"S, 37°40'29.6"W), da cidade de Umbaúba/SE,
 128 com alta incidência de podridões radiculares da mandioca, apresentando textura franco argilo arenoso, suas
 129 características químicas estão presentes no anexo do trabalho.

130 Este trabalho foi composto por dois experimentos, diferenciando-os apenas o período de plantio de
 131 mandioca, ou seja um apresentou 75 dias de plantio enquanto o outro 90 dias, apresentando 4 ciclos de cultivo
 132 sendo em delineamento experimental de 4 blocos ao acaso em esquema de parcela subdividida, 3 parcelas com
 133 variedades de BRS Formosa e 3 parcelas com variedade de BRS Kiriris, sendo que cada parcela era constituída
 134 por 3 vasos com 2 plantas, apresentado 11 tratamentos com diferentes combinações de pousio, variedades de
 135 mandioca (BRS Kiriris e BRS Formosa) e coberturas vegetais: Crotalaria oroleuca, aveia preta, Feijão de
 136 porco, milho, amendoim, feijão caupi (Tabela 1).

137 **Tabela 1** Tratamentos e cultivos utilizados na avaliação do potencial de coberturas vegetais na indução da
 138 supressividade da podridão radicular da mandioca durante os ciclos de cultivo.

	Tratamento ¹		Cultivo		
	1°	2°	3°	4°	
1	PO	PO	PO	PO	
2	PO	PO	MA	MA	
3	PO	MA	MA	MA	
4	PO	MA	PO	MA	
5	FC	MA	FC	MA	
6	FP	MA	FP	MA	
7	CO	MA	CO	MA	
8	AM	MA	AM	MA	
9	MI	MA	MI	MA	
10	AP	MA	AP	MA	
11	MA	MA	MA	MA	

139 ¹PO = pousio; MA= mandioca; FC= feijão caupi; FP= feijão de porco; MI= milho, CO= crotalaria oroleuca;
 140 AP= aveia preta; AM= amendoim.

141 2.1 Preparação do inóculo e infestação do solo

142 Foram utilizados isolados de patógenos causadores de podridão seca (*Fusarium oxysporum*, *F.*
143 *equisete*, *Fusarium verticillioides*, *Fusarium solani*, *Fusarium lateritium* e *F. chlamyosporum*) e de podridão
144 negra (*Lasiodiplodia theobromae* e *Neoscytalidium dimidiatum*) todos proveniente da micoteca do laboratório
145 de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

146 Os isolados foram repicados para meio de cultivo batata-dextrose-ágar (BDA) em placas de Petri e
147 mantidos em estufas tipo B.O.D à temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, e fotoperíodo de 12h por sete dias. Em seguida,
148 realizou-se as suspensões de esporos a partir do uso de 10 mL de água destilada esterilizada no meio com
149 colônias de isolados específicos, e para liberação de conídios utilizou escova macia. Essa suspensão foi obtida
150 pela filtração em dupla camada de gaze.

151 Para o preparo da fonte de inóculo foi utilizado 500 g de arroz, acondicionados em sacos plásticos
152 transparentes e autoclavados a 120°C , por 25 minutos e resfriamento a temperatura ambiente durante 24 horas,
153 após esse período adicionou-se 20 mL da suspensão de esporos de cada isolado no substrato. Para promover o
154 crescimento uniforme dos propágulos fúngicos, esse material foi homogeneizado a cada três dias. Quando
155 ocorreu o crescimento total do inóculo no substrato foi feito a inoculação no solo.

156 Na infestação do solo, misturou-se as fontes de inóculo de podridão seca e negra proporcionalmente
157 e em seguida adicionou-se em cada vaso de 8L a quantidade de 200g da fonte de inóculo a 10^6 UFC/g de
158 substrato, seguido da homogeneização do solo e pousio por 15 dias.

159 2.2 Cultivo de mandioca e cobertura vegetal

160 No 1° e 3° ciclos foram cultivados as coberturas vegetais como crotalária oroleuca, aveia preta, feijão
161 de porco, milho, amendoim e feijão caupi, além de pousios, e mandioca (BRS Kiriris e BRS Formosa).
162 Enquanto no 2° e 4° ciclos, somente, o plantio das variedades BRS Kiriris e BRS Formosa, juntamente com
163 pousios, conforme descritos na Tabela 1.

164 O plantio do 1° ciclo com a cobertura vegetal foi realizado 15 dias após infestação do solo, enquanto
165 o 2° ciclo 15 dias após incorporação da cobertura vegetal, 3° ciclo iniciou após 15 dias da retirada do material
166 de mandioca e o 4° ciclo iniciou após 15 dias de incorporação da cobertura vegetal. Antes do início de cada
167 cultivo foram retiradas amostras de solo para análise química e microbiológica de cada tratamento.

168 Para semear as coberturas vegetais foram distribuídas 5 sementes por vaso e após 15 dias de plantio
169 realizou-se o desbaste deixando 3 plantas por vaso. Quando as coberturas vegetais atingiram o estágio de plena
170 floração (>50% plantas florescendo), os materiais vegetais foram cortados e incorporados ao solo, deixando

171 um intervalo mínimo de 15 dias entre a incorporação e o novo ciclo de cultivo visando a decomposição parcial
172 dos restos de cultura.

173 Antes do plantio das manivas das variedades de mandioca BRS Kiriris, considerada resistente a
174 podridão radicular (Fukuda 2002), e a BRS Formosa considerada suscetível a podridão radicular, foram
175 submetidas ao tratamento com a solução de princípio ativo Cloreto de Benzalcônio (0,5ml/L) para a assepsia
176 do material de propagação na proporção de 10 ml da solução para 20L de água. As manivas foram imersas
177 durante 3 minutos e deixadas para secar durante 24 h a temperatura ambiente, em seguida, plantou-se duas
178 manivas por vaso, conforme o tratamento. Essas plantas foram cultivadas durante 83 dias, no decorrer do
179 cultivo foram feitas avaliações de germinação e severidade da doença e no final do cultivo avaliações de
180 parâmetro agronômicos e de doença.

181 2.3 Parâmetros de germinação, agronômicos e de doença

182 2.3.1 Ciclo de Cultivo 2° e 4°

183 Durante estes ciclos, avaliou-se a germinação durante 30 dias e a avaliação de incidência e sintomas
184 externos ocorreram em intervalos de 7 dias durante todo o ciclo de cultivo por meio de escalas de notas variando
185 de 0 a 4, onde: 0= sem sintoma, 1= amarelecimento e/ou murcha das folhas do terço médio, 2= amarelecimento
186 e/ou murcha das folhas do terço inferior e médio, 3= amarelecimento e/ou murcha das folhas de toda planta,
187 4= desfolha completa e/ou morte.

188 A avaliação dos parâmetros agronômicos, deu-se ao final do ciclo, as avaliações foram conforme a
189 metodologia de Fukuda e Guevara (1998).

- 190 a) Número de hastes da planta;
- 191 b) Altura das plantas: medida do solo ao topo superior das plantas, expresso em centímetros;
- 192 c) Vigor da planta usando a seguinte escala: 1 (pouco), 2 (intermediário),3 (vigoroso);
- 193 d) Peso fresco da parte aérea e de raiz, obtido em grama, com auxílio de uma balança analítica;

194 Peso seco da parte aérea e raízes em gramas. Estas foram colocadas em estufa a 55 °C e pesadas por
195 um período de 7 dias, quando atingiu o peso constante.

196 Quanto aos parâmetros referentes as podridões radiculares nas variedades BRS Kiriris e BRS
197 Formosa, foram avaliadas conforme na metodologia de Santiago et al. (2018).

- 198 I. Sobrevivência das plantas por meio da avaliação qualitativa (sim/ não);

- 199 II. Colonização interna e externa das manivas, avaliadas qualitativamente por presença ou ausência de
200 sinais e estruturas de patógenos.
- 201 III. Colonização interna das manivas baseadas em escala de notas: 0= não colonizado, 1=colonização <1/3
202 da área interna da maniva; 2 = colonização $\geq 1/3$ e $< 2/3$ da área interna da maniva; 3 = $\geq 2/3$ da área
203 interna da maniva.

204 2.4 Parâmetro microbiológico e químicos

205 Das análises microbiológicas resultou a quantificação do número de unidades formadoras de colônias
206 (UFC), decorrente da diluição de amostras de solos coletadas de 0-10 cm de cada tratamento. Na diluição foi
207 usado 1 g de solo em tubos de ensaio contendo 9 mL de solução salina esterilizada de $MgCl_2$ a 10 mM,
208 vortexada, efetuando diluições em série de 10^{-1} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , em meios específicos para bactérias totais (BT),
209 bactérias produtoras de endósporos (BPE), bactérias produtoras de sideróforos (BPS), actinobactérias (ACT),
210 Fungos totais e *Trichoderma*. Essas diluições foram em triplicatas e o plaqueamento foi de 100 μL da suspensão
211 nos meios de cultura seletivo.

212 Para quantificação das UFC das bactérias totais e bactérias produtoras de endósporo (BPE) foi usado
213 o meio nutriente ágar (extrato de carne 1,0 g L^{-1} , extrato de levedura 2,0 g L^{-1} , peptona 5,0 g L^{-1} cloreto de
214 sódio 5,0 g L^{-1} Agar 15,0 g L^{-1}), porém as diluições de BPE foram submetidas a banho maria 80 °C por 20
215 minutos antes do plaqueamento em meio nutriente ágar. Para as Bactérias Produtoras de Sideróforos (BPS)
216 utilizou-se o meio Agar PGS (Lamichhane 2013) constituído de (10 g L^{-1} de proteose, peptona, 20 g L^{-1} de
217 gelatina, 20 g L^{-1} de sacarose, 1 g L^{-1} de K_2HPO_4 , 1 g L^{-1} de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 15 g L^{-1} de Ágar). Já para as
218 Actinobactérias (ACT) foi o meio de extrato de malte (20 g L^{-1} extrato de malte, 20 g L^{-1} Ágar). Enquanto, para
219 fungos totais, meio BDA, Batata Dextrose Ágar (infusão da batata 200,0 g L^{-1} , Glicose 20,0 g L^{-1} , Agar 17,0 g L^{-1}
220 ¹). e para *Trichoderma* spp (Promwee et al. 2014), (15 g de ágar; 1 g de KH_2PO_4 ; 0,5 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; 5 g
221 de peptona; 10 g de dextrose; 0,033 g de rosa bengala; 0,1 g de estreptomicina).

222 As sementeiras das diluições em placas foram feitas com uso de alças drigalski esterilizadas e as
223 placas foram incubadas por 24 h, a 25 ± 2 °C e 70 ± 2 % UR. As populações bacterianas foram avaliadas após 24
224 h de incubação, enquanto aos fungos após 72 horas. Cada população foi resultante do número médio de colônias
225 em 3 placas sendo expressa em UFC g^{-1} solo.

226 As análises Químicas foram realizadas pelo Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e
227 Fertilizante da Universidade Federal de Viçosa, adotando os procedimentos recomendados para análise

228 segundo, Alvarez e colaboradores (1999). Tais análises foram referentes a pH (H₂O), P, K, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H
229 + Al, SB, t, T, V, m, MO, P-Rem, Cu, Mn, Fe, Zn.

230 2.5 Análise estatística

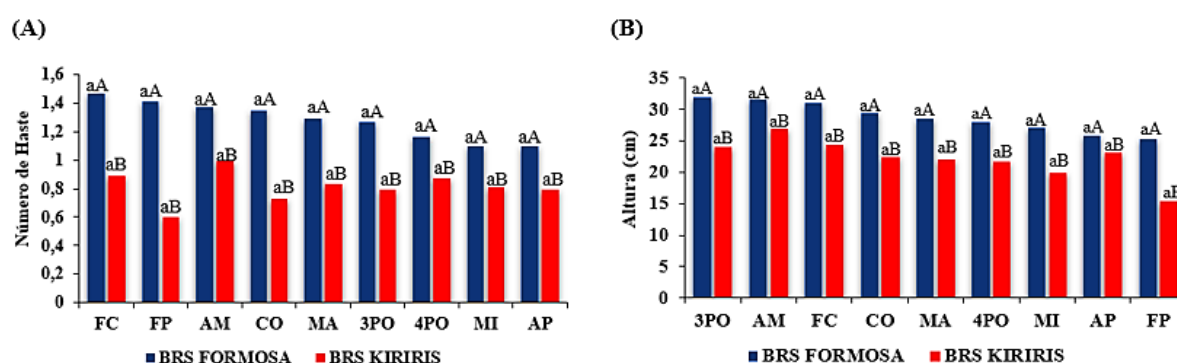
231 Os dados obtidos a partir de escalas de notas arbitrárias foram convertidos em Índice de Doença (%),
232 proposto por McKinney (1923). Os dados relacionados a avaliação de parâmetros agrônômicos e de doença
233 foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e após verificação de significância, realizou-se teste de
234 agrupamentos de médias de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) para análise de
235 componentes principais (PCA). As análises foram conduzidas com auxílio do software R versão 4.0.0 (R
236 Development Core Team, 2019), utilizando o pacote estatístico ExpDes.pt (Ferreira et al., 2018).

237

238 3. Resultados

239 3.1 Avaliação dos parâmetros agrônômicos e de doença no 2º Ciclo de cultivo de Mandioca.

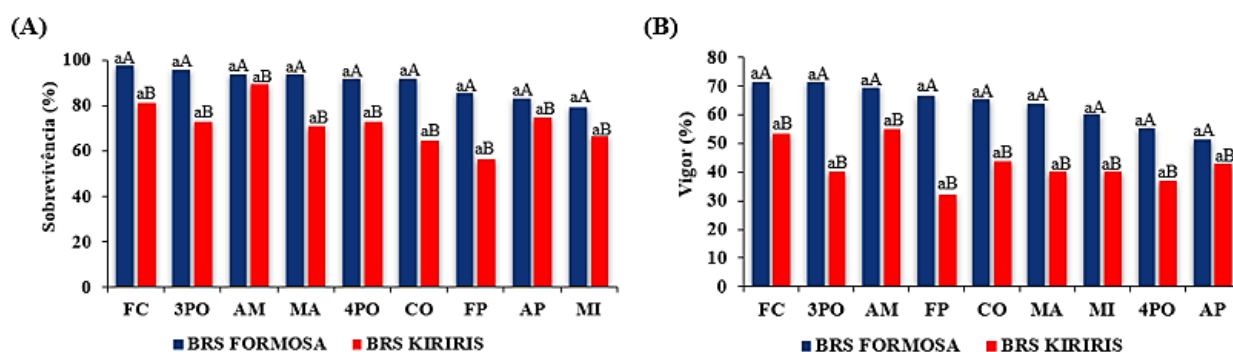
240 No 2º Ciclo de cultivo de mandioca, de acordo com análise ANOVA, não ocorreu efeitos
241 significativos para os tratamentos, entretanto para as variedades de mandioca houve diferenças significativas
242 ($p < 0,05$). Sendo que a variedade BRS Formosa, destacou-se nas variáveis quanto a parâmetros agrônômicos,
243 como maiores quantidade de hastes (1,28) e altura das plantas (28,72 cm). Embora não apresentando diferenças
244 significativas os tratamentos feijão caupi (1,47), feijão de porco (1,41) e amendoim (1,37) apresentaram mais
245 hastes (Fig 1 – A) e quanto a altura, nota-se plantas mais altas em 3 PO (PO-MA-MA-MA), amendoim e feijão
246 de porco com 31,85 cm, 31,47cm, 31,08 cm, respectivamente, (Fig 1 – B).



247 **Fig 1** Valores médios do número de haste (A) e altura (B) das variedades de mandioca BRS Formosa e BRS
248 Kiriris, após a incorporação das coberturas vegetais: amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC),
249 aveia preta (AP), crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios, 3PO (PO-MA-MA-MA), 4PO (PO-
250 MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam os tratamentos em nível de 5% de

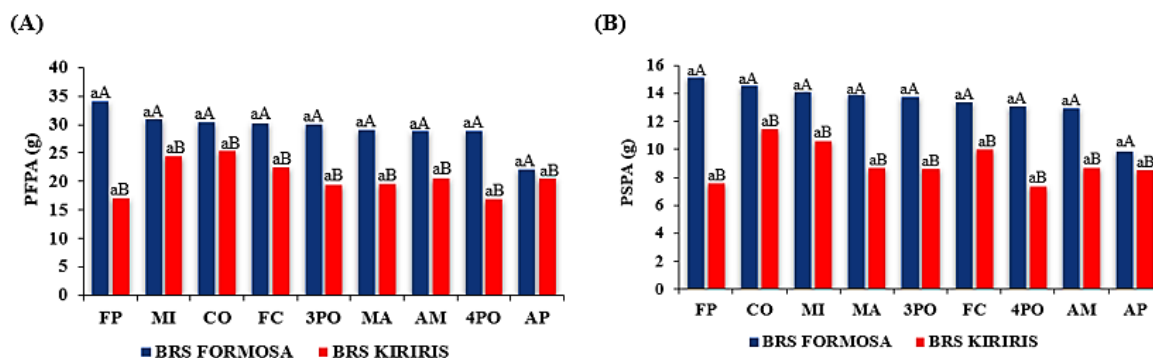
251 probabilidade) e maiúscula (comparam as variedades em nível de 5% de probabilidade) pertencem ao mesmo
 252 grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

253 As plantas com valores superiores as variáveis como sobrevivência e vigor foram alcançadas pela
 254 variedade BRS Formosa com 90, 27% e 63,96% de plantas sobreviventes e vigorosas, respectivamente (Fig 2
 255 – A e B). Apesar dos tratamentos não serem significativos é visualizado nas figuras que feijão caupi (97,91%
 256 - 71,52%), 3PO (95,83% - 71,52%), amendoim (93,75% - 69,44%) foram os com maiores valores médios a
 257 sobrevivência e vigor, respectivamente.



258
 259 **Fig 2** Média de sobrevivência (A) e vigor (B) das plantas de BRS Formosa e BRS Kiriris, após incorporação
 260 dos tratamentos: amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta (AP), crotalária (CO),
 261 milho (MI), mandioca (MA), e pousios, 3PO (PO-MA-MA-MA), 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas
 262 pela mesma letra minúscula (comparam os tratamentos em nível de 5% de probabilidade) e maiúscula
 263 (comparam as variedades em nível de 5% de probabilidade) pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-
 264 Knott ($p < 0,05$).

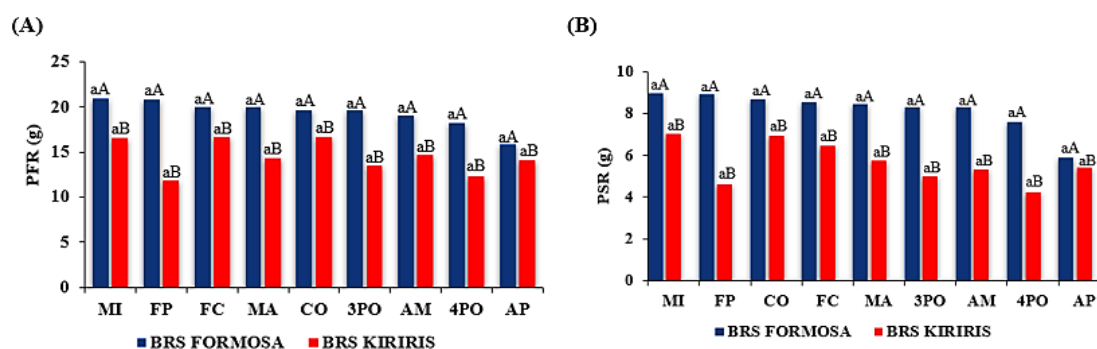
265 Quanto ao peso fresco e seco da parte aérea (g) das variedades de mandioca intercaladas com
 266 coberturas vegetais, observou-se diferença significativa para variedade BRS Formosa. Ainda que não tenha
 267 ocorrido diferença significativa aos tratamentos, a cobertura vegetal feijão de porco tanto na pesagem do PFFA
 268 (34,06g) e PSPA (15,17g), resultou em plantas com mais pesos para essas variável (Fig 3 – A e B).



269 **Fig 3** Peso fresco e seco da parte aérea (A, B), respectivamente, das diferentes variedades intercaladas com
 270 tratamentos amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta (AP), crotalária (CO), milho
 271 (MI), mandioca (MA), e pousios, 3PO (PO-MA-MA-MA), 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela
 272 mesma letra minúscula (comparam os tratamentos em nível de 5% de probabilidade) e maiúscula (comparam
 273 as variedades em nível de 5% de probabilidade) pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

274 Seguindo o mesmo comportamento a BRS Formosa apresentou diferença significativa tanto ao peso
 275 fresco (19,32g) como peso seco da raiz (8,1g). Os tratamentos como milho e feijão de porco, embora não sendo
 276 significativos, apresentaram maiores valores médios ao PFR (20,86g, 20,75g) e PSR (8,96g, 8,92g),
 277 respectivamente, (Figura 4 – A e B).

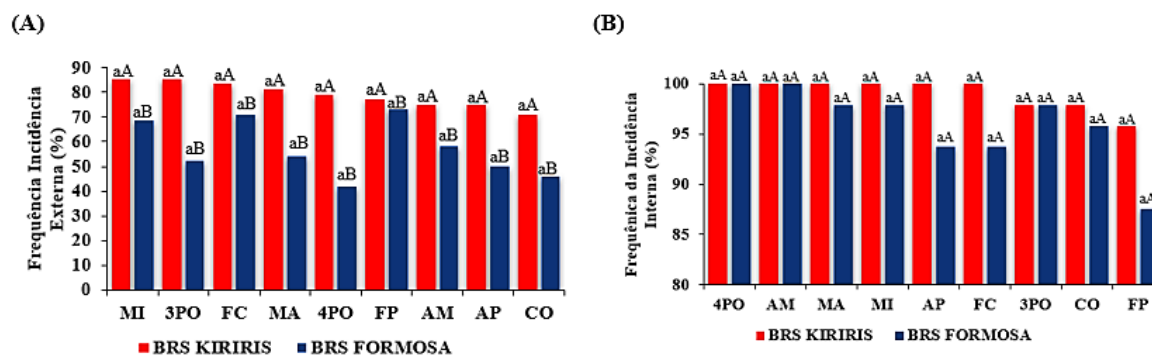
278



279 **Fig 4** Peso fresco (A) e seco (B) das raízes, após incorporação de coberturas vegetais amendoim (AM), feijão
 280 de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta (AP), crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios,
 281 3PO (PO-MA-MA-MA), 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam
 282 os tratamentos em nível de 5% de probabilidade) e maiúscula (comparam as variedades em nível de 5% de
 283 probabilidade) pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

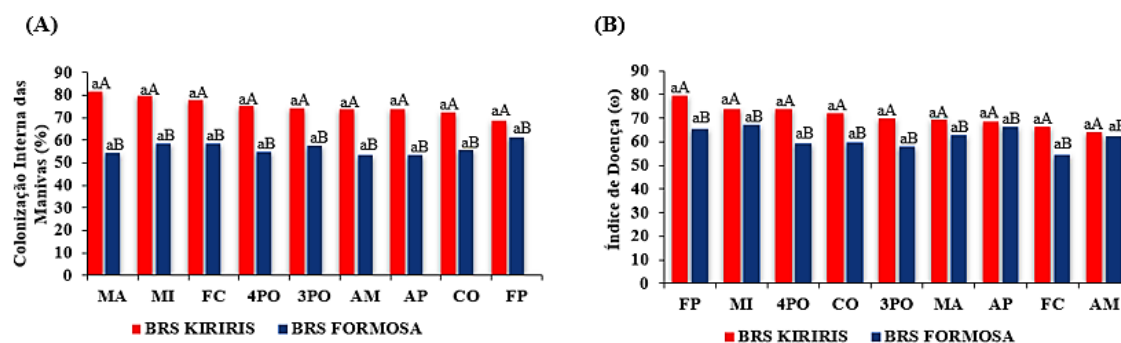
284
 285 Considerando a frequência de incidência externa dos patógenos radiculares sob as manivas de
 286 diferentes variedades, verificou-se que a BRS Kiriris obteve diferença significativa, sendo seu material de

287 propagação mais presentes por patógenos radiculares, com frequência de incidência externa de (79,16%) (Fig
 288 5 – A). Enquanto a frequência de incidência interna não houve diferença significativa para tratamentos e
 289 variedades (Fig 5 – B).



290 **Fig 5** Frequência da incidência externa sob as manivas (A) e frequência da incidência interna (B), nas
 291 variedades BRS Kiriris e BRS Formosa, intercaladas com os tratamentos, amendoim (AM), feijão de porco
 292 (FP), feijão caupi (FC), aveia preta (AP), crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios; 3PO (PO-
 293 MA-MA-MA), 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam os
 294 tratamentos em nível de 5% de probabilidade) e maiúscula (comparam as variedades em nível de 5% de
 295 probabilidade) pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).
 296

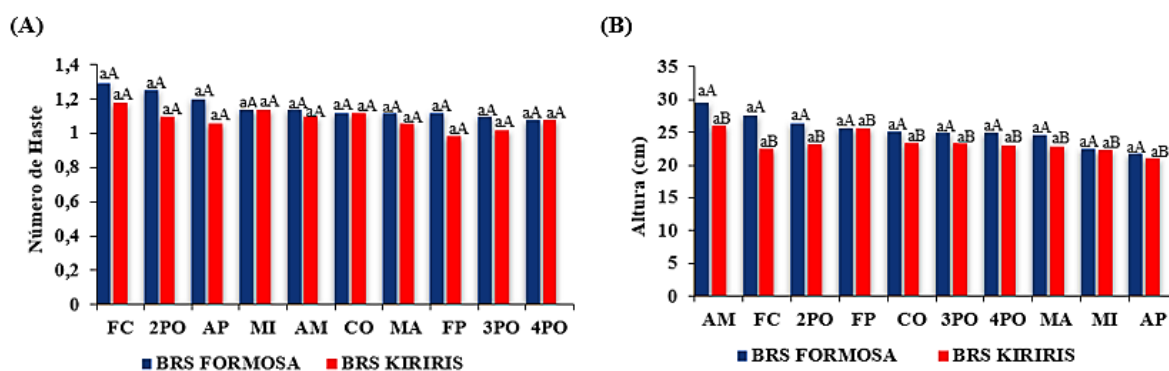
297 Quanto a colonização interna das manivas e índice de doença (ω) a variedade BRS Kiriris, destaca-se
 298 em nível de colonização de patógenos (75,14%) e sintomas da doença (70,83%). Apesar dos tratamentos não
 299 serem significativos para essas variáveis, os valores médios mostram que quanto a colonização interna das
 300 manivas, os tratamentos como mandioca (81,4%), milho (79,85%), feijão caupi (77,75) e 4 PO (74,99%), 3PO
 301 (74,3%), obtiveram mais presença de patógenos internamente colonizando as manivas. Enquanto ao índice de
 302 doença a intercalação da mandioca com feijão caupi (54,68%) e amendoim (62,49%), apresentaram valores
 303 mais baixos de doença.



304 **Fig 6** Valores médios da porcentagem de colonização interna (A) e índice de doença (B) nas variedades BRS
 305 Kiriris e BRS Formosa, intercaladas com os tratamentos amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi
 306 (FC), aveia preta (AP), crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios, 3PO (PO-MA-MA-MA), 4PO
 307 (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam os tratamentos em nível de 5%
 308 de probabilidade) e maiúscula (comparam as variedades em nível de 5% de probabilidade) pertencem ao
 309 mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

310 3.2 Avaliação dos parâmetros agrônômicos e de doença no 4º Ciclo de cultivo de Mandioca.

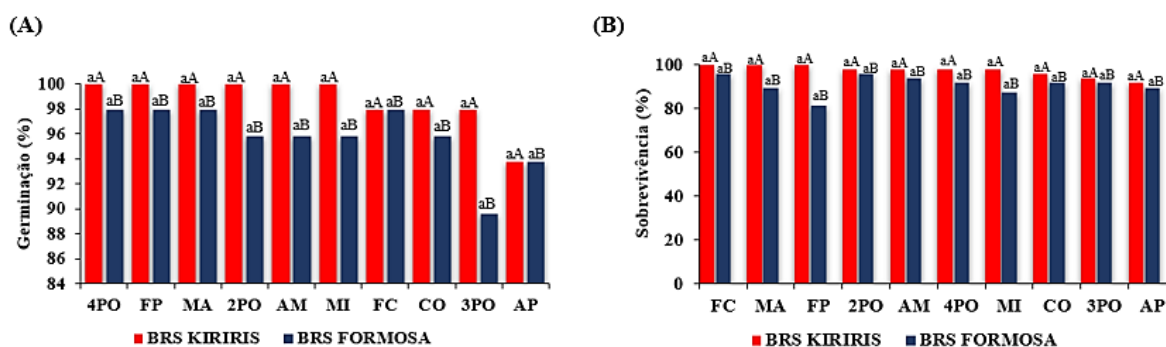
311 No 4º ciclo de cultivo de mandioca ocorreu diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott (p
 312 $< 0,05$), tanto em tratamentos como variedades e interação desses fatores para algumas variáveis. Entretanto,
 313 para variável número de haste não houve interação de nenhum dos fatores (Fig 7 – A). Porém, para a altura
 314 houve diferenças significativas para as variedades, sendo a BRS Formosa que obteve plantas mais altas.
 315 Embora não tenha ocorrido diferenças significativas para os tratamentos, observa-se na figura (Fig-B), que
 316 com os tratamentos amendoim (29,52 cm), feijão caupi (27,62cm), 2 Po (26,43 cm) e feijão de porco (25,66cm)
 317 as plantas de BRS Formosa apresentaram maiores alturas.



318 **Fig 7** Valores médios do número de haste (A) e altura (B) das plantas de BRS Formosa e BRS Kiriris quando
 319 intercaladas com os tratamentos: amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta (AP),

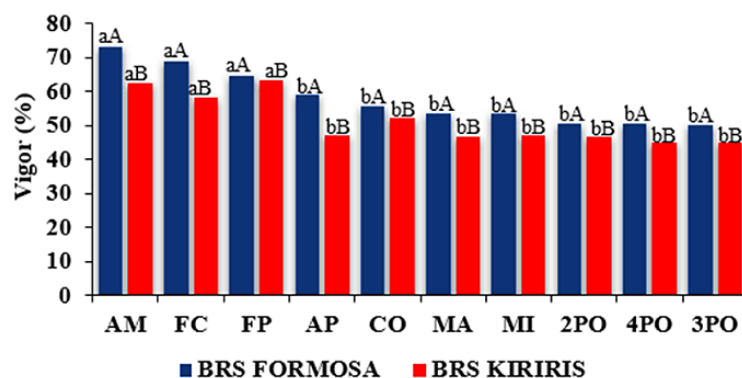
320 crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios; 2PO (PO-PO-MA-MA), 3PO (PO-MA-MA-MA),
 321 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam os tratamentos em nível de
 322 5% de probabilidade) e maiúscula (comparam as variedades em nível de 5% de probabilidade) pertencem ao
 323 mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

324 Enquanto a germinação e sobrevivência das plantas, verificou-se diferença significativa entre as
 325 variedades, sendo que a BRS Kiriris, destacou-se nessas variáveis com 99% e 97,29%, respectivamente. Apesar
 326 de não ocorrer diferença significativa entre os tratamentos é visível na imagem que para essas variáveis a BRS
 327 Kiriris, com o tratamento aveia preta obteve menores valores de germinação (93,75%) e sobrevivência
 328 (91,66%), (Fig 8 – A e B).



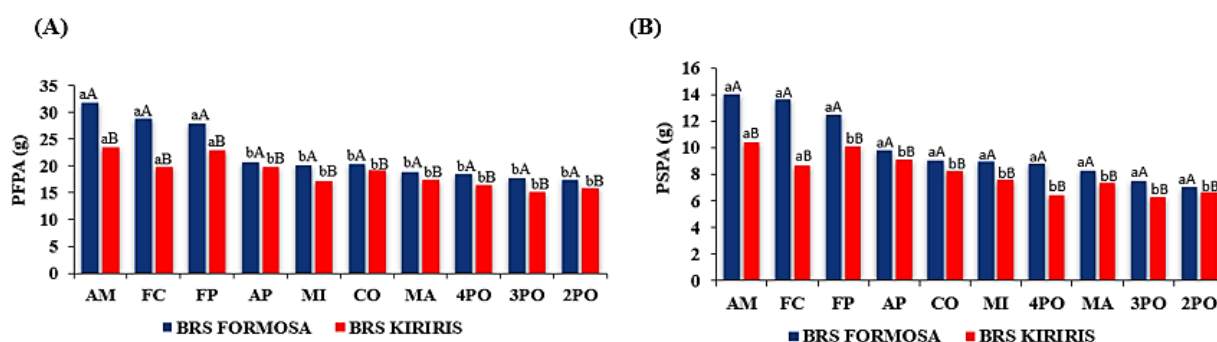
329 **Fig 8** Valores médios da porcentagem de germinação (A), sobrevivência (B), das variedades BRS Formosa e
 330 BRS Kiriris após o plantio e incorporação de amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia
 331 preta (AP), crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios: 2PO (PO-PO-MA-MA), 3PO (PO-MA-
 332 MA-MA), 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam os tratamentos
 333 em nível de 5% de probabilidade) e maiúscula (comparam as variedades em nível de 5% de probabilidade)
 334 pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

335 Considerando o vigor das plantas houve diferença entre as variedades e nos tratamentos, sendo que a
 336 variedade BRS Formosa apresentou mais vigor (57,91%), e entre os tratamentos das coberturas vegetais
 337 intercaladas com a mandioca, os que melhores apresentaram desempenho quanto essa variável foi amendoim
 338 (72,91%), feijão caupi (68,74%) e feijão de porco (64,57%) (Fig 9).



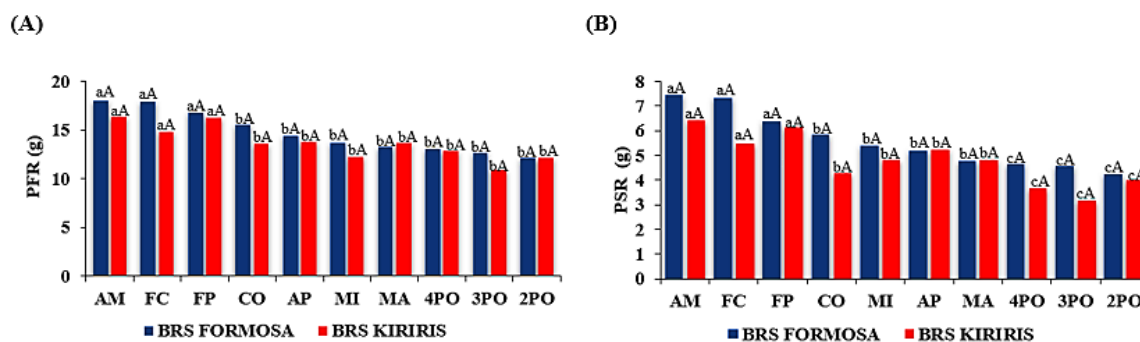
339 **Fig 9** Valores médios da porcentagem de vigor (%) das variedades BRS Formosa e BRS Kiriris quando
 340 intercaladas com os tratamentos amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta (AP),
 341 crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios: 2PO (PO-PO-MA-MA), 3PO (PO-MA-MA-MA),
 342 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam os tratamentos em nível de
 343 5% de probabilidade) e maiúscula (comparam as variedades em nível de 5% de probabilidade) pertencem ao
 344 mesmo grupo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

345 No peso fresco e seco (g) da parte área das variedades de mandioca, houve diferença significativa,
 346 tanto para variedades como para tratamentos, sendo que a BRS Formosa apresentou maior PFPA (22,11g) e
 347 PSPA (9,86g). Enquanto aos tratamentos as coberturas vegetais amendoim (31,80g – 13,97g), feijão caupi
 348 (28,85g – 13,65g) e feijão de porco (27,96g – 12,47g), apresentaram maiores valores ao PFPA e PSPA,
 349 respectivamente, (Fig 10 – A e B).



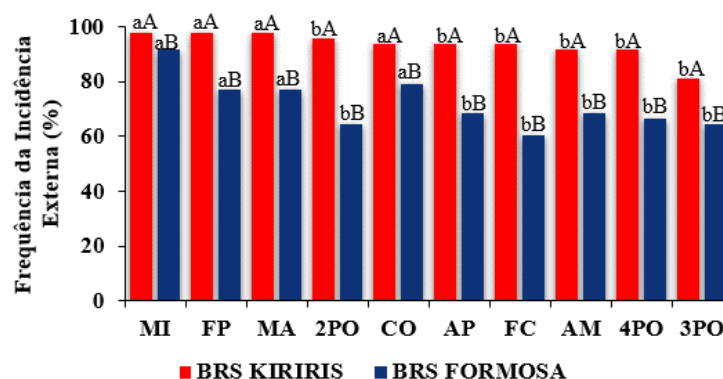
350 **Fig 10** Peso fresco (A) e seco (B) da parte aérea, respectivamente das variedades BRS Formosa e BRS Kiriris
 351 após a intercalação de culturas como amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta
 352 (AP), crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios; 2PO (PO-PO-MA-MA), 3PO (PO-MA-MA-
 353 MA), 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam os tratamentos em
 354 nível de 5% de probabilidade) e maiúscula (comparam as variedades em nível de 5% de probabilidade)
 355 pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

356 E para o peso fresco e seco das raízes (g), houve diferença significativa somente para tratamentos.
 357 Desse modo as coberturas vegetais com valores médios mais superiores a esses parâmetros foram: amendoim
 358 (18,01g – 7,45g), feijão caupi (17,84g – 7,33g) e feijão de porco (16,76g – 6,36g) para PFR e PSR,
 359 respectivamente, (Fig 11 – A e B).



360 **Fig 11** Peso fresco e seco (g) das raízes (A, B), respectivamente, das variedades BRS Formosa e BRS Kiriris,
 361 após a intercalação de culturas como amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta
 362 (AP), crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios; 2PO (PO-PO-MA-MA), 3PO (PO-MA-MA-
 363 MA), 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam os tratamentos em
 364 nível de 5% de probabilidade) e maiúscula (comparam as variedades em nível de 5% de probabilidade
 365 pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)).

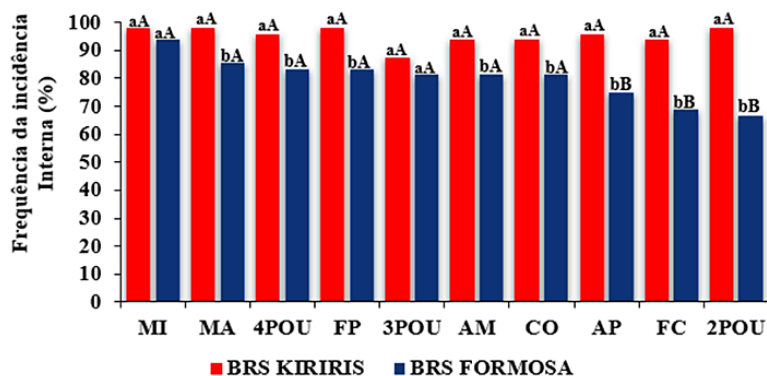
366 A frequência de incidência externa dos patógenos radiculares sob as manivas, demonstrou diferenças
 367 significativas tanto a variedade como ao tratamento. Sendo que as manivas de BRS Kiriris apresentaram
 368 maiores frequência externa de patógenos 93,54% enquanto a BRS Formosa 72,70%. Entre os tratamentos com
 369 mais presença de patógenos externamente no material de propagação foram milho, feijão de porco e mandioca,
 370 apresentando 97,91% de frequência de incidência externa de patógenos sob as manivas (Fig 12).



371 **Fig 12** Frequência da incidência externa de patógenos radiculares sob as manivas de BRS Kiriris e BRS
 372 Formosa quando intercaladas com o cultivo de amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia

373 preta (AP), crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios; 2PO (PO-PO-MA-MA), 3PO (PO-MA-
 374 MA-MA), 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam os tratamentos
 375 em nível de 5% de probabilidade) e maiúscula (comparam as variedades em nível de 5% de probabilidade)
 376 pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

377 Enquanto, a frequência de incidência interna dos patógenos de podridões radiculares de mandioca, a
 378 BRS Kiriris apresentou maior incidência desses microrganismos. Sendo que comparando as variedades dentro
 379 de cada tratamento, a mandioca (97,91%), 4Po (95,83%), Feijão de porco (97,91%), amendoim (93,75%),
 380 crotalária (93,75%), aveia preta (95,83%), feijão caupi (93,75%) e 2 PO (97,91%) apresentaram diferenças
 381 significativas, tornando a BRS Kiriris mais infestada por patógenos nesses tratamentos. Por outro lado, os
 382 tratamentos aveia preta, feijão caupi e 2PO (74,99%, 68,75, 66,66%) apresentaram diferenças significativas
 383 quando comparado os tratamentos dentro do nível variedade, sendo os tratamentos com menores presença de
 384 patógenos dentro das manivas de BRS Formosa (Fig 13).



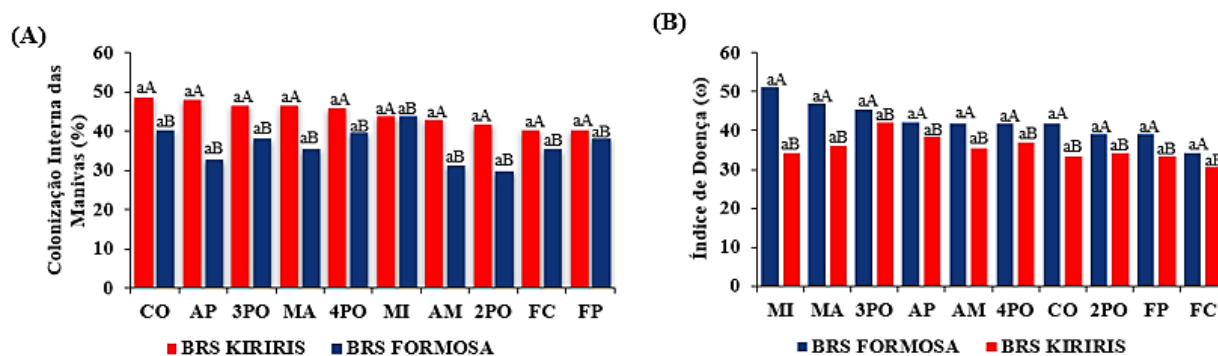
385

386 **Fig 13** Frequência da incidência interna de patógenos radiculares nas manivas de BRS Kiriris e BRS Formosa,
 387 intercaladas com o cultivo de de amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta (AP),
 388 crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios; 2PO (PO-PO-MA-MA), 3PO (PO-MA-MA-MA),
 389 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam as variedades dentro do nível
 390 tratamento) e maiúscula (comparam os tratamentos dentro de nível variedade) pertencem ao mesmo grupo pelo
 391 teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

392 Considerando a colonização interna das manivas (%) e índice de doença (ω), somente, existiu
 393 diferenças significativas entre variedades, sendo que a BRS Kiriris, obteve maior colonização por patógenos

394 radiculares (43,60%), entretanto a BRS Formosa apresentou maior índice de doença (42,29%) quando
 395 comparada a BRS Kiriris (35,21%). Embora, não tenha ocorrido diferenças significativas entre os tratamentos
 396 para essas variáveis, é observado que os valores médios para os tratamentos CO (48,6%), AP (47,92%), 3PO
 397 (46,52%), MA (46,52%), 4PO (45,83) e MI (43,74%) foram mais colonizados e os menos colonizados foram
 398 feijão caupi(35,425) e feijão caupi (38,19). Quanto ao índice de doença (ω), os tratamentos MI (51,04%), MA
 399 (46,87%), 3 PO (45,31%), AP 942,18%), obtiveram mais sintomas da doença, enquanto feijão de porco
 400 (33,33%) e feijão caupi (30,73%) apresentaram menos sintomas, baseados na observação dos valores médios
 401 (Fig 14).

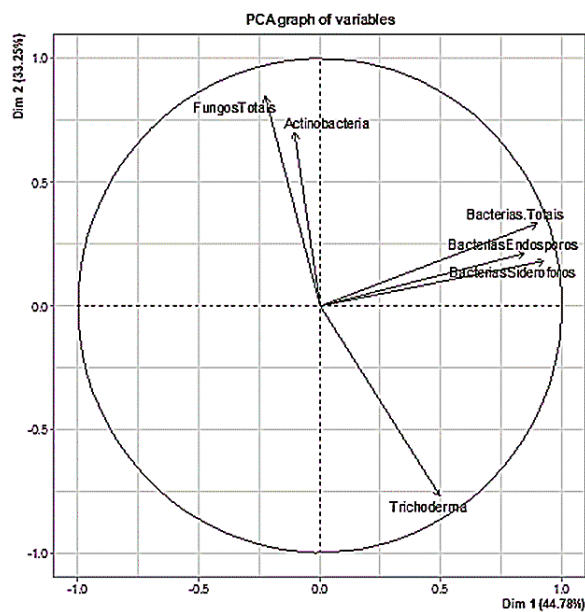
402



403

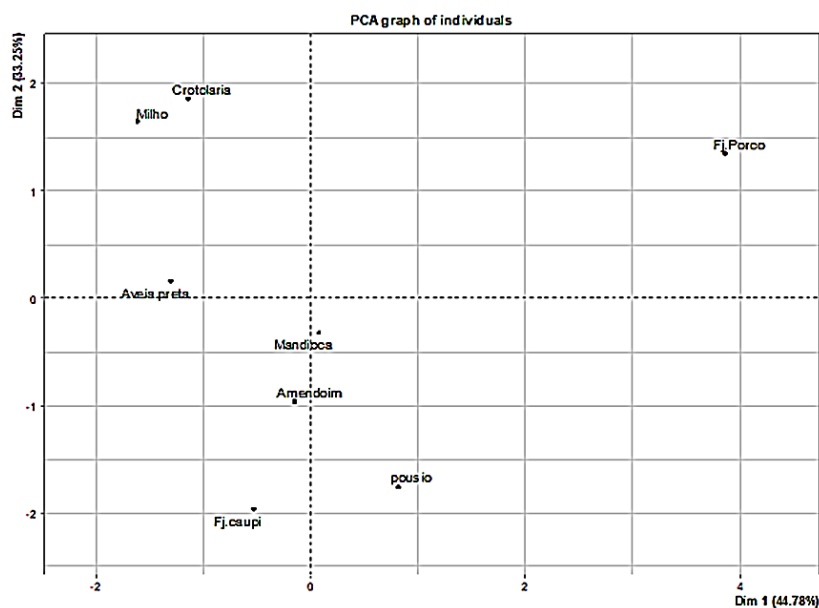
404 **Fig 14** Valores médios da porcentagem de colonização interna (A) e índice de doença (B) nas variedades BRS
 405 Kiriris e BRS Formosa, intercaladas com os tratamentos amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi
 406 (FC), aveia preta (AP), crotalária (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios, 2PO (PO-PO-MA-MA), 3PO
 407 (PO-MA-MA-MA), 4PO (PO-MA-PO-MA). Médias seguidas pela mesma letra minúscula (comparam os
 408 tratamentos em nível de 5% de probabilidade) e maiúscula (comparam as variedades em nível de 5% de
 409 probabilidade) pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

410 A análise de componentes principais considerou dois fatores por serem os mais representativos nas
 411 análises dos dados, cujos os componentes principais '1' e '2' explicaram 44,78% e 33,25% respectivamente
 412 da variabilidade dos mesmos, permitindo-se, portanto, explicar 78,03% da variação total. Comparando o
 413 gráfico de atributos microbiológicos (fig 15) com o gráfico de atributos de cobertura vegetal, mandioca e
 414 pousio (fig 16), indicaram que a cobertura vegetal feijão de porco foi capaz de promover alterações
 415 significativas nas populações de BT, BPE e BPS.



416

417 **Fig 15** Diagrama de projeção do vetor dos atributos microbianos como Bactérias totais (BT), Bactérias
 418 produtoras de endósporos (BPE), Bactérias produtoras de siderofóros (BPS), Actinobactérias (ACT), Fungos
 419 totais (FT), *Trichoderma*.



420

421 **Fig 16** Diagrama de ordenação das diferentes coberturas vegetais (Feijão caupi, feijão de porco, amendoim,
 422 crotalária, aveia preta, milho), além de mandioca e pousio.

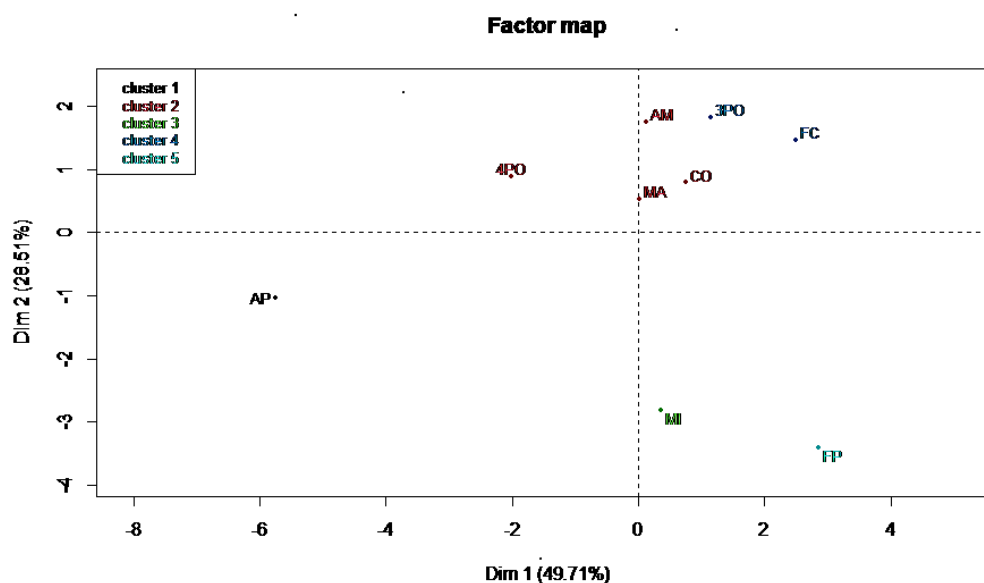
423

424

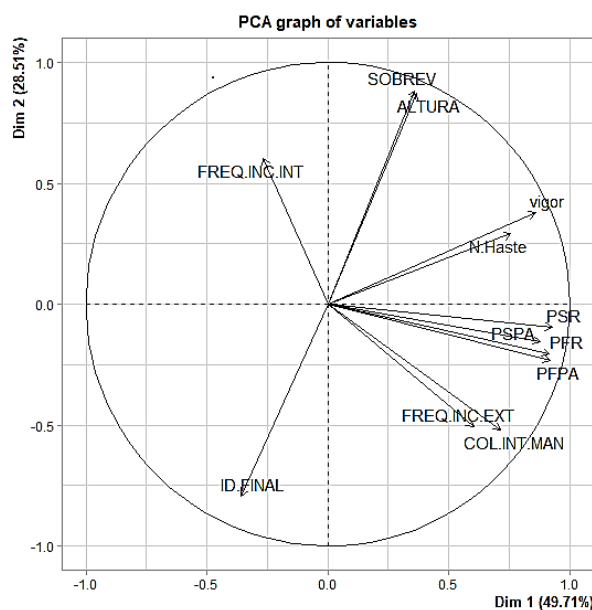
425

A análise de componentes principais das coberturas vegetais e pousios, dentro do 2º ciclo de cultivo, relacionada a variedade BRS Formosa permitiram a formação de 5 grupos aonde tem-se, grupo 1 (AP), grupo 2 (4PO, AM, CO, MA), grupo 3 (MI), grupo 4 (3PO, FC) e grupo 5 (FP). Sendo que o Dim 1 foi responsável

426 por 49,71%, e Dim 2 por 28,5% da variação total desses tratamentos (Fig 17). De acordo com o diagrama de
 427 projeção de vetores (Fig 18) o Dim 1 é representou 49,475, enquanto o Dim 2 28,51%, responsáveis pela
 428 variação dessas variáveis. Sendo que os tratamentos 3 PO e FC apresentaram mais sobrevivência, altura, vigor
 429 e número de haste, e o tratamento 4PO apresentou maior frequência de incidência interna (%). Contrastando
 430 com tratamento como aveia preta que apresentou baixo índice de doença (ω), e com MI e FP que demonstraram
 431 baixa frequência de incidência externa e colonização interna de patógenos nas manivas além de reduzido PFPA,
 432 PSPA, PFR, PSR.

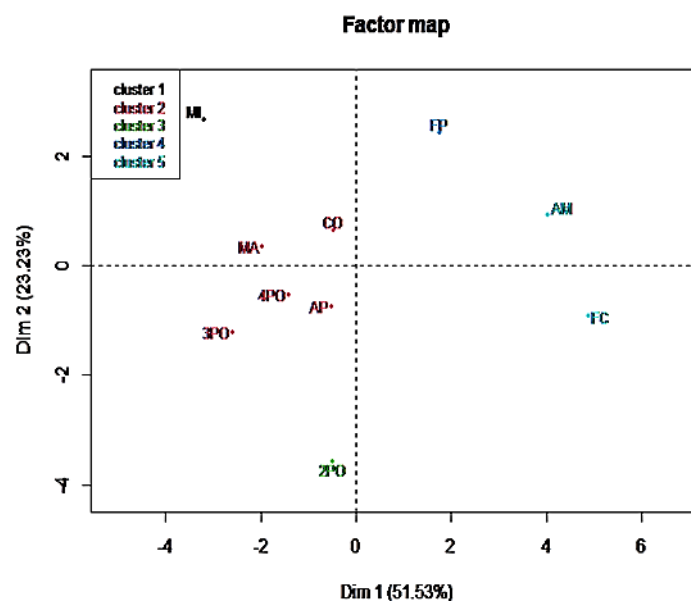


433 **Fig 17** Diagrama de ordenação dos componentes principais a variedade BRS Formosa no 2º ciclo de cultivo.
 434 Sendo os tratamentos, amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta (AP), crotalária
 435 (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios, 3PO (PO-MA-MA-MA), 4PO (PO-MA-PO-MA).

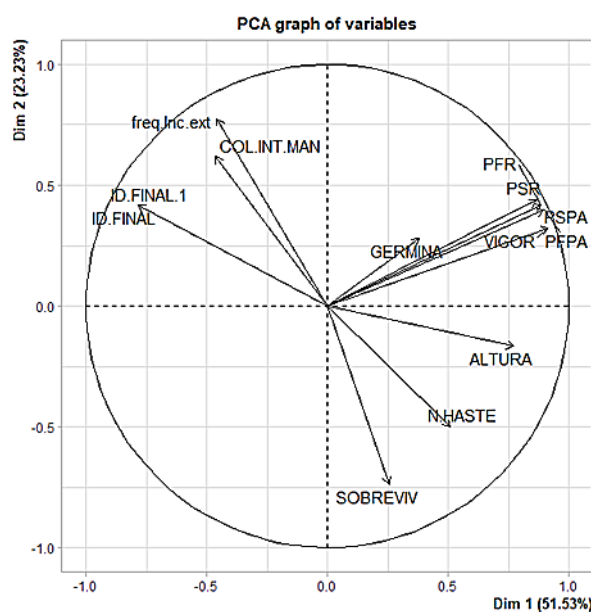


436 **Fig 18** Diagrama de projeção dos vetores dos atributos agrônômicos e de doença relacionados a variedade
 437 BRS Formosa no 2º ciclo de cultivo. Apresentando índice de doença (ID final), frequência de incidência
 438 externa (Freq. Inc. ext), Colonização interna das manivas (Col. Int. man), Frequência de incidência interna
 439 (Freq. Inc. Int), Número de haste (N haste), PFPA, PSPA, PFR, PSR e vigor.

440 Considerando a variedade BRS Formosa, porém no 4º ciclo de cultivo, observa-se pelo diagrama de
 441 ordenação dos componentes principais (Fig 19), o tratamento FC, apresentou características diferenciadas
 442 quando comparado aos demais, apresentando menores altura, menor quantidade de número de haste e de
 443 plantas sobreviventes, contudo o tratamento FP e AM obtiveram maiores germinações, vigor, e PFPA, PSPA,
 444 PFR E PSR. Enquanto os tratamentos MI, MA, CO demonstraram maiores frequências de incidência externa
 445 e colonização internas das manivas, além de maior de índice de doença. De acordo com o digrama de projeção
 446 de vetores (Fig 20) o Dim 1 foi responsável por 51,53% das variações das variáveis analisadas enquanto o
 447 Dim 2 23,23%



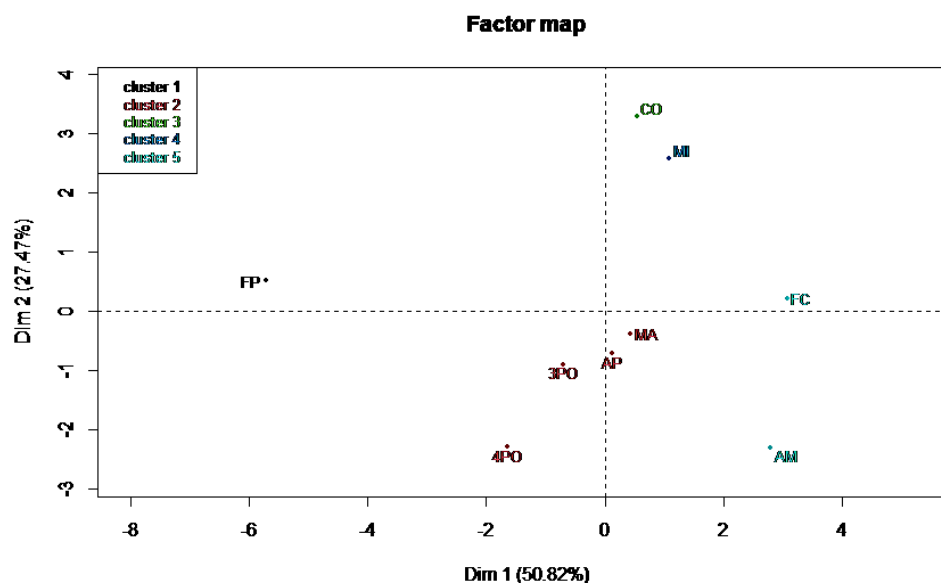
448 **Fig 19** Diagrama de ordenação dos componentes principais a variedade BRS Formosa no 4° ciclo de cultivo.
 449 amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta (AP), crotalaria (CO), milho (MI),
 450 mandioca (MA), e pousios, 2PO (PO-PO-MA-MA), 3PO (PO-MA-MA-MA), 4PO (PO-MA-PO-MA).



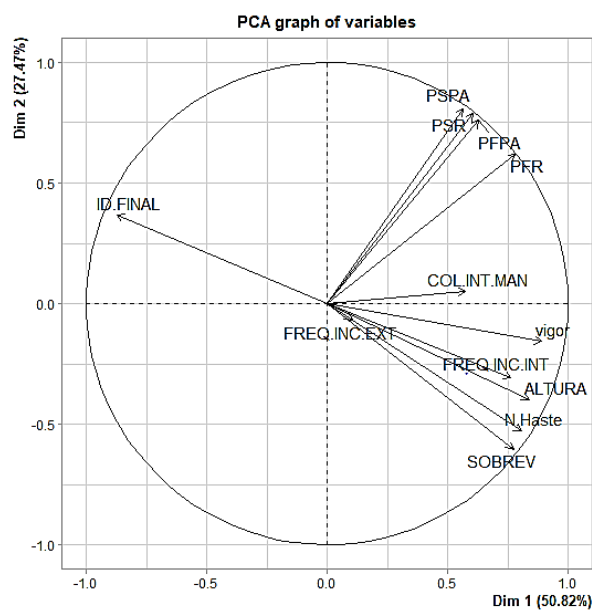
451
 452 **Fig 20** Diagrama de projeção dos vetores dos atributos agrônômicos e de doença relacionados a variedade
 453 BRS Formosa no 4° ciclo de cultivo. Apresentando índice de doença (ID final), frequência de incidência
 454 externa (Freq. Inc. ext), Colonização interna das manivas (Col. Int. man), Frequência de incidência interna
 455 (Freq. Inc. Int), Número de haste (N haste), PFPA, PSPA, PFR, PSR e vigor.

456 Baseados na análise de componentes principais do diagrama de ordenação dos componentes principais
 457 relacionados a coberturas vegetais e pousios no 2° ciclo de cultivo, utilizando a variedade BRS Kiriris temos a
 458 presença de 5 grupos. Grupo1 (FP), grupo 2 (4PO, 3PO, AP, MA), grupo 3 (CO), grupo 4 (MI), grupo 5 (FC,

459 AM), (Fig 21). Aonde o grupo 1 formado por FP, diferenciando-se dos demais tratamentos apresentado elevado
 460 índice de doença (ω), enquanto FC com maiores colonização interna das manivas, porem também com maiores
 461 valores de PFFPA, PSPA, PFR, PSR, juntamente com CO e Mi. Considerando o diagrama de projeção de vetores
 462 (Fig 22) as variáveis quanto a frequência de incidência interna e vigor, altura, número de haste e sobrevivência
 463 foram bem inferiores em tratamentos como AM, AP e MA, entretanto em MA e AP a frequência de incidência
 464 externa dos patógenos foram maiores (Fig 22).

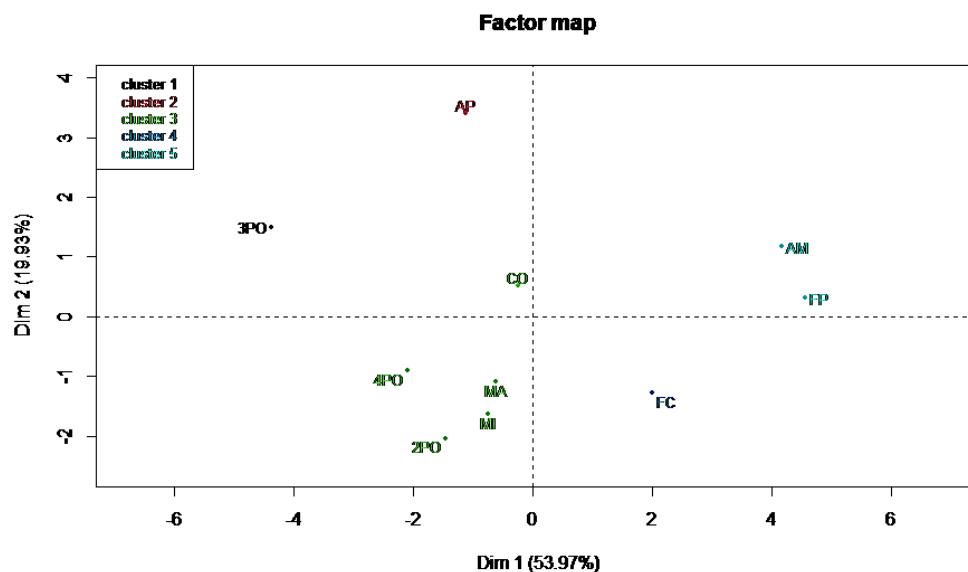


465 **Fig 21** Diagrama de ordenação dos componentes principais a variedade BRS Kiriris no 2° ciclo de cultivo.
 466 Sendo os tratamentos amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta (AP), crotalária
 467 (CO), milho (MI), mandioca (MA), e pousios, 3PO (PO-MA-MA-MA), 4PO (PO-MA-PO-MA).
 468

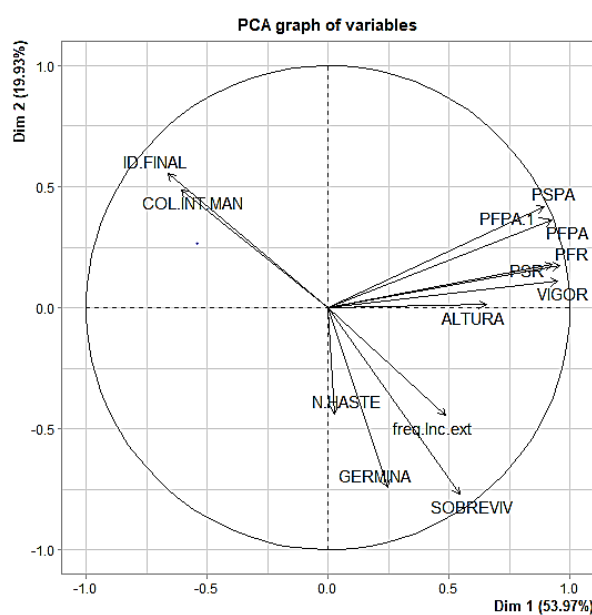


469 **Fig 22** Diagrama de projeção dos vetores dos atributos agrônômicos e de doença relacionados a variedade
 470 BRS Formosa no 2º ciclo de cultivo. Apresentando índice de doença (ID final), frequência de incidência
 471 externa (Freq. Inc. ext), Colonização interna das manivas (Col. Int. man), Frequência de incidência interna
 472 (Freq. Inc. Int), Número de haste (N haste), PFPA, PSPA, PFR, PSR e vigor.

473 Conforme o diagrama (Fig 23) o Dim 1 foi responsável por 53,97% da variação dos tratamentos com
 474 coberturas vegetais e pousios, no 4º ciclo de cultivo de BRS Kiriris. Aonde o cultivo com FC, destaca-se entre
 475 os demais tratamentos por apresentar menores valores quanto a número de haste, germinação, sobrevivência
 476 altura e a frequência de incidência externa de patógenos radiculares sob a manivas. Analisando as variáveis
 477 presentes no diagrama de fatores (Fig 24), as variáveis PPFPA, PSPA, PFR, PSR e vigor foram superiores nos
 478 tratamentos AM e FP. Enquanto o índice de doença e colonização interna das manivas foram superiores em
 479 AP, 3PO, CO.



480 **Fig 23** Diagrama de ordenação dos componentes principais a variedade BRS Kiriris no 4º ciclo de cultivo.
 481 amendoim (AM), feijão de porco (FP), feijão caupi (FC), aveia preta (AP), crotalária (CO), milho (MI),
 482 mandioca (MA), e pousios, 2PO (PO-PO-MA-MA), 3PO (PO-MA-MA-MA), 4PO (PO-MA-PO-MA).



483 **Fig 24** Diagrama de projeção dos vetores dos atributos agrônômicos e de doença relacionados a variedade
 484 BRS Formosa no 4º ciclo de cultivo. Apresentando índice de doença (ID final), frequência de incidência
 485 externa (Freq. Inc. ext), Colonização interna das manivas (Col. Int. man), Frequência de incidência interna
 486 (Freq. Inc. Int), Número de haste (N haste), PFPa, PSpa, PFR, PSR e vigor.
 487

488 4. Discussão

489 A incorporação de coberturas vegetais no solo tendem a induzir a supressividade do solo quanto a
490 podridão radicular da mandioca, entretanto, no presente estudo não foi possível identificar quais fatores
491 microbiológicos e químicos contribuíram para supressão da doença, diferentemente do que aconteceu com
492 trabalhos empregando coberturas vegetais contra a podridão radicular da mandioca, estudados por Barros et al.
493 (2014) e Medeiros et al. (2019). Apesar dos resultados não demonstrarem supressão a doença, ocorreu melhoras
494 significativas nas características agrônômicas e redução na incidência de patógenos no material de propagação
495 ao longo dos ciclos de cultivo.

496 Em vista dos poucos resultados encontrados sobre os possíveis fatores microbiológicos e químicos
497 envolvidos na supressão da doença, considerando o desenvolvimento dos experimentos em ciclos curtos não
498 encontrou-se uma resposta conclusiva, como Fischer et al. (2002) que concluiu que ensaios de curto prazo são
499 insuficientes para revelar os efeitos completos de novas técnicas de manejo de culturas e solo. Dessa forma, é
500 necessário ciclos mais longos de cultivo dependendo da cultivar selecionada para incorporação de material
501 vegetal ao solo, visto que alguns materiais vegetais possuem uma maior ou menor estágio de decomposição e
502 liberação de nutrientes que são fatores que contribuem para melhorias na qualidade do solo e da planta.

503 O conhecimento sobre as características agrícolas das variedades é essencial ao combate dos
504 patógenos radiculares, pois um dos principais métodos para manejar doenças fúngicas é o uso de hospedeiros
505 resistentes, dessa forma ao usar a variedade BRS Kiriris considerada resistente a podridão radicular da
506 mandioca em campo é esperado que se comporte como resistente, entretanto no 2º ciclo de cultivo, comportou-
507 se como suscetível as podridões radiculares, apresentando semelhanças com resultados encontrados por
508 Santiago et al. (2018) que ao utilizar solos infestados com isolados de podridão seca culminou no aparecimento
509 de sintomas e morte dessas plantas, agrupando-a nas variedades mais suscetíveis. Isto pode ter ocorrido devido
510 a BRS Kiriris ser suscetível ao complexo de patógenos e como relatou Boas et al. (2016) que essa variedade
511 poderia ter maior suscetibilidade quando a podridão radicular fosse causada por *Fusarium*. Enquanto a
512 variedade BRS Formosa é conhecida como suscetível a podridão radicular, porém comportou-se como
513 moderadamente resistente apresentando bons resultados em parâmetro agrônômicos no 2º e 4º ciclo de cultivo,
514 entretanto neste último ciclo apresentou maior índice de doença, porém conseguiu ter plantas com melhor
515 vigor, altura, peso fresco da parte aérea e peso seco da parte aérea. Este comportamento assemelha-se ao
516 encontrado por Santiago et al. (2018) que em avaliações de diferentes formas de inoculação de podridões
517 radiculares, pertenceu ao grupo de variedades com maior resistência a podridão radicular seca e a podridão

518 radicular negra, porém ainda não se tem dados que indiquem o por que desse comportamento da BRS Formosa
519 em alguns estudos envolvendo podridões radiculares da mandioca.

520 A incorporação de coberturas vegetais no solo ao longo dos ciclos de cultivos proporcionaram boas
521 características agronômicas as variedades de mandioca, esse manejo pode ter corroborado para esses
522 resultados, como foi observado por Tilston et al. (2005) aonde o aumento no teor de matéria orgânica no solo
523 poderiam ser responsáveis pelas melhorias no desempenho das plantas. Pois mesmo quando os compostos não
524 são diretamente supressores de fitopatógenos, o crescimento e o vigor das plantas podem ser estimulados ou
525 induzidos pelo aumento de absorção de nutrientes. De acordo com De Corato (2020) certos compostos não
526 supressivos podem até estimular o crescimento e o vigor das plantas e / ou induzir a absorção de nutrientes do
527 solo pelo tecido da planta, para promover a produtividade das culturas. Como observado pelo uso de coberturas
528 vegetais que não apresentaram características supressivas a doença, porém podem ter influenciado as
529 características agronômicas das plantas.

530 O aumento do vigor das variedades de mandioca com a incorporação das coberturas vegetais (FC, FP,
531 AM), pode ter sofrido influências de alterações nas características abióticas do solo. Como observado por
532 Ghorbani et al. (2008), Fang et al. (2012), em que o papel das alterações orgânicas no solo na supressão da
533 doença pode estar associado a redução da agressividade e infecção de patógenos e também com o aumento do
534 vigor das plantas como resultado da melhoria física e química do solo. Além disso pode ter influenciado nos
535 resultados da variedade BRS Kiriris, em que no 4 ° ciclo de cultivo, obteve melhoras nas características de
536 vigor e redução do índice de doença, possivelmente pelo mesmo efeito que é atribuído a compostos que por
537 meio de mecanismos como a melhoria da nutrição e vigor das plantas podem aumentar a resistência a doenças
538 (St Martin e Ramsuhag, 2015).

539 As culturas de cobertura e rotação podem reduzir ou aumentar a gravidade da doença de plantas por
540 uma variedade de mecanismos. Esses efeitos podem ser variável entre espécies de planta (Abawi e Widmer,
541 2000) e cultivar para cultivar (Mazzola e Gu, 2002). Observados nos 2° e 4 ° ciclo de cultivo aonde dependendo
542 da espécie de planta selecionada para incorporação no solo, ocorreu aumento na severidade e índice da doença
543 e enquanto ao uso das diferentes variedades de mandioca também implicou na redução ou aumento da
544 incidência da doença. Por isso a seleção da planta e a forma de manejo são essenciais para atingir a supressão
545 da doença e melhores características agronômicas das plantas, de acordo com Mazzola et al. (2001) e Pérez-
546 Piqueres et al. (2006) a seleção de culturas é importante para o manejo eficiente da doença pois algumas
547 culturas usadas para este fim podem aumentar a gravidade da doença, como ocorreu com as coberturas vegetais

548 de milho, aveia preta, mandioca, e pousios que não foram eficazes na supressão da doença e apresentaram
549 maior incidência e severidade da doença.

550 A cultura do milho apresentou maior índice de doença e colonização por patógenos sobre as manivas,
551 vale ressaltar que o cultivo do milho é frequente em monocultura gerando aumento da incidência de populações
552 de patógenos, e no presente estudo comprovou esta situação, corroborando com os resultados encontrado por
553 Awoyemi et al. (2016) em que a consorciação do milho com a mandioca não possuiu potencial de manejo no
554 desenvolvimento da podridão radicular. Entretanto, diferencia-se do encontrado por Barros et al. (2014) e
555 Medeiros et al. (2019) que apresentou-o como um dos possíveis coberturas vegetais que podem influenciar na
556 supressão do solo quando em consorcio com feijão e mandioca, no entanto o plantio desse planta era por um
557 longo período diferentemente do que ocorreu no presente estudo.

558 Ao testar o tratamento (MA-MA-MA-MA), houve maiores frequência de incidência externa de
559 patógenos no material de propagação. Pois como Abawi e Widmer (2000) relataram que doenças de raízes, são
560 predominantes quando as culturas suscetíveis são usadas em uma sequência gerando o acúmulo de altas
561 densidades populacionais de patógenos de planta. Por isso deve-se considerar os fatores que são influentes na
562 seleção de culturas que afetam a qualidade e quantidade de resíduos incorporados ou deixados sob o solo, são:
563 sequência de cultivo e a periodicidade da rotação de culturas (ciclos curtos X ciclos longos) e o manejo da
564 cultura (pousio, arado etc).

565 Os resultados confirmam a necessidade de manejo como rotação de culturas com o consórcio para
566 diminuição da severidade, pois quando se compara aos solos de monocultura, nota-se que devido a diversidade
567 de plantas usadas em consorciação, sucessão, ocorre uma liberação de diferentes exsudatos no solo o que pode
568 atrair maior número e diversidade de microrganismos envolvidos na supressão do solo (Friberg, Lagerlof e
569 Ramert, 2005). Além disso tanto esse manejo como os pousios podem diminuir a densidade do inóculo do
570 patógeno no solo, reduzindo sua capacidade de sobrevivência, privando o patógeno de seu hospedeiro.

571 Os tratamentos indicados como melhores coberturas vegetais incorporadas ao solo por
572 proporcionaram melhores características agronômicas são conhecidas como leguminosas e são caracterizadas
573 pela baixa relação C/N, por isso, são facilmente decompostos pelos microrganismos, o que resulta na rápida
574 liberação de nutrientes e melhora a estrutura do solo (Martens e Entz 2011) resíduos de culturas com baixa
575 relação C/N foram muito eficazes no controle de alguns fungos como *Verticillium* spp., *T. basicola* e
576 *Phytophthora* spp. (Candole e Rothorock 1997; Bonanomi et al. 2007). Estes compostos ricos em nitrogênio
577 podem reduzir doenças transmitidas pelo solo, pois liberam aleloquímicos tóxicos ou inibitórios durante a

578 decomposição microbiana, estimulando populações antagonistas presentes no solo (Bailey e Iazarovits 2003).
579 Apesar nestes trabalhos citados apresentarem ação de supressão a patógenos, não observou-se essa ação com
580 o emprego das diferentes coberturas vegetais e o tipo de manejo utilizado, porém afetou positivamente o vigor,
581 altura e peso de raízes e parte aérea das variedades de mandioca BRS Kiriris e BRS Formosa.

582 Enquanto a incorporação no solo de crotalária, mandioca, aveia preta e pousios, revelaram-se como
583 características de culturas conduzidas. Esse efeito negativo é frequentemente associado ao aumento dos
584 inóculos patogênicos e oomicetos, pois esses materiais incorporados forneceram substratos para o crescimento
585 saprofito dos fitopatógenos (Bonanomi et al. 2007; Manici et al. 2004). Além disso resíduos vegetais não
586 compactados apresentam maior fitotoxicidade. Em uma revisão feita por Bonanomi et al. (2007), pesquisando
587 diversos trabalhos envolvendo a fitotoxicidade causadas pelo uso de resíduos de cultura, encontrou que resíduos
588 de cultura causavam bem mais fitotoxicidade do que resíduos orgânicos, compostos e turfa. E que este tipo de
589 material foi supressivo em 45% dos casos estudados mas aumentou a doença em 28% e a população dos
590 patógenos em 34% dos casos (Bonanomi et al. 2007).

591 Como relatado anteriormente em estudos com diferentes coberturas vegetais, Barros et al. (2014),
592 constatou que o consórcio feijão caupi e milho foi o mais eficiente na supressão contra a podridão radicular
593 causada por *Fusarium solani*. Enquanto, Medeiros et al. (2019) demonstrou que solos consorciados apresentam
594 maior capacidade de suprimir a podridão negra do que a monocultura. Tanto Barros et al. (2014) e Medeiros
595 et al. (2019), cultivaram a planta feijão caupi como um dos melhores para plantios consorciados a mandioca,
596 confirmando os resultados positivos quanto aos efeitos nas características agrônomicas e na redução de
597 incidência de patógenos sobre as manivas, comportando-se como possível cultura que poderá ser usada em
598 consorciação a mandioca. Vale salientar que as atuais pesquisas envolvendo coberturas vegetais a
599 supressividade do solo contra a podridão radicular da mandioca são designadas a um patógeno específico,
600 enquanto o presente estudo é o efeito sobre um complexo de diferentes patógenos tanto de podridão radicular
601 seca como negra. Logo, a reação dos microrganismos serão diferentes ao efeito da incorporação das coberturas
602 vegetais, pois alguns se beneficiarão enquanto outros apresentaram efeito contrário, podendo levar a uma
603 redução parcial da doença.

604 Apesar da incorporação de diferentes tipos de coberturas vegetais não evidenciarem uma supressão
605 na doença, apresentaram potencial para ser utilizada no sistema de manejo integrado de doença. Pois a
606 incorporação no solo de feijão caupi, feijão de porco e amendoim demonstraram melhorias significativas nas
607 características agrônomicas das variedades de mandioca, sendo interessante associá-las a rotação de culturas

608 ou mesmo a sucessão de cultivos, novos estudos poderão ser feitos para buscar possíveis fatores bióticos e
609 abióticos que contribuam para a supressão do solo contra as podridões radiculares da mandioca.

610 **5. Agradecimentos**

611 Agradeço a Fundação de Amparo à pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pelo apoio financeiro, a Embrapa
612 Mandioca e Fruticultura pela infraestrutura para desenvolvimento do trabalho e a Universidade Federal do
613 Recôncavo da Bahia pelo curso ofertado.

614

615 **6. Referências**

616 Abawi G. S., Widmer T. L. (2000). Impact of soil health management practices on soilborne pathogens,
617 nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied soil ecology*, 15(1), 37-47.
618 [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00070-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00070-6)

619 Alvarado I. D., Michereff S. J., Mariano R. L., Silva A. M., & Nascimento C. W. (2007). Caracterização de
620 solos de Pernambuco quanto à supressividade a *Pectobacterium carotovorum* subsp.
621 *carotovorum*. *Fitopatologia Brasileira*, 32(3), 222-228. <https://doi.org/10.1590/S0100-41582007000300006>

622 Arshad M. A., & Martin S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-
623 ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 153-160. [https://doi.org/10.1016/S0167-](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00252-3)
624 [8809\(01\)00252-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00252-3)

625 Assunção I. P., Michereff S. J., Brommonschenkel, S. H., Eloy A. P., Rocha Júnior O. M., Duda G. P., ... &
626 Rodrigues J. J. (2003). Caracterização de solos de Pernambuco quanto a supressividade à murcha-de-fusário
627 do caupi. *Summa Phytopathologica, Botucatu*, 29(2), 161-167.

628 Awoyemi S. O., Afolabi C. G., Popoola A. R., Odedina J. N., & Adigbo S. O. (2016). Performances of
629 improved cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivars against root rot disease and yield in cassava-maize
630 intercropping systems under natural infection. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 49(15-16),
631 386-401. <https://doi.org/10.1080/03235408.2016.1221561>

632 Bailey K. L., & Lazarovits G. (2003). Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic
633 amendments. *Soil and tillage research*, 72(2), 169-180. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00086-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00086-2)

- 634 Barros J. A., Medeiros E. V., Notaro K. A., Moraes W. S., Silva J. E. M., Nascimento T. C., & Moreira, K.
635 A. (2014). Different cover promote sandy soil suppressiveness to root rot disease of cassava caused by
636 *Fusarium solani*. *African Journal of Microbiology Research*, 8(10), 967-973.
637 <https://doi.org/10.5897/AJMR2014.6607>
- 638 Bettiol W.; Ghini R. (2005). Solos Supressivos. In: Michereff, S. J. *et al.*, *Ecologia e Manejo de Patógenos*
639 *Radiculares em Solos Tropicais* (p. 125-152). UFRPE, Imprensa Universitária.
- 640 Boas S. A. V., Hohenfeld C. S., de Oliveira S. A. S., da Silva Santos V., & de Oliveira, E. J. (2016). Sources
641 of resistance to cassava root rot caused by *Fusarium* spp.: a genotypic approach. *Euphytica*, 209(1), 237-251.
642 DOI 10.1007/s10681-016-1676-4
- 643 Bonanomi G., Antignani V., Pane C., & Scala, F. (2007). Suppression of soilborne fungal diseases with organic
644 amendments. *Journal of Plant Pathology*, 311-324. <http://www.jstor.org/stable/41998409>. Acessado em 11 de
645 novembro de 2020.
- 646 Brito A. C. Q., de Mello J. F., Câmara M. P. S., Vieira J. C. B., Michereff S. J., Souza-Motta C. M., & Machado
647 A. R. (2020). Diversity and pathogenicity of Botryosphaeriaceae species associated with black root rot and
648 stem cutting dry rot in *Manihot esculenta* in Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, 157(3), 583-598.
649 <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02024-7>
- 650 Candole B. L., & Rothrock C. S. (1997). Characterization of the suppressiveness of hairy vetch-amended soils
651 to *Thielaviopsis basicola*. *Phytopathology*, 87(2), 197-202. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.2.197>
- 652 De Corato, Ugo. Disease-suppressive compost enhances natural soil suppressiveness against soil-borne plant
653 pathogens: A critical review. *Rhizosphere*, v. 13, p. 100192, 2020.
- 654 de Medeiros E. V., Notaro K. D. A., de Barros J. A., Duda G. P., Moraes M. D. C. H. D. S., Ambrósio M. M.
655 D. Q., Sales Júnior R. (2019). Soils from intercropped fields have a higher capacity to suppress black root rot
656 in cassava, caused by *Scytalidium lignicola*. *Journal of Phytopathology*, 167(4), 209-217.
657 <https://doi.org/10.1111/jph.12788>
- 658 Fang X., You M. P., & Barbetti M. J. (2012). Reduced severity and impact of *Fusarium* wilt on strawberry by
659 manipulation of soil pH, soil organic amendments and crop rotation. *European journal of plant*
660 *pathology*, 134(3), 619-629.

- 661 FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2020). FAOSTAT database. FAO, Rome,
662 Italy. Cassava. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 12 fev. 2020.
- 663 Fischler M., Wortmann C. S., & Feil B. (1999). *Crotalaria* (*C. ochroleuca* G. Don.) as a green manure in maize–
664 bean cropping systems in Uganda. *Field Crops Research*, *61*(2), 97-107. [https://doi.org/10.1016/S0378-](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00150-6)
665 4290(98)00150-6
- 666 Friberg H., Lagerlöf J., & Rämert, B. (2005). Influence of soil fauna on fungal plant pathogens in agricultural
667 and horticultural systems. *Biocontrol Science and Technology*, *15*(7), 641-658.
668 [https://doi: 10.1080/09583150500086979](https://doi:10.1080/09583150500086979)
- 669 Fukuda W. M. G., de Oliveira S., & Iglesias C. (2002). Cassava breeding. *Crop Breeding and Applied*
670 *Biotechnology*, *2*(4). DOI:10.12702/1984-7033.v02n04a18
- 671 Fukuda W. M. G.; Guevara C. L. (1998) Descritores morfológicos e agronômicos para a caracterização de
672 mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Cruz das Almas: EMBRAPA – CNPMF, 38p.
- 673 Garbeva P. V., Van Veen J. A., & Van Elsas J. D. (2004). Microbial diversity in soil: selection of microbial
674 populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annual. Review of*
675 *Phytopathology.*, *42*, 243-270.
- 676 Ghorbani R., Wilcockson S., Koocheki A., & Leifert C. (2009). Soil management for sustainable crop disease
677 control: a review. *Organic farming, pest control and remediation of soil pollutants*, 177-201.
- 678 Hartwig N. L., & Ammon H. U. (2002). Cover crops and living mulches. *Weed science*, *50*(6), 688-699.
679 [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0688:AIACCA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0688:AIACCA]2.0.CO;2)
- 680 Hohenfeld C. S., Santana M. P., Junior L. R. C., de Oliveira E. J., & de Oliveira S. A. S. (2018). Modelling
681 growth characteristics and aggressiveness of *Neoscytalidium hyalinum* and *Fusarium solani* associated with
682 black and dry root rot diseases on cassava. *Tropical Plant Pathology*, *43*(5), 422-432.
683 <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0228-y>
- 684 Hornby D. (1983). Suppressive soils [biological control of plant pathogens]. *Annual review of phytopathology*.
685 21: 65-85.

- 686 Kasuya M., Olivier A. R., Ota Y., Tojo M., Honjo H., & Fukui R. (2006). Induction of soil suppressiveness
687 against *Rhizoctonia solani* by incorporation of dried plant residues into soil. *Phytopathology*, *96*(12), 1372-
688 1379. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-1372>
- 689 Kinkel L. L., Bakker M. G., & Schlatter D. C. (2011). A coevolutionary framework for managing disease-
690 suppressive soils. *Annual review of phytopathology*, *49*, 47-67.
- 691 Lamichhane J. R., & Varvaro L. (2013). A new medium for the detection of fluorescent pigment production
692 by pseudomonads. *Plant pathology*, *62*(3), 624-632. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02670.x>
- 693 Li S., Cui Y., Zhou Y., Luo, Z., Liu J., & Zhao, M. (2017). The industrial applications of cassava: current
694 status, opportunities and prospects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *97*(8), 2282-2290.
695 <https://doi.org/10.1002/jsfa.8287>
- 696 Machado A. R., Pinho D. B., de Oliveira S. A., & Pereira O. L. (2014). New occurrences of Botryosphaeriaceae
697 causing black root rot of cassava in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, *39*(6), 464-470.
698 <https://doi.org/10.1590/S1982-56762014000600008>. Acessado em 11 de novembro de 2020.
- 699 Machado A. R.; Brito A. C.; Melo J. F. (2018). Podridões fúngicas de raízes tuberosas no Nordeste brasileiro:
700 etiologia e manejo. In: LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. *Desafios do Manejo de Doenças Radiculares*
701 *Causadas por Fungos*, (p. 95, 2018). Recife: Ed ufrpe.
- 702 Manici L. M., Caputo F., & Babini V. (2004). Effect of green manure on *Pythium* spp. population and microbial
703 communities in intensive cropping systems. *Plant and Soil*, *263*(1), 133-142.
704 <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000047720.40918.29>
- 705 Mazzola M. (2002). Mechanisms of natural soil suppressiveness to soilborne diseases. *Antonie van*
706 *Leeuwenhoek*, *81*(1-4), 557-564. <https://doi.org/10.1023/A:1020557523557>
- 707 Mazzola M., Granatstein D. M., Elfving D. C., & Mullinix K. (2001). Suppression of specific apple root
708 pathogens by *Brassica napus* seed meal amendment regardless of glucosinolate
709 content. *Phytopathology*, *91*(7), 673-679. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2001.91.7.673>

- 710 Mazzola M., & Gu Y. H. (2002). Wheat genotype-specific induction of soil microbial communities suppressive
711 to disease incited by *Rhizoctonia solani* anastomosis group (AG)-5 and AG-8. *Phytopathology*, 92(12), 1300-
712 1307.
- 713 Mombo S., Dumat C., Shahid M., & Schreck E. (2017). A socio-scientific analysis of the environmental and
714 health benefits as well as potential risks of cassava production and consumption. *Environmental Science and*
715 *Pollution Research*, 24(6), 5207-5221. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8190-z>.
- 716 Notaro K. A., Medeiros E. V, Silva, C. A. D., & Barros J. A. (2013). Prospecting of Phytopathogens Associated
717 To Cassava Root Rot in the State of Pernambuco, Brazil. *Bioscience Journal*, 29(6), 1832–1839.
718 <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/21999>. Acessado em 11 de novembro de
719 2020.
- 720 Oliveira S. A. S. D., Hohenfeld, C. S., Santos V. D. S., Haddad F., & Oliveira, E. J. D. (2013). Resistance to
721 *Fusarium* dry root rot disease in cassava accessions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(10), 1414-1417.
722 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013001000014>
- 723 Onyeka T. J., Dixon A. G. O., & Ekpo E. J. A. (2005). Assessment of laboratory methods for evaluating cassava
724 genotypes for resistance to root rot disease. *Mycopathologia*, 159(3), 461-467. DOI: 10.1007/s11046-004-
725 6156-z
- 726 Pérez-Piqueres A., Edel-Hermann V., Alabouvette C., & Steinberg, C. (2006). Response of soil microbial
727 communities to compost amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), 460-470.
728 <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.05.025>
- 729 Prusky D., & Keen N. T. (1993). Involvement of preformed antifungal compounds in the resistance of
730 subtropical fruits to fungal decay. *Plant Dis*, 77(2), 114-119.
- 731 Santiago C. H., Santana M. P., Cairo Junior L. R., Oliveira S. A. S. D., & Oliveira E. J. D. (2018).
732 Methodologies for selecting cassava with resistance to dry and black root rot under controlled
733 conditions. *Bragantia*, 77(3), 440-451. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017298>

- 734 Silva J. M. D., Medeiros E. V. D., Duda G. P., Barros J. A. D., & Santos U. J. D. (2017). FAMES and microbial
735 activities involved in the suppression of cassava root rot by organic matter. *Revista Caatinga*, 30(3), 708-717.
736 <https://doi.org/10.1590/198321252017v30n319rc>
- 737 St Martin C. C. G.; (2015) Ramsubhag, A. Potential of compost for suppressing plant diseases. **Natural**
738 **products for sustainable crop disease management. CAB International, Wallingford**, p. 345-388.
- 739 Thiessen Martens J., & Entz M. (2011). Integrating green manure and grazing systems: A review. *Canadian*
740 *Journal of Plant Science*, 91(5), 811-824. <https://doi.org/10.4141/cjps10177>
- 741 Tilston E. L., Pitt D., Fuller, M. P., & Groenhof A. C. (2005). Compost increases yield and decreases take-all
742 severity in winter wheat. *Field Crops Research*, 94(2-3), 176-188.
- 743 Tilston, E. L., Pitt, D., & Groenhof, A. C. (2002). Composted recycled organic matter suppresses soil-borne
744 diseases of field crops. *New Phytologist*, 154(3), 731-740. <https://doi.org/10.1046/j.1469.8137.2002.00411.x>

Considerações Finais

As incorporações ao solo de material vegetal de feijão caupi, feijão de porco e amendoim ao longo dos ciclos de cultivo proporcionaram melhorias significativas nas características agronômicas da mandioca, o que pode ser indicativo do potencial de utilização em um sistema de manejo integrado das doenças.

A incorporação de material vegetal como milho, aveia preta e mandioca ao longo dos ciclos indicaram aumento do nível de doença e colonização dos patógenos radiculares, demonstrando a priori serem condutivos a podridão radicular, porém é necessário novos testes de avaliação.

Pela análise de componentes principais, a incorporação de feijão de porco propiciou as maiores populações de bactérias totais, bactérias produtoras de endósporos e bactérias produtoras de sideróforos, porém não evidenciou uma relação consistente com os níveis de supressividade do solo.

Diante dos resultados é necessário novas metodologias de avaliação para verificar a supressividade no solo com doenças de podridões radiculares, além de um ciclo de cultivo com maior tempo de plantio, afim de contribuir para um melhor manejo de doença adotando a indução da supressividade do solo por meio da incorporação de material vegetal.

ANEXO

Tabela 1: Dados da análise química do solo

PADRÕES AVALIADOS	RESULTADOS
pH (H ₂ O)	5,14
P	50,8 mg/dm ³
K	235 cmolc/dm ³
Ca	3,25cmolc/dm ³
Mg ²⁺	2,29cmolc/dm ³
Ca+Mg	5,54 cmolc/dm ³
Al ³⁺	0,00 cmolc/dm ³
Na	0,46 cmolc/dm ³
H + Al	3,3 cmolc/dm ³
SB	6,14 cmolc/dm ³
CTC	9,56 cmolc/dm ³
V	64%
MO	24 g/kg

P= fósforo, K= Potássio, Ca= cálcio, Mg²⁺= magnésio, Al³⁺= alumínio trocável, SB = Soma de Bases Trocáveis, V= Índice de Saturação por Bases, MO= Matéria Orgânica, CTC= capacidade de troca de cátions.