

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

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE SOLOS SOB  
CULTIVO ORGÂNICO DE FRUTÍFERAS TROPICAIS NO  
SEMIÁRIDO BAIANO, E POTENCIAL PARA PROMOÇÃO  
DE CRESCIMENTO VEGETAL POR SUA COMUNIDADE  
BACTERIANA**

**LUANA SILVA CERQUEIRA**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
2021**

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE SOLOS SOB CULTIVO  
ORGÂNICO DE FRUTÍFERAS TROPICAIS NO SEMIÁRIDO  
BAIANO, E POTENCIAL PARA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO  
VEGETAL POR SUA COMUNIDADE BACTERIANA**

**LUANA SILVA CERQUEIRA**

Engenheira agrônoma

Universidade Estadual de Santa Cruz, 2003

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

**Orientadora:** Profa. Dra. Carla da Silva Sousa

**Coorientador:** Prof. Dr. Aldo Vilar Trindade

**Coorientador:** Prof. Dr. Harllen Sandro Alves Silva

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

C416a	<p>Cerqueira, Luana Silva.</p> <p>Atributos microbiológicos de solos sob cultivo orgânico de frutíferas tropicais no Semiárido Baiano, e potencial para promoção de crescimento vegetal por sua comunidade bacteriana / Luana Silva Cerqueira_ Cruz das Almas, Bahia, 2021.</p> <p>99f.; il.</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Doutorado em Ciências Agrárias.</p> <p>Orientadora: Profª Drª. Carla da Silva Sousa.</p> <p>Coorientador: Prof. Dr. Aldo Vilar Trindade.</p> <p>Coorientador: Prof. Dr. Harlien Sandro Alves Silva</p> <p>1.Solos – Microorganismos do solo – Manejo. 2.Frutas – Cultivo. 3.Semiárido – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Luana Silva Cerqueira. III.Título.</p> <p>CDD: 631.46</p>
-------	---

Ficha elaborada pela Biblioteca Central de Cruz das Almas - UFRB.  
Responsável pela Elaboração - Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615) &  
Neubier Nilo Ribello da Cunha (Bibliotecário - CRB5/1578) .  
(os dados para catalogação foram enviados pela usuária via formulário eletrônico).

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

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE SOLOS SOB CULTIVO  
ORGÂNICO DE FRUTÍFERAS TROPICAIS NO SEMIÁRIDO, E  
POTENCIAL PARA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL  
POR SUA COMUNIDADE BACTERIANA**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE TESE DE  
LUANA SILVA CERQUEIRA**

Aprovada em 18 de junho de 2021

Profa. Dra. Carla da Silva Sousa  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano  
Examinador Interno (Orientadora)

Profa. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Examinador Interno

Prof. Dr. Eduardo Gross  
Universidade Estadual de Santa Cruz  
Examinador Externo

Prof. Dr. Quintino Reis de Araujo  
Universidade Estadual de Santa Cruz  
Examinador Externo

Prof. Dr. Francisco de Sousa Lima  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano  
Examinador Externo

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus queridos pais, Antonio e Conceição, com muito amor, pelo esforço de proporcionar a seus filhos condições para o ingresso na educação pública de qualidade, imprescindível à minha formação profissional, e ainda pelo exemplo de vida e ensinamentos recebidos ao longo da minha existência, dedico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom de uma vida imensamente abençoada, e por me guiar até aqui com a confiança e a sabedoria de entender e aceitar seus planos;

Aos meus familiares, especialmente pais e irmãos, pelo carinho e incentivo recebidos, mas não menos importantes todos os demais elos;

Aos colegas de laboratório, Cesar, Flávia, Laryssa, Adrielle, Fernando, Fabiane, Monikuely... pela colaboração em momentos cruciais;

Aos amigos de Cruz das Almas, que de maneira muito especial ajudaram a proporcionar um pouco mais de leveza, extremamente necessária para a condução dessa jornada que agora concluo. Em especial Adriana, Juli, Adriano, Maria, Fabiana, Marcos, Tâmara, Gean... e à todos àqueles que por meio de contatos, ainda que menos frequentes, contribuíram de alguma forma na construção gradual dessa empreitada;

À Embrapa Mandioca e Fruticultura pelo apoio estrutural e de conhecimento técnico intelectual, em especial à pessoa de dr. Aldo Trindade, idealizador e colaborador direto na orientação para o desenvolvimento deste trabalho; da mesma forma à dr. Harllen pelas importantes contribuições no desenvolvimento do 3º capítulo desta tese; à Carlos Ledo, pela disponibilidade em sanar dúvidas referentes às análises estatísticas; aos pesquisadores Dr. Alisson, Túlio, Nelson e Ana Lúcia. Aos analistas técnicos Nafez, Leandro, Cícera, Andresa, e especialmente Luciano, responsável pelo Laboratório Microbiologia do solo e resíduos orgânicos, no qual a maior parte do presente estudo foi desenvolvido. Demais funcionários: João, Fátima, George, os Roque's, Sr. Paulo, Pedro, Magno, dentre outros. Também à Biofábrica CAMPO (Companhia de Produção Agrícola – SA), pela cessão das mudas de bananeira 'BRS Princesa', e espaço físico e de pessoal, primordiais ao desenvolvimento dos ensaios referentes à promoção de crescimento vegetal por bactérias;

À professora Carla, por me acolher como orientada, e dar contribuições fundamentais;

À Empresa privada Bioenergia Orgânicos, pela possibilidade de realização dos estudos em seus solos, nos quais a Embrapa possui campo experimental

para desenvolvimento de sistemas orgânicos de produção. Em especial à figura de Pâmela, com quem mantive troca constante de informações;

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudos;

E à todos aqueles que compartilharam os momentos bons e me incentivaram nos difíceis, meu muito obrigada!

## **EPIFRASE**

“Porque cada um, independente das habilitações que tenha, ao menos uma vez na vida fez ou disse coisas muito acima da sua natureza e condição, e se a essas pessoas pudéssemos retirar do cotidiano pardo em que vão perdendo os contornos, ou elas a si próprias se retirassem de malhas e prisões, quantas mais maravilhas seriam capazes de obrar, que pedaços de conhecimento profundo poderiam comunicar, porque cada um de nós sabe infinitamente mais do que julga e cada um dos outros infinitamente mais do que neles aceitamos reconhecer”

**José Saramago**

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>2</b>
1. Agroecologia e agricultura orgânica	2
2. Funções e importância da microbiota do solo para a agricultura orgânica e a qualidade desse ecossistema	4
3. Fatores que afetam os microrganismos e sua atividade no solo.	6
4. Indicadores microbiológicos do solo	8
4.1 Biomassa Microbiana	11
4.1.1 Carbono da biomassa microbiana (CBiom)	11
4.1.2 Fósforo da biomassa microbiana	12
4.2 Respiração basal do solo	12
4.3 Índices derivados	13
4.3.1 Quociente metabólico do solo (qCO <sub>2</sub> )	13
4.3.2 Quociente microbiano do solo (qMic)	14
4.4 Atividade enzimática do solo	14
4.4.1 β-glucosidase	15
4.4.2 Fosfatase ácida.	16
4.4.3 Arilsulfatases	16
4.4.4 Hidrólise de diacetato de Fluoresceína (FDA)	17
4.5 Densidade de esporos de fungos micorrízicos asburculares(DEFMA)	17
5. Uso de bioinoculantes na agricultura	18
5.1 Bactérias promotoras do crescimento de plantas	19
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>21</b>
<b>ARTIGO 1</b>	
Atributos microbiológicos do solo influenciados pelo cultivo orgânico de <i>Mangífera indica L.</i> e <i>Ananas comosus L</i>	30
<b>ARTIGO 2</b>	
Atributos microbiológicos de solos sob sistema orgânico de produção de bananeira ( <i>Musa spp.</i> ) 'BRS Princesa'	52
<b>ARTIGO 3</b>	
Potencial de bactérias de solo sob cultivo orgânico de frutíferas tropicais, para a promoção do crescimento de mudas de bananeira ( <i>Musa spp.</i> ) 'BRS Princesa'	76
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>99</b>

# ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE SOLOS SOB CULTIVO ORGÂNICO DE FRUTÍFERAS TROPICAIS NO SEMIÁRIDO BAIANO, E POTENCIAL PARA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL POR SUA COMUNIDADE BACTERIANA

Autor(a): Luana Silva Cerqueira  
Orientador(a): Dra. Carla da Silva Sousa

**RESUMO:** A microbiota do solo participa de processos biológicos fundamentais à dinâmica de agroecossistemas, que a torna sensível a alterações ocorridas nesses ambientes. Neste contexto, objetivou-se com esse trabalho: 1. Selecionar atributos microbiológicos como ferramenta de monitoramento da qualidade de solos sob cultivo orgânico de mangueiras (*Mangifera indica* L.) 'Ubá', 'Palmer', 'Espada' e 'Roxa-Embrapa'; abacaxizeiros (*Ananas comosus* L.) 'Pérola' e 'BRS Imperial'; e bananeiras (*Musa* spp.) 'BRS Princesa', tomando-se como referência condição sob mata nativa, e mata em regeneração (capoeira); e 2. Avaliar o potencial de microbiota oriunda destes solos para promoção do crescimento de mudas de bananeira 'BRS Princesa'. Para tanto, amostras de solo foram coletadas na camada 0-0,20m de profundidade, e quantificadas a atividade das enzimas  $\beta$ -glucosidases, fosfatase ácida, arilsulfatases, e atividade enzimática total (FDA); determinados os conteúdos de C e P na biomassa microbiana; carbono orgânico total; respiração basal do solo; quocientes microbiano e metabólico; e densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, em duas épocas, setembro de 2018 e abril de 2019. A atividade das  $\beta$ -glucosidases e arilsulfatases, conteúdos de carbono da biomassa, quocientes metabólico e microbiano, apresentaram maior sensibilidade às alterações antrópicas. E condições sob cultivo de mangueira 'Roxa Embrapa' foram as que mais se aproximaram daquelas encontradas na mata nativa. Dos solos estudados, foram obtidos isolados bacterianos, identificados como positivos quanto a capacidade de síntese de ácido indolacético *in vitro*, e combinados em três mix de bactérias para realização de experimento em casa de vegetação. Os tratamentos se constituíram

da microbiolização dos substratos duas vezes por semana, ou pela alternância entre microbiolização e fertilização, tendo como testemunhas um controle apenas fertilizado (C1) e outro apenas irrigado (C1). O arranjo foi em delineamento em blocos inteiramente casualizados, com 30 repetições por tratamento, sendo 10 repetições para cada época de avaliação, aos 30, 40 e 46 dias da aclimatização. Os parâmetros de crescimento avaliados foram: altura da parte aérea (ALT), diâmetro do pseudocaule (DIAM); massa seca da raiz (MSR) e parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), e relação entre massa seca de raiz e parte aérea (MSRPA). O sequenciamento do material genético das bactérias, possibilitou a identificação de quatro gêneros: *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Bacillus* e *acinetobacter*. Os combinados bacterianos demonstraram eficiência como promotores do crescimento em mudas de bananeira (*Musa* spp.) 'BRS Princesa', com destaque para a combinação mix3 (isolados 180499 + *Bacillus* + *Pseudomonas* + *acinetobacter*, em igual proporção). Considerando que o estágio fisiológico das plantas é importante para essa funcionalidade, os resultados demonstraram a relevância do estudo por um período superior a 46 dias, além de intervalos mais espaçados entre as microbiolizações.

**Palavras chave:** Atividade enzimática microbiana; Biomassa microbiana; Fruticultura orgânica; Microrganismos benéficos; Qualidade do solo

# MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS UNDER ORGANIC FARMING OF TROPICAL FRUITS IN THE SEMIARID OF BAHIA STATE, AND THEIR POTENTIAL TO PROMOTE PLANT GROWTH BY THEIR BACTERIAL COMMUNITY

Autor(a): Luana Silva Cerqueira

Orientador(a): Dr. Carla da Silva Sousa

**ABSTRACT:** Soil microbiota has a key role in biological processes in the dynamics of agro-ecosystems, making it sensitive to changes occurring in these environments. In such a context, this study aimed to: 1. select microbiological properties as quality monitoring tools for soils under organic cultivation of mangoes (*Mangifera indica* L.) 'Ubá', 'Palmer', 'Espada', and 'Roxa Embrapa'; pineapples (*Ananas comosus* L.) 'Pérola' and 'BRS Imperial'; as well as banana (*Musa* spp.) 'BRS Princesa', having as reference the conditions under native forest, and regenerating forest (capoeira); and 2. evaluate the potential of the soil microbiota to promote the growth of banana seedlings 'BRS Princesa'. To this end, soil samples were collected from the 0-0.20 m depth layer. The samples were measured for  $\beta$ -glucosidase, acid phosphatase, arylsulfatase, and total (FDA) enzyme activities; carbon and phosphorus contents in microbial biomass; total organic carbon content; basal soil respiration; microbial and metabolic quotients; and arbuscular mycorrhizal fungi spore density. The measurements were made in two seasons, September 2018, and April 2019. The activities of  $\beta$ -glucosidase and arylsulfatase, as well as carbon contents in the biomass and metabolic and microbial quotients, were more sensitive to anthropogenic changes. Soil conditions under 'Roxa Embrapa' mango plantation were the closest to those in native forest. From the studied soils, bacterial isolates were obtained. Those producing amounts above  $40 \mu\text{g.mL}^{-1}$  indoleacetic acid *in vitro*, were combined into three bacterial mixes for a further greenhouse experiment. Treatments consisted of substrate microbiolization twice a week, or alternation between microbiolization and fertilization, having as controls one treatment only fertilized (C1) and another only irrigated (C1). The experiment was arranged in a fully randomized block design, with 30 replications per treatment, 10 for each evaluation time (at 30, 40, and 46 days of acclimatization). Plant growth parameters evaluated were: shoot height

(ALT), pseudostem diameter (DIAM), root dry mass (MSR), shoot dry mass (MSPA), total dry mass (MST), and root and shoot dry mass ratio (MSRPA). Four genera were identified by genetic sequencing of the bacterial microbiota, namely: *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Bacillus*, and *Acinetobacter*. Bacterial combinations were efficient in promoting the growth of banana (*Musa* spp.) seedlings 'BRS Princesa', especially the mix3 (isolate 180499 + *Bacillus* + *Pseudomonas* + *Acinetobacter*, at equal proportions). As plant physiological stage is important for such functionality, periods longer than 46 days should be analyzed, in addition to more spaced intervals between microbiolizations.

**Keywords:** Microbial enzymatic activity; Microbial biomass; Organic fruit growing; Beneficial microorganisms; Soil quality

## INTRODUÇÃO

A fruticultura é uma atividade agrícola de significativa importância social e econômica, com expressiva geração de emprego e renda, e crescente demanda da sociedade por sua produção sob sistemas conservacionistas, o que impulsiona a pesquisa científica a respeito de tecnologias de produção ambientalmente sustentáveis. Os diversos tipos de solos e climas, associados à enorme quantidade de terras disponíveis, contribuem para que a fruticultura se destaque no setor agrícola brasileiro, com produção durante todo o ano e grande variedade de espécies produzidas (GERUM *et al.*, 2019).

A produção agrícola sustentável está associada à preocupação com a qualidade dos solos, passível de ser avaliada por meio de indicadores que expressem alterações ocasionadas pelo seu manejo. Nesse ínterim, os atributos microbiológicos possuem alta sensibilidade, e conseqüentemente, indicação mais dinâmica de alterações (KNUPP *et al.*, 2010). Podem ser, portanto, ferramentas eficazes no monitoramento da qualidade de solos ao longo do tempo, e em condições edafoclimáticas e de sistemas de produção específicos.

As plantas estabelecem relações complexas com uma variedade de microrganismos do solo. Alguns destes microrganismos promovem diversos benefícios às plantas, como incrementos ao seu crescimento, e maior tolerância a estresses bióticos e abióticos. São os denominados microrganismos promotores de crescimento vegetal (LUGTENBERG; KAMILAVA, 2009). Esses microrganismos atuam na promoção do crescimento por meio de efeitos biofertilizantes (fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfato e zinco, biodisponibilização de enxofre), bioestimulantes (produção de fitormônios) e de biocontrole (proteção contra microrganismos fitopatogênicos) (BERG *et al.*, 2013).

A procura por microrganismos benéficos ao crescimento vegetal, e como agentes de biocontrole, tem se configurado como um dos objetivos da pesquisa agrícola na busca por sistemas de produção conservacionistas e produtivos, e se configurado como estratégia de manejo que não causa danos maiores ao meio ambiente. Da mesma forma, o monitoramento da biomassa e atividade microbiana, pode detectar alterações determinísticas na qualidade dos solos, e estabelecer relação confiável entre seu uso e a sustentabilidade dos sistemas.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### 1. A AGROECOLOGIA E A AGRICULTURA ORGÂNICA

Assis e Romero (2002) enfatizam que o termo agroecologia, apesar de ter surgido ao mesmo tempo que as diferentes correntes da agricultura conservacionista, não deve ser confundido como sistema de produção, pois tem significado mais amplo. Se constitui em ciência que corrobora para compreender o funcionamento de agroecossistemas complexos, e a infinidade de interações neles existentes, reponsáveis por atribuir-lhes características mais semelhantes quanto possível às dos ecossistemas naturais (GLIESSMAN, 2000).

Segundo Altieri (2004), a agroecologia integra princípios agronômicos, ecológicos e socioeconômicos, com objetivo de trabalhar sistemas agrícolas nos quais as interações ecológicas e sinergismos entre os componentes biológicos criem, eles próprios, condições de fertilidade do solo, sustentabilidade produtiva e proteção das culturas.

Em função de como as práticas agrícolas ocorrem, os limites teóricos da agroecologia são respeitados em maior ou menor grau, e a primeira preocupação deve ser recuperar e manter o equilíbrio biológico (ASSIS; ROMERO, 2002).

Dentre as correntes de produção agrícola, baseadas na utilização dos princípios da agroecologia, têm-se a agricultura orgânica, surgida a partir dos trabalhos realizados pelo inglês Albert Howard, no período compreendido entre 1925 e 1930, o qual ressaltou a importância da matéria orgânica para os solos produtivos, e demonstrou que no solo ocorre uma série de processos vivos e dinâmicos essenciais à saúde e crescimento das plantas (SAMINÉZ *et al.*, 2008).

A lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, descreve sistema orgânico de produção agropecuária como:

“todo aquele em que se adotam técnicas específicas mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente” (BRASIL, 2003).

De outro lado, o uso inadequado de defensivos agrícolas e fertilizantes químicos altamente solúveis, em concomitância com o abuso de técnicas de produção que desconsideram a conservação do solo, da água e do equilíbrio biodiverso, tornam alguns sistemas pouco sustentáveis, despertando o interesse por estudos de metodologias alternativas e eficazes no aumento da produtividade conciliada com a conservação ambiental.

Há, portanto, um cenário favorável para os produtos orgânicos, com tendência positiva no mercado consumidor brasileiro – considerado o maior da América Latina. E as frutíferas fazem parte desse contexto.

Os sistemas produtivos orgânicos corroboram para a recomposição dos processos biológicos no solo. E pesquisas envolvendo a ecologia microbiana dos solos, e as interações benéficas dessa microbiota com as plantas, vêm ganhando cada vez mais importância, com destaque para o uso de microorganismos aplicados ao crescimento vegetal.

Neste sentido, Gomes Júnior *et al.* (2018) avaliaram o efeito da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, e de diferentes doses de composto orgânico da casca de cacau, em mudas seminais de gravioleira tipo 'Morada', e observaram promoção de maior altura, diâmetro do coleto, biomassa seca da parte aérea, da raiz e total, e incremento no teor de P na folha da gravioleira, além de maior número de esporos micorrízicos decorrente da adição de composto orgânico de até 10 g.dm<sup>-3</sup>. Santos (2017) avaliou métodos de encapsulamento de inóculos bacterianos das espécies *Azospirillum brasilense*, *Burkholderia cepacia*, *Bacillus thuringiensis*, *B. megaterium*, *B. cereus*, *B. subtilis*, *Trichoderma spp.*, para verificar o estabelecimento destes microrganismos no solo e, o efeito do seu uso no crescimento de mudas de diversas espécies frutíferas, verificando que os inóculos favoreceram o crescimento das mudas. Silva *et al.* (2018) microbiolizaram bananeiras 'Prata Catarina', nas fases de aclimatização (60 dias) e no cultivo em sacos plásticos (120 dias), observando ganhos em altura, comprimento da raiz, massa seca da raiz, diâmetro do pseudocaule e área foliar das mudas, e concluíram que as BPCV foram capazes de promover o crescimento das mudas por meio da produção de enzimas e sideróforos.

## 2. FUNÇÕES E IMPORTÂNCIA DA MICROBIOTA DO SOLO PARA A AGRICULTURA ORGÂNICA E A QUALIDADE DESSE ECOSISTEMA

Os microorganismos são a parte viva e ativa da matéria orgânica do solo (MOS). Participam de processos biológicos que vão desde a gênese dos solos até a decomposição de resíduos orgânicos, resultando na reciclagem de nutrientes minerais utilizados pelas plantas e depositados em seus tecidos. Paralelamente, os microrganismos atuam em processos que resultam na estabilização de agregados e na formação da MOS, com consequente sequestro de carbono e mitigação de gases de efeito estufa, além de atuarem na biorremediação de áreas contaminadas por poluentes e agrotóxicos, e no controle e supressão biológica de fitopatógenos (MENDES *et al.*, 2019).

Devido à participação em inúmeros processos importantes, é bastante relevante a utilização dessa fração microbiana como indicador sensível e precoce da qualidade dos solos (BRANDINI; SANTOS, 2016). Hoje sabe-se que práticas de manejo que proporcionam a manutenção e a otimização de serviços ecológicos, vêm a resultar em economia no uso de insumos industriais, com aumento de produtividade.

Por sua vez, a planta atua na seleção e atração da biomassa microbiana do entorno de suas raízes, por meio da exsudação de moléculas de baixo peso molecular (ROMAGNOLI; ANDREOTE, 2016). Os microrganismos rizosféricos, podem beneficiar ou prejudicar a planta e assim influenciar diretamente o desenvolvimento das culturas. Dessa forma, cada solo cria condições para o estabelecimento da sua própria sociedade de vegetais e microrganismos, e o grande desafio reside em descrever esses processos e manipulá-los de forma otimizada (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Recentemente, pesquisa iniciada pela Embrapa Meio Ambiente, deu origem a um produto comercial denominado Auras<sup>®</sup>, lançado em 2021, e o primeiro destinado a mitigar efeitos do estresse hídrico em plantas. O produto foi desenvolvido com base em estudos em parceria com a Embrapa Semiárido e a Empresa privada NOAA Ciência e Tecnologia Agrícola. Para tanto, coletaram-se amostras de solos ao longo do bioma Caatinga, em cinco estados: Bahia, Ceará, Piauí, Paraíba e Rio Grande do Norte, analisando a estrutura das comunidades bacterianas do solo, e da rizosfera do mandacaru (*Cereus jamacaru*),

especialmente no decorrer das alterações entre período chuvoso e de seca. Os pesquisadores observaram mudanças nas comunidades bacterianas em decorrência do regime de chuvas, e identificaram grupos caracterizados como dominantes na interação solo-cacto-microrganismo no decorrer do período seco. Bactérias do gênero *Bacillus* se desenvolveram com baixa atividade de água, utilizando mecanismos de proteção contra a dessecação, como a produção de exopolissacarídeos e biofilme, além disso, várias linhagens apresentaram mecanismos de promoção de crescimento de vegetais (KAVAMURA *et al.*, 2013). O que finalmente resultou na seleção da rizobactéria *Bacillus aryabhatai*, com capacidade de promover o crescimento de plantas de milho sob estresse hídrico, sendo o exemplo mais recente de como a biotecnologia está sendo utilizada na construção de uma agricultura moderna, baseada nos próprios ecossistemas naturais, e objetivando agroecossistemas mais equilibrados.

Antranikian *et al.* (2005) e Sulzbacher *et al.*, (2012) salientam que, a diversidade microbiana nativa dos solos da Caatinga, e o seu potencial biotecnológico, ainda são pouco explorados, em detrimento do seu grande potencial, em especial devido à natural adaptação a condições extremas de acidez, altas temperaturas, radiação solar, baixa disponibilidade de água, podendo apresentar, segundo os autores, uma potencial maquinaria enzimática com grande aplicação industrial e seleção de organismos incomuns, com material genético desconhecido.

A adaptação dos microrganismos aos diversos ambientes ocorre de maneira mais rápida do que a dos vegetais, em virtude do ciclo de vida infinitamente mais curto, com a biocenose do solo se modificando segundo o tipo de solo, sua riqueza mineral e orgânica, seu estado de conservação, vegetação predominante, e idade das plantas (PRIMAVESI, 2019). Sendo assim, organismos taxonomicamente similares podem ter funções distintas, de acordo com o ambiente onde se encontram e se desenvolvem (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Ana Primavesi foi pioneira em conciliar o manejo do solo e a ecologia, e brilhantemente ressaltava a necessidade do restabelecimento do equilíbrio do solo e de suas relações com o ambiente. A base da agricultura orgânica é, portanto, o manejo do solo, e neste ínterim, promove sua qualidade todo manejo que favorece a melhoria das suas condições químicas, físicas e biológicas,

garantindo sua capacidade de propiciar o desenvolvimento das culturas, e se manter produtivo ao longo do tempo (ALCÂNTARA, 2017).

O conceito de qualidade de solos mais difundido é aquele proposto por Doran e Parkin (1994), que a definem como sendo a capacidade do recurso solo exercer diversas funções, dentro dos limites do seu uso e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, conservar ou melhorar a qualidade ambiental e dispor de contribuições para a saúde das plantas, dos animais e humana.

Por todas essas razões, atributos microbiológicos têm sido usados, cada vez com mais frequência, como indicadores de qualidade de solos.

### **3. FATORES QUE AFETAM OS MICRORGANISMOS E SUA ATIVIDADE NO SOLO**

Num sistema natural como uma floresta, sem interferência antrópica, o ambiente mais favorável à microbiota do solo pode estar associado a processos essenciais de ciclagem de nutrientes, e ao maior acúmulo da matéria orgânica na superfície, que favorecem temperaturas amenas, acúmulo de água, maior agregação e aeração do solo, e teores elevados de carbono orgânico (BALOTA *et al.*, 2015). Nessas condições de equilíbrio, fatores de estresse ambiental refletem menor influência sobre os microrganismos do solo, que demoram mais tempo para expressar os efeitos das variações ambientais (GLAESER *et al.*, 2010). Entretanto, as atividades agrícolas promovem alterações nos atributos e provocam, na maioria das vezes, impacto ambiental negativo.

Ações antrópicas, como a retirada da cobertura vegetal para iniciar atividade agrícola, ocasionam modificações no sistema solo, ao se adicionar e remover elementos por meio de adubação, calagem ou exportação via colheitas. Adotam-se práticas de cultivo (plantio convencional, direto, sistema orgânico, etc), que implicam diretamente em seus atributos físicos, químicos e biológicos, e conseqüentemente causam impacto aos microrganismos. De um lado, as fertilizações tendem a aumentar a biomassa e a atividade microbiana, de outro, a nodulação, fixação biológica do nitrogênio, e a micorrização, são prejudicadas pela adubação nitrogenada e fosfatada, respectivamente (LEITE; ARAÚJO, 2007).

Pode-se afirmar que os fatores que afetam com maior ênfase a distribuição e atividade dos microrganismos do solo, compreendem fatores ambientais como pH, disponibilidade de fontes de energia por meio do fornecimento de substratos, temperatura, incidência solar, umidade, aeração ou estado de oxigenação; profundidade e cobertura vegetal.

O pH dos solos influencia a solubilidade dos minerais, afetando a disponibilidade e toxicidade de nutrientes.

A aeração é crítica para as densidades microbianas e seus processos metabólicos. O intenso uso de maquinários agrícolas e de revolvimento do solo, assim como o pastejo mal planejado, e o excesso de umidade, interferem na aeração, seja por compactação e conseqüente redução da porosidade, seja pela ocupação de espaços porosos pela água (STEFANOSKI *et al.* 2013)

Geralmente os fungos são mais adaptados a valores de pH menores que 5.0 (acidófilos), e as bactérias e os actinomicetos a valores de pH entre 6.0 e 8.0 (neutrófilos e basófilos), ademais, manter solos agrícolas com pH acima de 5,5 maximiza a eficiência energética microbiana (JONES *et al.*,2019).

Lopes *et al.* (2012), observaram elevação no teor de carbono na biomassa microbiana em camadas superficiais em solos cultivados com melão (*Cucumis melo* L.). Novak *et al.* (2017) estudaram a influência da cobertura vegetal nas propriedades de qualidade do solo em uma região de transição entre o Cerrado e a Mata Atlântica, e encontraram áreas de recuperação apresentando condições químicas e microbiológicas em maior semelhança com a vegetação nativa, quando comparadas a solos cultivados com cana-de-açúcar.

Rodrigues *et al.* (2011) analisaram a distribuição e densidade de microrganismos do solo em área de floresta densa, e em simulação de seca prolongada, com medidas contínuas de variáveis microclimáticas de temperatura, umidade e precipitação. Os autores observaram que populações de fungos diminuem com a profundidade do solo, tanto em áreas naturais, quanto em áreas onde fora simulada restrição hídrica, tendo maior crescimento na área natural. Concluíram ainda que, em ambiente natural, a maioria das bactérias existentes é aeróbica, e que as bactérias anaeróbicas tendem a migrar para ambientes mais profundos quando há restrição de umidade na superfície. Evidenciaram que fungos desenvolvem-se melhor na época seca, principalmente em níveis superficiais, e bactérias têm população mais significativa no período chuvoso.

Constataram que a população bacteriana parece ser mais sensível à variações de temperatura; as populações de bactérias diminuem à medida que se diminui o volume de água no solo, e com o aumento de fluxo de calor se observa respectivo aumento nas populações fúngicas, e diminuição nas populações de bactérias.

#### **4. INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DOS SOLOS**

O monitoramento da comunidade biológica dos solos, devido sua alta sensibilidade a intervenções antropogênicas, pode servir como bioindicador eficiente em detectar alterações sutis e mais impactantes nas propriedades dos solos, provocadas por seu uso e manejo, e ocorridas ainda nos primeiros anos da introdução de um sistema agrícola, antes que danos irreversíveis aconteçam (LOBATO, 2015). Tais informações podem contribuir para o estabelecimento de uma relação mais confiável entre o uso do solo e a sustentabilidade, proporcionando indicação mais dinâmica às alterações. No entanto, dados sobre esses indicadores ainda são escassos em sistemas de produção orgânica, especialmente em cultivos frutíferas na região semiárida do nordeste brasileiro.

Dentre as características desejáveis para a seleção de bioindicadores para avaliar a qualidade dos solos, que possam ser utilizados em análises de rotina, podem ser listadas: precisão, coerência, sensibilidade, simples determinação analítica, participarem da ciclagem da matéria orgânica do solo, não serem influenciados pela aplicação de fertilizantes, envolvam o uso de reagentes de baixo custo e fora da lista de controle do exército (MENDES *et al.*, 2018).

Valores “ideais” para bioindicadores podem variar conforme o tipo de solo, sistemas de manejo e condições climáticas (MENDES *et al.*, 2015). Por esse motivo, comumente utilizam-se como parâmetro de comparação, áreas sob vegetação nativa com mínimo ou nenhum impacto causado pela ação antropogênica, como ambiente de referência de solos de boa qualidade.

Recentemente foi desenvolvida uma estratégia para interpretação de atributos microbiológicos, com base na utilização dos princípios dos ensaios de calibração de nutrientes para indicadores químicos, nas condições de Latossolos Vermelhos de Cerrado de textura argilosa (LOPES *et al.* 2013). A estratégia foi baseada nas relações desses atributos, avaliados na época de florescimento das culturas, com o rendimento relativo acumulado de grãos de soja e milho, e com os

teores de carbono orgânico do solo, em experimentos de longa duração. Baseados nesse e em outros estudos desenvolvidos ao longo de vinte anos, Mendes et al. (2021) lançaram tecnologia denominada como BioAS-Bioanálise de solo, a qual agrega o componente biológico às análises de rotina. Essa tecnologia ainda se encontra restrita às condições de cultivos anuais dos solos do cerrado brasileiro, o que ressalta a importância de se estabelecer variáveis metodológicas que atendam às demais condições edafoclimáticas, e a infinidade de espécies cultivadas no país e no mundo. Na BioAS utiliza-se como indicadores as enzimas  $\beta$ -glucosidases e arilsulfatases, selecionadas em virtude de serem as variáveis mais responsivas às alterações sofridas pelos sistemas, e relacionadas ao potencial produtivo dos solos.

Os compartimentos da MOS (incluindo teores de C), índices de biomassa microbiana, respiração basal, atividades enzimáticas, e densidade de esporos de fungos micorrízicos, têm sido objeto de inúmeros estudos científicos, e se destacam como indicadores de qualidade (MENDES *et al.*, 2019). A partir destes atributos é possível inferir a condição de determinado sistema e tomar decisões com vistas a minimizar possíveis impactos negativos porventura causados pelo manejo (BRANDANI; SANTOS, 2016).

Diversos estudos têm sido empreendidos no sentido de compreender a dinâmica microbiana frente à alterações ambientais, e/ou provocadas pelo manejo. Cruz *et al.* (2019), analisando atributos microbiológicos influenciados por manejos de cobertura de solos sob cultivo de macadâmia e pomelo, observaram a cobertura do solo com consórcio de milho e grãos de feijão aumentando a esporulação de fungos micorrízicos arbusculares; sementes de feijão e feijão+milho contribuindo para elevar a respiração basal na macadâmia; e combinação de culturas de cobertura e cobertura morta favorecendo o carbono da biomassa em ambos os pomares de frutas.

Sun *et al.* (2018), estudaram o impacto de cultivos sucessivos de banana na biologia dos solos, e observaram conteúdo de CBiom maior na segunda colheita, com redução até a quarta, concluindo ser provável que a resposta negativa da biomassa microbiana esteja intimamente associada a mudanças na comunidade biológica do solo causadas pelo cultivo contínuo, e sugerem práticas, como rotação de cultivos para amenizar tais impactos.

Novak *et al.* (2018), encontraram teores de carbono da biomassa microbiana do solo (CBiom) variando de 537,93  $\mu\text{g C g}^{-1}$  a 100,76  $\mu\text{g C g}^{-1}$  de solo seco, entre áreas sob vegetação nativa e cultivo de cana-de-açúcar, respectivamente, no primeiro ano de amostragem. E de 465,46  $\mu\text{g C g}^{-1}$  a 309,34  $\mu\text{g C g}^{-1}$  de solo seco, entre áreas sob restauração ecológica e cultivo de cana-de-açúcar, respectivamente, no segundo ano de amostragem. Resultando, dessa forma, num aumento do CBiom em até 76,21% na primeira amostragem, e de 33,32% na segunda, decorrente da substituição do sistema de cultivo de cana-de-açúcar por áreas em restauração ecológica.

Silva *et al.* (2015), observaram que a adição de dejetos líquidos de suínos, de forma sucessiva em áreas de pastagem por dois e catorze anos, foi capaz de manter os níveis de C da biomassa, respiração microbiana,  $\text{qCO}_2$ , e atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidases, semelhante a áreas sob vegetação nativa. Apenas a urease apresentou valores superiores para mata nativa, e a atividade enzimática da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) valores superiores para a área fertilizada por catorze anos. Araújo *et al.* (2019) observaram maior respiração basal nos sistemas de produção sob milho solteiro e nos consórcios milho+mucuna preta, milho+guandu anão e milho+*Crotalaria juncea*, na profundidade de 0-0,10m, em comparação com os consórcios milho+feijão de porco; milho+feijão caupi e vegetação nativa. Já na camada mais profunda de amostragem (0,10-0,20m) não verificaram diferença significativa entre as coberturas avaliadas. A maior liberação de  $\text{CO}_2$  na superfície foi atribuída à maior atividade biológica, por sua vez relacionada à quantidade de C lábil no solo, embora tenham ressaltado que elevados valores dessa variável nem sempre indicam condições desejáveis, exigindo critério nas interpretações.

Lisboa *et al.* (2012) encontraram diferenças significativas, e maiores taxas de atividade da  $\beta$ -glicosidases, para o plantio direto (PD) na comparação com preparo convencional(PC) do solo, em quatro períodos de amostragem. O mesmo comportamento foi observado para taxas de atividade da arilsulfatases. Freitas *et al.* (2011), avaliando efeitos do manejo convencional e orgânico sobre a atividade microbiana, constataram aumento de três vezes na atividade do FDA, atribuído a níveis mais elevados de matéria orgânica no sistema orgânico.

## 4.1 Biomassa microbiana

A biomassa microbiana é expressa em mg de C, N, e/ou P nos microrganismos por quilo de solo, e refere-se à parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo (MOS), sendo constituída, principalmente, por fungos, bactérias e actinomicetos, e extremamente relevante para manter a produtividade de agroecossistemas (MENDES *et al.*, 2019).

### 4.1.1 Carbono da biomassa microbiana (C<sub>biom</sub>)

O C associado à biomassa microbiana representa um dos compartimentos da MOS com menor tempo de ciclagem (0,25 anos em condições de clima tropical úmido), e com tendência a ser mais representativo nas camadas superficiais do solo, devido ao maior teor de matéria orgânica, água e outros nutrientes (BRANDANI; SANTOS, 2016). Sua quantidade e qualidade estão associadas a diversos fatores intrínsecos e extrínsecos à matriz edáfica, como efeito cumulativo do tipo de manejo, além da qualidade e quantidade dos resíduos produzidos acima e abaixo da superfície do solo. Se referem a apenas 1 a 5 % do COT em solos tropicais, ainda assim é um bioindicador primordial em avaliações de qualidade de solos (MENDES *et al.*, 2019).

Áreas com valores mais elevados implicam em maior imobilização temporária de nutrientes, devido à maior quantidade de matéria orgânica ativa no solo, sendo capaz de manter a decomposição dos resíduos vegetais. Valores mais baixos podem ser reflexo de impacto e perturbações das formas de manejo sobre a comunidade microbiana, resultando em alterações na estrutura da comunidade edáfica, relacionadas a fatores como adubação altamente solúvel, revolvimento do solo, histórico de queima (RACHID *et al.*, 2013), dentre outros.

A quantificação da biomassa microbiana, apesar de bom indicador, não é capaz, sozinha, de fornecer informações a respeito dos níveis de atividade das populações microbianas, tendo em vista que alguns solos podem apresentar elevadas quantidades de biomassa inativa e vice-versa (MENDES *et al.*, 2019). O que ressalta a importância das variáveis que medem a atividade microbiana ou o estado metabólico (atual e potencial) das comunidades de microrganismos. Dentre essas, destacam-se as determinações do C prontamente mineralizável, as

de atividade enzimática dos solos, além de índices derivados, como o quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ) e o quociente metabólico ( $q_{CO_2}$ ).

#### 4.1.2 Fósforo da Biomassa Microbiana ( $P_{mic}$ )

A adequada disponibilidade de P às plantas, significa também maior disponibilidade para a biomassa microbiana do solo, sendo a biomassa um compartimento de P bastante dinâmico, que o absorve e imobiliza da solução do solo quando há aumento da disponibilidade no sistema, e o libera gradativamente pelo ajustamento da população microbiana ao fornecimento de energia e P (GATIBONI *et al.*, 2008). Segundo os autores, o P temporariamente imobilizado na biomassa microbiana, retarda o processo de absorção aos argilominerais, onde muitas vezes atinge níveis de irreversibilidade, sendo depois mineralizado paulatinamente, com maiores possibilidades de sincronismo com a marcha de absorção das plantas.

Bactérias e fungos estão envolvidos nos processos de solubilização e mineralização de P, e desempenham importante papel no ciclo biogeoquímico desse elemento (BINI; LOPES, 2016).

## 4.2 Respiração basal

A quantificação de C-CO<sub>2</sub> liberado pela respiração dos microrganismos, também denominada C prontamente mineralizável, ou respiração microbiana basal, é um dos métodos mais tradicionais e utilizados na avaliação da atividade metabólica da população microbiana do solo (MENDES *et al.*, 2019), e se constitui de mensuração da atividade referente à degradação de compostos orgânicos à CO<sub>2</sub>, por microorganismos.

A interpretação dos resultados deve ser feita com cautela. Para Santos; Maia (2013), altas taxas de respiração podem indicar tanto distúrbio ecológico, como alto nível de produtividade do ecossistema, devendo ser analisada em cada contexto, e normalmente correlacionada com outros atributos. Isso acontece porque, segundo Odum (1985), a reparação dos danos causados por distúrbios no solo requer desvio de energia do crescimento e reprodução para a

manutenção celular, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida na forma de CO<sub>2</sub>.

### **4.3 Índices derivados**

As análises isoladas do Carbono da Biomassa Microbiana (CBiom), do Carbono Orgânico Total (COT) e da respiração basal do solo (C-CO<sub>2</sub>) podem limitar a análise do solo quanto à atividade microbiana. Dessa forma, índices derivados desses atributos, como o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e o quociente microbiano (qMic), dão melhores indícios das condições da atividade microbiana e da saúde de um solo.

#### **4.3.1 Quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)**

O qCO<sub>2</sub> é a razão entre a C-CO<sub>2</sub> por unidade de CBiom e tempo, e expressa quanto de CO<sub>2</sub> é liberado pela biomassa microbiana em função do tempo. Corresponde à respiração específica por parte da biomassa microbiana, e demonstra se uma biomassa é eficiente ou não na utilização do C, identificando assim comunidades microbianas em estágio inicial de desenvolvimento; em alta atividade; submetidas a condições de estresse, que são decorrentes por exemplo de deficiência nutritiva, acidez e déficit hídrico, ou ainda matéria orgânica de baixa qualidade (ANDERSON; DOMSCH, 2010).

Dessa maneira, em condições ambientais sob equilíbrio, a biomassa mais eficiente perderia menos C na forma de CO<sub>2</sub> durante a respiração, imobilizando-o nas células microbianas. Portanto, seria obtido baixo qCO<sub>2</sub> e alto quociente microbiano (qMic).

Anderson e Domsch (2010), comparando os índices qCO<sub>2</sub> e qMic por um longo período de tempo em sistemas agrícolas (monocultivo versus rotação de culturas) e sistemas naturais (florestas com faia versus florestas com faia e carvalho), evidenciaram que os sistemas mais complexos, representados pela rotação de cultura e florestas com faia e carvalho, sempre apresentaram menores valores de qCO<sub>2</sub> e maiores de qMic. Nesse contexto, esses autores acreditam ter confirmado a hipótese de que o aumento na diversidade da matéria orgânica

proporciona o surgimento de comunidade microbiana do solo mais eficiente no uso do carbono disponível.

Novak *et al.* (2018) enfatizam que ecossistemas perturbados pela intensa atividade agrícola, ao serem abandonados, têm como reflexo uma diminuição dos teores de  $qCO_2$  ao longo do tempo, indicando que o ecossistema tende para a estabilidade durante os estágios sucessionais.

#### **4.3.2 Quociente Microbiano (qMic)**

O qMic expressa a quantidade de carbono orgânico total do solo que está imobilizado na biomassa microbiana, representando, portanto, a relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total. Essa relação tem sido utilizada como indicador da qualidade da matéria orgânica do solo, e demonstra a eficiência dos microrganismos na utilização dos compostos orgânicos (SILVA *et al.*, 2010).

Altos valores de qMic podem significar a entrada de resíduos orgânicos de alta qualidade, ou seja, com baixo conteúdo de lignina e alta capacidade de decomposição, que influenciam a quantidade de biomassa microbiana e a sua atividade (ANDERSON; DOMSCH, 2010). A diversidade da matéria orgânica proporciona, assim, o desenvolvimento de comunidades microbianas mais eficientes no consumo de carbono do solo, com valores de qMic mais elevados.

#### **4.4 Atividade enzimática do solo**

No solo, as enzimas podem estar no interior da célula ou ligadas externamente à membrana celular, na solução do solo, adsorvidas à superfície de minerais de argila ou substâncias húmicas (BALOTA *et al.*, 2013), podendo ser excretadas de células vivas ou liberadas de células mortas (TABATABAI, 1994). A maior parte delas são de origem microbiana, embora plantas e animais também contribuam como possíveis fontes.

As enzimas extracelulares desempenham papel fundamental, atuando em várias reações hidrolíticas e oxidativas, que resultam na decomposição de resíduos orgânicos (ligninases, celulasas, proteases, glucosidases, galactosidases), ciclagem de nutrientes (fosfatases, sulfatases, uréase), formação

da MOS e da estrutura do solo (MENDES *et al.*, 2019). Contribuem ainda na descontaminação de solos pela degradação de poluentes orgânicos ou imobilização de metais pesados, e podem fornecer informações úteis do ponto de vista de sua qualidade, porque boa parte dessa atividade está relacionada à formação de complexos com a matéria orgânica e com a fração argila, indicando se o manejo adotado favorece uma estabilização da matéria orgânica e de outras propriedades estruturais associadas (agregação e porosidade) que não são passíveis de detecção num curto período de tempo (VALLEJO *et al.*, 2010).

As enzimas livres são rapidamente decompostas pelos microrganismos, e aquelas ligadas à argila e matéria orgânica são resistentes a degradação (MOREIRA; SIQUEIRA *et al.*, 2006).

As quantificações das atividades enzimáticas ligadas aos ciclos do enxofre, do carbono, à mineralização do fósforo, e à hidrólise de fluoresceína, podem se constituir em importantes ferramentas para avaliação do manejo adequado do solo e dos insumos agrícolas. Como são sintetizadas principalmente pelos organismos que nele crescem, as condições que favorecem a atividade microbiana, também favorecem a atividade enzimática (TABATABAI, 1994), tornando este atributo muito sensível a mudanças ocorridas no solo, e por isso sendo consideradas bons indicadores de sua qualidade.

Além da sensibilidade, a facilidade de medição e o baixo custo dos ensaios com enzimas do solo também as tornam muito atraentes como parte de um índice de qualidade (MENDES *et al.*, 2015).

#### **4.4.1 $\beta$ -Glicosidases**

As  $\beta$ -glicosidases (E.C. 3.2.1.21,  $\beta$ -D-glicosídeo glicohidrolases) formam um grupo de enzimas biologicamente importantes, que ocorrem em inúmeros organismos, tanto procarióticos, quanto eucarióticos, assim como bactérias, fungos, plantas e animais, desempenhando diversas funções, sendo capazes de hidrolisar ligações  $\beta$ -glicosídicas em dissacarídeos, oligossacarídeos e glicosídeos conjugados (JIANG *et al.*, 2011).

No solo, os microrganismos se encarregam de metabolizá-las imediatamente, de outra forma se encontram associadas química ou fisicamente

aos colóides, tornando-se assim mais estáveis e inacessíveis à decomposição (PAZUTTI; CHAER, 2012).

Atuam no estágio final de degradação da celulose, convertendo os resíduos de celobiose em duas moléculas de glicose, importante fonte de energia para as comunidades microbianas no solo (MENDES *et al.*, 2019). Dessa forma, a atividade dessas enzimas é estreitamente relacionada com a entrada de material celulósico no solo, e as condições físico-químicas deste (como temperatura (30 – 50°C); pH (5-6, qualidade e conteúdo de matéria orgânica), para regular a atividade de sua decomposição (celulose) pelos microrganismos (TABATABAI, 1994).

#### 4.4.2 Fosfatase ácida

As fosfatases se constituem em enzimas do solo catalisadoras da hidrólise do éster e anidridos de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (BALOTA *et al.*, 2013), liberam assim, a partir do P orgânico, fosfato solúvel, assumindo papel importante no ciclo desse elemento. São secretadas por microrganismos e pelas raízes de plantas, e classificadas de acordo com o pH ótimo de atividade, sendo, ácida (pH 4 – 6,5), neutra ou alcalina (pH 9-10) (LOPES *et al.*, 2013).

A atividade das fosfatases é fortemente influenciada pelos valores de fósforo no solo, de pH, temperatura e pelo conteúdo de matéria orgânica (TABATABAI, 1994),

Balota *et al.* (2013), afirmam que a adubação pode influenciar a atividade de fosfatases, e que os índices dessas enzimas geralmente aumentam após a adição de pequenas doses de fertilizantes, entretanto decrescem com doses mais liberação de fosfatases, com o objetivo de elevar a mineralização e remobilização do fosfato.

#### 4.4.3 Arilsulfatases

As arilsulfatases são enzimas extracelulares catalisadoras da hidrólise dos ésteres de aril sulfatos orgânicos, os quais correspondem a 40-70% do enxofre total em grande parte dos solos (SANTOS; MAIA, 2013), processo que ocorre segundo a seguinte reação:  $\text{R-O-SO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R-OH} + \text{H}^+ + (\text{SO}_4)^{2-}$

(FRANKENBERGER; TABATABAI, 1995). São detectadas em plantas, microrganismos e animais, e consideradas responsáveis por parte da ciclagem do S nos solos, atuando na mineralização do S orgânico para  $\text{SO}_4^{2-}$ , forma absorvida pelas plantas (BALOTA *et al.*, 2013).

A avaliação da atividade das arilsulfatases pode fornecer assim, informações a cerca da mineralização e transformação dos compostos de enxofre no solo, essenciais para a nutrição de plantas, tendo em vista que parte considerável das arilsulfatases desse ambiente é secretada por bactérias em resposta à limitação do S (ACOSTA-MARTÍNEZ *et al.*, 2011).

#### **4.4.4 FDA (Hidrólise do diacetato de fluoresceína)**

O diacetato de fluoresceína (3,6 diacetilfluoresceína) é hidrolisado por diversas enzimas, não expressando portanto a atividade de uma enzima específica, mas de um grupo, dentre elas estão as proteases, as lipases e as esterases (BALOTA *et al.*, 2013). Essas enzimas são liberadas em grande quantidade, especialmente na superfície do solo, pelos decompositores primários, como as bactérias e fungos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), sendo utilizada como indicador da atividade da biomassa do solo.

#### **4.5 Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (DEFMA)**

Os fungos micorrízicos arbusculares são biotróficos obrigatórios, se propagando apenas quando associados a uma planta viva. A simbiose micorrízica arbuscular inicia-se quando um esporo ou uma hifa de fungo do solo responde à presença de um estímulo radicular, estabelecendo contato e crescendo ao longo de sua superfície (VALADARES; MESCOLOTTI, 2016).

Nesta interação, a planta cede a energia necessária (fotossintatos) para o crescimento e a reprodução dos fungos, que, em troca, absorvem nutrientes e os disponibilizam para células do córtex das raízes. Ademais, os fungos micorrízicos arbusculares auxiliam na assimilação de água, e nutrientes de baixa mobilidade no solo, a partir do aumento da superfície de absorção das raízes, num processo que acontece devido o diâmetro das hifas variar entre 2 – 20  $\mu\text{m}$ , e o das raízes ser muito superior, correspondendo a valores acima de 300  $\mu\text{m}$  (SMITH; READ,

2008). Assim, as hifas possibilitam às plantas com micorrizas arbusculares, o acesso a poros com diâmetros diminutos, e inacessíveis às raízes. Essa simbiose é considerada uma adaptação evolutiva, que permitiu a colonização dos ambientes terrestres pelas plantas (VALADARE; MESCOLOTTI, 2016).

O fungo forma os arbúsculos, que são estruturas intarcelulares típicas, por meio da colonização do tecido cortical de raízes de plantas micotróficas, e posteriormente desenvolve o micélio extrarradicular, capaz de adquirir nutrientes do solo com eficiência (SMITH; READ, 2008; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O fungo e a planta apresentam-se, dessa forma, numa perfeita interação genética, morfológica e funcional.

Além dos benefícios proporcionados às plantas, os FMA atuam na estruturação dos solos, tendo em vista que o micélio externo é responsável pela exsudação de glicoproteínas hidrofóbicas, chamadas de glomalinas, as quais agem como agentes cimentantes das partículas do solo, atuando diretamente na formação de agregados estáveis (RILLIG *et al.*, 2010).

Dessa forma, por ocuparem importante nicho ecológico nos ecossistemas, e serem influenciados pelas práticas de manejo do solo, é de grande importância avaliar a influência dessas práticas sobre os FMAs. Práticas de manejo que resultam em ambiente estressante à microbiota, ocasionam menor colonização micorrízica, porém maior esporulação (SCHNEIDER *et al.*, 2011).

## **5.USO DE BIOINOCULANTE NA AGRICULTURA**

O uso de inoculantes microbianos na agricultura brasileira, vem crescendo exponencialmente em virtude dos benefícios advindos do seu uso, bem como a boa relação custo/benefícios.

Conforme Decreto nº 8.384, de 2014, inoculantes são descritos como produtos contendo microorganismos com atuação favorável ao crescimento de plantas. E seu desenvolvimento e produção segue regras definidas em leis federais.

Em maio de 2016 o Decreto nº 8.772/2016, regulamentou a Lei nº 13.123/2015, que ampara o acesso aos recursos genéticos no país. Essa legislação considera como parte do patrimônio genético brasileiro, microrganismos que tenham sido isolados a partir de substratos do território

nacional, evidenciando a necessidade de providências imediatas a serem tomadas por pesquisadores que desenvolvam atividade nessa linha de pesquisa.

Mais recentemente, o decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020, instituiu o Programa Nacional de bioinsumos, o qual tem como objetivo de ampliar e fortalecer a utilização de bioinsumos no país. Se constituindo em considerável avanço para o aporte de subsídios à uma agropecuária produtiva, e mais sustentável.

O mercado de produtos biológicos na agricultura está distribuído em quatro grandes grupos (Informação verbal)<sup>1</sup>:

I-Inoculantes: produtos constituídos por microrganismos cuja função seja ação favorável ao crescimento e desenvolvimento das plantas;

II-Ativadores: têm efeitos diretos e indiretos na melhoria das propriedades físico-químicas dos solos, estimulando a atividade biológica presente neles. Classificação que abrange os fertilizantes, fertilizantes orgânicos, organominerais, biofertilizantes, condicionadores de solo, substratos para plantas, substâncias húmicas e fúlvicas, e aditivos;

III-Bio defensivos: referem-se a produtos que atuam na prevenção, redução ou erradicação das infestações por patógenos e pragas; sendo o segmento que mais cresce dentre os biológicos; e

IV-Repositores: visam a reposição biológica do solo, para a reorganização e funcionalidade do seu microbioma.

Segundo Andreote (2016), os ativadores e repositores podem ser reunidos em um grande grupo denominado condicionadores biológicos<sup>1</sup>.

## **5.1 Bactérias promotoras do crescimento de plantas**

Boa parte das espécies de plantas terrestres estabelecem relações complexas com uma grande variedade de microrganismos do solo. Alguns destes são conhecidos por promover o crescimento das plantas, e por aumentar a tolerância dos vegetais aos estresses bióticos e abióticos.

---

<sup>1</sup> Apresentação do professor Fernando Dini Andreote no II Simpósio Desafios da fertilidade do Solo na região do Cerrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. São Paulo, 2016.

Os mecanismos que atuam na promoção de crescimento podem ser divididos em diretos e indiretos. Dentre os mecanismos diretos, pode-se citar suplementação nutricional das plantas, proporcionada por microrganismos da rizosfera capazes de fixar nitrogênio, solubilizar fosfatos, ou outro processo capaz de suprir a planta com nutrientes previamente não disponíveis ou disponíveis em quantidades insuficientes (ROMAGNOLI; ANDREOTE, 2016). Como mecanismo indireto, os microrganismos atuam inibindo o desenvolvimento de pragas e fitopatógenos. Esta atividade está diretamente ligada à produção de compostos específicos, como por exemplo, antibacterianos e antifúngicos, conferindo à planta uma maior resistência ao ataque de pragas ou patógenos, num processo conhecido como indução de resistência sistêmica (CHAPARRO *et al.*, 2012).

A competição por espaço, transporte e liberação de  $Fe^{+3}$  (mediados por sideróforos) e outros nutrientes, parasitismo e proteção cruzada, são mecanismos que também podem explicar a ação da microbiota em benefício das plantas (SANTOS, 2017).

Nas últimas décadas, a procura por microrganismos benéficos ao crescimento vegetal, e como agentes de biocontrole, tem se configurado como um dos objetivos da pesquisa agrícola na busca por sistemas de produção sustentáveis e concomitantemente produtivos, e se tornado, de fato, uma estratégia de manejo (BENIZRI *et al.*, 2001).

Souza *et al.* (2017) estudaram 24 (vinte e quatro) isolados de bactérias endofíticas com diferentes habilidades, quanto à promoção do crescimento de bananeira 'Prata anã', e observaram que aquelas identificadas como produtoras de ácido indol-3-acético proporcionaram aumentos significativos para comprimento, diâmetro de pseudocaule, massa fresca e seca aos 120 dias. Silva *et al.* (2018) observaram variação no desenvolvimento de bananeiras 'Prata Catarina' micropropagadas, avaliadas em duas fases: de aclimação em bandejas, aos 60 dias, e no cultivo em sacos plásticos de 1,5 L (após 60 dias de aclimação + 60 dias de cultivo em sacolas plásticas). No entanto, os autores encontraram distinções em altura, área foliar, massa seca e diâmetro do pseudocaule, evidentes apenas na fase de cultura em sacos, além de uma maior taxa de sobrevivência nas plantas inoculadas com isolados bacterianos.

Gouda *et al.* (2018) descrevem que, embora haja uma grande variedade de BPCVs, seu papel e uso para a agricultura sustentável permanecem controversos

e restritos, além de existir grande variabilidade de desempenhos, atribuídos a possíveis fatores ambientais que podem afetar o crescimento e proliferação nas plantas.

Outrossim, a utilização de microrganismos promotores de crescimento em plantas perenes, tem como principais benefícios: redução do uso de fertilizantes altamente solúveis e agroquímicos de um modo geral, e redução do tempo de permanência das mudas nos viveiros até transplântio para campo, trazendo benefícios econômicos e ambientais (DOMINGUES *et al.*, 2021).

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; LASCANO, R.; CALDERÓN, F.; BOOKER, J. D.; ZOBECK, T. M.; UPCHURCH, D. R. Dryland cropping systems influence the microbial biomass and enzyme activities in a semiarid sandy soil. **Biolog y and Fertility of Soils**, v. 47, p. 655-667. 2011.

ALCÂNTARA, F. A. de.. **Manejo agroecológico do solo**. Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 28 p. 2017.

ALTIERI, M.. **Agroecologia: A dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 4ª edição. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 120p. 2004.

ANDERSON, T.-H.; DOMSCH, K. H.. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 42, n.12, p.2039-2043. 2010.

ANTRANIKIAN G.; VORGIAS C.E.; BERTOLDO C.. Extreme environments as a resource for microorganisms and novel biocatalysts. **Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology**. v.96, p.219-262, 2005.

ARAUJO, T. dos S.; GALLO, A. de S.; ARAUJO, F. dos S.; SANTOS, L. C. dos;

GUIMARÃES, N. de F.; SILVA, R. F. da.. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.2, p. 347-357, 2019.

ASSIS, R. L. De; ROMEIRO, A. R.. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 6, p. 67-80, 2002.

BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L.; MELO, G. M.P. SOUZA, R. C.; MELO, W. J. de. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.8, p. 221-278, 2013.

BALOTA, E. L.; YADA, I. F. U.; AMARAL, H. F.; NAKATANI, A. S.; HUNGRI, M.; DICK, R. P.; COYNE, M. S.. Qualidade do solo em razão da conversão de mata nativa em culturas anual e perene no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.39, n.4, p.1003-1014, 2015.

BENIZRI, E.; BAUDOIN, E.; GUCKERT, A. Root colonization by inoculated plant growth-promoting rhizobacteria. **Biocontrol Science and Technology**, v.11, p.557-574, 2001.

BERG, G. et al. Next-generation bio-products sowing the seeds of success for sustainable agriculture, **Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, v.3, n. 4, p.648-656, 2013.

BINI, D., LOPEZ, M. V.. Transformações microbianas do fósforo. *In*: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D.. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, cap.10 , p.149-166, 2016.

BRANDANI, C. B. ; SANTOS, D. G. . Transformações do Carbono no solo. *In*: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D.. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, cap. 6, p. 81-98, 2016.

BRASIL. **Lei Nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003.** Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/LEIS/2003/L10.831.htm#:~:text=1o%20Considera%2Dse%20sistema,sustentabilidade%20econ%C3%B4mica%20e%20ecol%C3%B3gica%2C%20a](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/LEIS/2003/L10.831.htm#:~:text=1o%20Considera%2Dse%20sistema,sustentabilidade%20econ%C3%B4mica%20e%20ecol%C3%B3gica%2C%20a) . Acesso em: 28 mar. 2021.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D.. Introdução a biologia do solo. *In*: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D.. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, cap. 1, p. 9-22, 2016.

CHAPARRO, J.M. *et al.* Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. **Biology and Fertility of Soils**. Berlin, v.48, n.5, p.489-499, 2012.

CRUZ, A. F.; PIRES, M. de C.; do NASCIMENTO, L.K. B.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, S. A.; BLUM, L. E. B.; YAMANISHI, O. K.. Cover cropping system and mulching can shape soil microbial status in fruit orchards. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.77, n.4, p.1-7, 2020.

DOMINGUES, S.C. de O.; CARVALHO, M.A.C de; RABELO, H. De O.; MOREIRA, E.S.; SCATOLA, L.F.; DAVID, G.Q.. Microrganismos promotores de crescimento em alface. **Nativa-Pesquisas Agrárias e Ambientais**. v.9, n.2, p.100-105, 2021.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. *In*: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America (SSSA special publication, 35), p. 3-21, 1994.

FRANKENBERGER Jr., W.T.; TABATABAI, M.A. Amidase activity in soils. *In*: ALEF, K.; NANNIPIERI, P.(eds.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, p.321-324, 1995.

FREITAS, N. de O.; YANO-MELO, A. M.; SILVA, F. S. B. da; MELO, N. F. de; MAIA, L. C.. Soil biochemistry and microbial activity in vineyards under conventional and organic management at Northeast Brazil. **Scientiae agricola**. (Piracicaba, Braz.) [online]. v.68, n.2, p.223-229, 2011.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. & BRUNETTO, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1085-1091, 2008.

GERUM, A. F. A. de A.; SANTOS, G. S.; SANTANA, M. do A.; SOUZA, J. da S.; CARDOSO, C. E. L.. Fruticultura Tropical: potenciais riscos e seus impactos. **Documentos**, 232. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 28 p. il, 2019

GLAESER, D. F. et al. Biomassa microbiana do solo sob sistema de cultivo orgânico em cultivos de café. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 14, n.2, p. 103-114, 2010.

GLIESSMAN, S. R.. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora da Universidade-UFRGS, 654 p., 2000.

GOMES JÚNIOR, G. A.; PEREIRA, R. A.; SODRÉ, G. A.; DO SACRAMENTO, C. K.; GROSS, E.. Inoculação com fungos micorrízicos arbusculares e composto orgânico da casca de cacau influenciam positivamente o crescimento e a nutrição mineral da gravioleira (*Annona muricata* L.). **Revista brasileira de fruticultura**. v.40, n.5, p.1-11, 2018.

GOUDA, S.; KERRY, R. G.; DAS, G.; PARAMITHIOTIS, S.; SHIN, Han-Seung; PATRA, J. K.. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological Research**. v.206, p.131-140, 2018.

JIANG, C.; LI, S.; LUO, F.; JIN, K. WANG, Q.; HAO, Z.; WU, L.; ZHAO, G.; MA, G.; SHEN, P.; TANG, X.; WU, B. Biochemical characterization of two novel  $\beta$ -glucosidase genes by metagenome expression cloning. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 3, p. 3272- 3278, 2011.

JONES, D. L. ; COOLEGE, E. C.; HOYLE, F. C.; GRIFFITHS, R. I.; MURPHYA, D. V.. pH and exchangeable aluminum are major regulators of microbial energy flow and carbon use efficiency in soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**. v.138., p.1-5, 2019

KAVAMURA, V. N.; SANTOS, S. N.; SILVA, J. L. da; PARMA, M. M.; ÁVILA, L. A.; VISCONTI, A.; ZUCCHI, T. D.; TAKETANI, R. G.; ANDREOTE, F. D.; de MELO, I. S. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drough. **Microbiological Research**. v.168, p. 183-191, 2013.

KNUPP, A.M.; FERREIRA, E.P.B.; GONZAGA, A.C.O.; BARBOSA, F.R. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo em unidades piloto de produção integrada de feijoeiro comum. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 35. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 23p. 2010.

LEITE, L. F. C.. ARAÚJO, A. S.F..**Ecologia Microbiana do Solo**. Documentos, 164. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 24p., 2007.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. da ; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A.. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.36, n.1, p.45-55, 2012.

LOBATO, B.. O Micro-habitantes da Terra - Atividade microbiana indica a saúde dos solos. **XXI Ciência para a vida**. Brasília, DF, P. 24-28, 2015.

LOPES, A. A. de C.; SOUSA, D. M. G. de; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; GOEDERT, W. J.; MENDES, I de C. Interpretation of microbial soil indicators

as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2013.

LOPES, H. S. S.; MEDEIROS, M. G. de; SILVA, J. R.; MEDEIROS JÚNIOR, F. A.; SANTOS, M. N.; BATISTA, R. O.. Biomassa microbiana e matéria orgânica em solo de Caatinga, cultivado com melão na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ceres**. v.59 n.4, p.565-570, 2012.

LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. **Annual Review Microbiology**. v.63, p.541–556, 2009.

MENDES, I. de C.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; SOUSA, D. M. G. de (in memoriam); DANTAS, O.D.; OLIVEIRA, M. I. L. de; MALAQUIAS, J. V.. **Tecnologia BioAS : uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo**. Documentos, 369. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 50p., 2021.

MENDES, I. *et al.*. Bionálise de solo: Aspectos teóricos e práticos.**Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade brasileira de ciencia do solo. v. 10, P. 399-462., 2019.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C.. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Circular técnica 38. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 24p., 2018.

MENDES, I. de C. *et al.* BIOINDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO: Dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p.191-209, 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 729p., 2006.

NOVAK, E.; CARVALHO, L. A.; SANTIAGO, E. F., BRUMATTI, A. V., SANTOS, L. L. , SALES, L. C.. Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.3. p. 603-611, 2018.

NOVAK, E.; CARVALHO, L. A.; SANTIAGO, E. F.; PORTILHO, I. I. R.. Chemical and microbiological attributes under different soil cover. **CERNE**. v. 23. n.1. p. 19-30. 2017.

ODUM, E. P. Trends expected in stressed ecosystems. **BioScience**. v.35, p. 419-422, 1985.

PAZUTTI, L. V. B.; CHAER, G. M. **Desenvolvimento de metodologia de baixo custo para análise de B-glicosidase em solos**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 92. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 28p., 2012.

PRIMAVESI, A.. **A Biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas**. São Paulo: Expressão Popular. 608 p..2019.

RACHID, C. T. C. C., BALIEIRO, F. C., PEIXOTO, R. S., PINHEIRO, Y. A. S., PICCOLO, M. C., CHAER, G. M., et al. Mixed plantations can promote microbial integration and soil nitrate increases with changes in the N cycling genes. **Soil Biology and biochemistry**. v. 66, p. 146–153. 2013.

RILLIG, M.C.; MARDATIN, N.F.; LEIFHEIT, E.F.; ANTUNES, P.M. Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi increases soil water repellency and is sufficient to maintain water-stable soil aggregates. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p.1189-1191, 2010.

RODRIGUES, H. J. B.; SÁ, L. D. de A.; RUIVO, M. de L. P.; da COSTA, A. C. L.; SILVA, R. B. da; de MOURA, Q. L.; de MELLO, I. F..Variabilidade quantitativa de população microbiana associada às condições microclimáticas observadas em solo de floresta tropical úmida. **Revista Brasileira de Metereologia**. v. 26, n.4, 2011.

ROMAGNOLI, E. M.; ANDREOTE, F. D. Rizosfera *In*: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D.. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, cap. 4, p. 47-60, 2016.

SAMINÊS, T. C. O.; DIAS, R. P.; NOBRE, F. G. A.; MATTAR, R. G.S H.; GONÇALVES, J. R. A.. **Princípios norteadores da produção orgânica de hortaliças**. Circular Técnica, 67. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 8p., 2008.

SANTOS, Carlos Henrique Barbosa. **Crescimento de mudas frutíferas sob ação de microrganismos promotores de crescimento**. 2017. 82f. Tese (Doutorado em Agronomia-Produção vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista/Unesp, Campus Jaboticabal, 2017.

SANTOS, V. M. DOS; MAIA, L. C. Bioindicadores de qualidade do solo. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v.10, p.195-223, 2013.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 1585-1592, 2010.

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

SILVA, C. de FB da; BRITO, T. L. de; TANIGUCHI, C. AK; LOPES, L. A.; PINTO, G. AS; CARVALHO, A. CPP de. Growth-promoting potential of bacterial biomass in the banana micropropagated plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.22, n.11, , p. 782-787, 2018.

SMITH, S.E. and Read, D.J.. **Mycorrhizal Symbiosis**. 3. ed., London: Academic Press, 800p., 2008.

SMITH, S.E.; FACELLI, E.; POPE, S. ;SMITH, F.A.. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. **Plant Soil.** v.326, n.1, p.3-20. 2010.

SOUZA, G. L. O. D.DE; SILVA, D. F. DA; NIETSCHKE, S.; XAVIER, A. A.; PEREIRA, M. C. T.. Endophytic bacteria used as bioinoculants in micropropagated banana seedlings. **Revista Brasileira de Fruticultura.** v.39, n. 2, p. e-324, 2017  
STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.. Manejo de Solo, Água e Planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.17, n.12, p. 1301-1309 .2013.

SULZBACHER, M.A.; BASEIA, I.G.; LÜCKING, R.; PARNMEN, S.; MONCADA, B.. Unexpected discovery of a novel basidiolichen in the threatened Caatinga biome of northeastern Brazil. **The Bryologist.** v. 115. n.4. p.601-609. 2012.

SUN, J.; ZOU, L.; LI, W.; WANG, Y.; XIA, Q.; PENG, M.. Soil microbial and chemical properties influenced by continuous cropping of banana. **Scientia Agricola.** v.75, n.5., p.420-425, 2018.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. *In:* WEAVER, R.W.; ANGEL, J.S.; BOTTOMLEY, P.S.. Methods of soil analysis. Part,2, Book Series: 5, **Soil Science Society of America**, p.775-833. 1994.

VALADARES, R. B. da S.; MESCOLOTTI, D. L.C.; CARDOSO, E. J.B. Micorrizas. *In:* CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D.. **Microbiologia do solo.** 2. ed. Piracicaba: ESALQ, cap. 12, p. 179-196, 2016.

VALLEJO, V.E.; ROLDAN, F. & DICK, R.P. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia. **Biology Fertility Soils.** v. 46, p. 577-587, 2010.

## ARTIGO 1

### ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE SOLOS SOB SISTEMA DE CULTIVO ORGÂNICO DE MANGA E ABACAXI<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Acta Scientiarum - Biological Sciences, em versão na língua inglesa.

## **Atributos microbiológicos de solos sob sistema de cultivo orgânico de manga e abacaxi**

**Resumo:** Os sistemas de manejo promovem alterações diretamente na atividade biológica dos solos, refletindo na produtividade dos cultivos agrícolas. O presente estudo teve como objetivo identificar atributos microbiológicos sensíveis em indicar mudanças provocadas em um latossolo vermelho amarelo em clima semiárido, sob cultivo orgânico de mangueiras 'Ubá', 'Palmer', 'Espada' e 'Roxa-Embrapa'; e abacaxizeiros 'Pérola' e 'BRS Imperial', com diferentes históricos, manejos, e tempos de implantação. Assim como, encontrar inferências a respeito da qualidade desses solos, utilizando-se como referência áreas sob mata nativa e mata em regeneração (capoeira). Foram realizadas coletas de solo em duas épocas (setembro de 2018 e abril de 2019) na profundidade de 0 a 0,20m, para quantificação da atividade das enzimas  $\beta$ -glucosidases, fosfatase ácida, arilsulfatases, e atividade enzimática total (FDA); determinação dos conteúdos de C e P da biomassa microbiana; carbono orgânico total; respiração basal do solo; quocientes microbiano e metabólico; e densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares. A atividade das  $\beta$ -glucosidases e arilsulfatases, o teor de carbono da biomassa microbiana e o quociente metabólico, apresentaram-se como bioindicadores sensíveis em detectar mudanças em função da ação antrópica. Os solos sob cultivo orgânico de mangueira apresentou condição biológica próxima das áreas de referência. As técnicas de análise multivariada indicaram que os solos cultivados com 'Roxa Embrapa' apresentaram menor distância em relação aos dados encontrados na área de mata, o que sugere equilíbrio biológico desses solos, com possível interferência do genótipo, da conformação botânica da espécie, do manejo adotado, e do tempo sob cultivo orgânico, necessitando de avaliações a longo prazo para monitoramento da qualidade e direcionamento quanto ações de manejo.

**Palavras-chave:** Fruticultura orgânica,  $\beta$ -glucosidases, arilsulfatases, biomassa microbiana do solo, quocientes microbiano e metabólico.

## **Microbiological properties of soils under organic farming of mango and pineapple**

**Abstract:** Management systems promote direct changes in the soil biological activity, reflecting on crop yields. The present study aimed to identify microbiological properties sensitive to changes in a Red-Yellow Latosol under semiarid climate and organic cultivation of 'Ubá', 'Palmer', 'Espada', and 'Roxa Embrapa' mango trees, as well as 'Pérola' and 'BRS Imperial' pineapple plants, with different histories, management practices, and implementation times. These soils were also assessed for quality, using as reference areas under native forest and regenerating forest (capoeira). To do so, soil samples were collected from the 0.0-0.20 m depth layer in two seasons (September 2018 and April 2019). The samples were used to quantify  $\beta$ -glucosidase, acid phosphatase, arylsulfatase, and total (FDA) enzyme activities; carbon and phosphorus contents in microbial biomass; total organic carbon; basal soil respiration; microbial and metabolic quotients; and arbuscular mycorrhizal fungi spore density. The activities of  $\beta$ -glucosidase and arylsulfatase, as well as microbial biomass carbon content and metabolic quotient, were sensitive to anthropogenic changes, thus serving as bioindicators thereof. The soils under organic mango cultivation showed similar biological conditions as those in the reference areas. Multivariate analysis indicated that soils grown with 'Roxa Embrapa' mango trees have similar conditions to those in the forest area. This result, therefore, suggests that these soils have biological balance, with potential interference of the plant species genotype and botanical composition, soil management adopted, and time under organic cultivation. However, long term evaluations are still required to monitor the soil quality and thus direct management actions.

**Keywords:** Organic fruit growing,  $\beta$ -glucosidase, arylsulfatases, biomass soil microbial, microbial and metabolic quotients.

## INTRODUÇÃO

O cultivo de mangueiras (*Mangifera indica L.*) está presente em todos os estados da região nordeste do Brasil, a qual é responsável por 77,34% da produção nacional. As áreas irrigadas do semiárido ganham destaque, em especial os Estados de Pernambuco e Bahia, que respondem respectivamente por 36,64% e 31,27% de toda a produção do país (IBGE, 2021). A região produz ainda 35,67% de todo o abacaxi (*Ananas Comosus L.*) brasileiro, com destaque para a Paraíba, Estado que mais contribuiu regionalmente no ano de 2019, com 307.116ton (53,23%), sendo a Bahia responsável, no mesmo ano, por 6,11% de todo o fruto colhido no nordeste (35.258 ton) (IBGE, 2021).

Apesar das crescentes demandas pela adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo, o cultivo do abacaxizeiro praticamente não é realizado nessas condições (PÁDUA *et al.*, 2020), e nas regiões economicamente importantes para o cultivo da mangueira, sua produção orgânica é bastante reduzida (EMBRAPA, 2020).

A implantação de um sistema produtivo tem influência direta sobre a comunidade microbiana do solo e os processos biológicos que nele ocorrem. Lopes *et al.* (2012), analisando alterações em solos cultivados com melão, em comparação com os de caatinga nativa no semiárido do Rio Grande do Norte, observaram aumento da matéria orgânica e diminuição do quociente metabólico ao longo de dez anos de estudo, e maiores médias do carbono da biomassa nas camadas mais superficiais, independente do tempo de cultivo. Freitas, *et al.* (2011) compararam o efeito do manejo orgânico e convencional sobre a atividade microbiana em videiras, e observaram que o manejo orgânico levou a um aumento de riqueza de espécies de fungos micorrízicos arbusculares, de carbono da biomassa microbiana, respiração, atividade hidrolítica de diacetato de fluoresceína (FDA), e redução do coeficiente metabólico ( $qCO_2$ ), concluindo que o cultivo orgânico dos parreirais favorece a micorrização e a atividade microbiana do solo.

É de fundamental relevância utilizar como bioindicadores o microbioma, seu dinamismo, e resposta rápida a mudanças, como mecanismo de monitoramento da qualidade de manejos agrícolas. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a sensibilidade de atributos microbiológicos em indicar

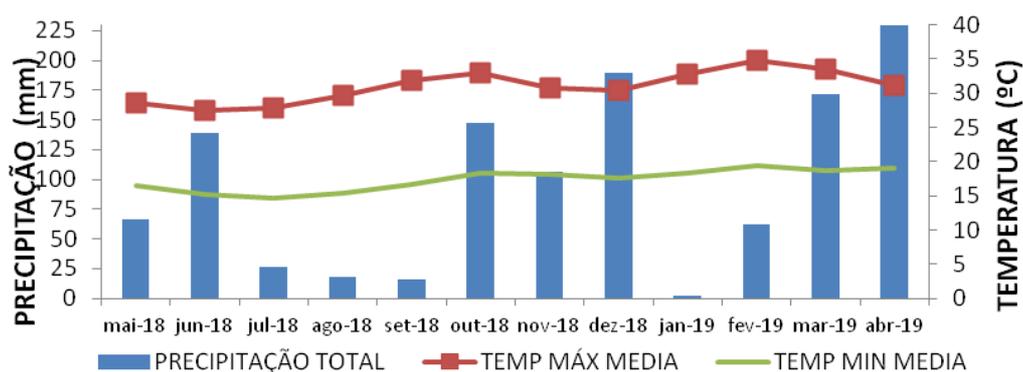
alterações que permitam inferências a respeito da saúde de solos sob cultivo orgânico de mangueiras (*Mangifera indica* L.) e abacaxizeiros (*Ananas comosus* L), na Unidade de Pesquisa de Produção Orgânica da Embrapa Mandioca e Fruticultura em parceria com a empresa Bioenergia orgânicos, município de Lençóis, semiárido baiano.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em parceria com a empresa Bioenergia orgânicos LTDA, no município de Lençóis, Chapada Diamantina, Bahia, a 12°36'29.4" de latitude Sul, 41°21'14.6" de longitude Oeste, e altitude de 437m. O clima do local é classificado como do tipo Aw - Tropical de Savana, caracterizado por temperaturas anuais elevadas, e regime de chuvas com verão chuvoso e inverno seco, de acordo com Köppen (1948). A pluviosidade média anual é de 1206 mm, e a temperatura média em Lençóis é de 23.9°C.

No período compreendido entre maio de 2018 a abril de 2019, a precipitação total mensal variou entre 1,8mm e 243,6mm, e as temperaturas médias mínima de 14,65°C a máxima de 34,78°C (Figura 1).

**Figura 1** - Precipitação total mensal, temperatura máxima média mensal e temperatura mínima média mensal, observados no período compreendido entre maio de 2018 e abril de 2019



Fonte de dados: INMET, 2019.

O solo do local é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico de textura argilosa. Seus atributos químicos estão apresentados na Tabela 1. As análises

laboratoriais foram realizadas de acordo com EMBRAPA (2017).

**Tabela 1** - Atributos químicos de solo sob mata, capoeira e sistemas de produção orgânica de abacaxi e manga. Lençóis, BA

TRAT	pH	P	SB	CTC	K	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	Na	H+A I	V
	em H <sub>2</sub> O	mg.dm <sup>-3</sup>				cmol .dm <sup>-3</sup>						%
Ab-AD-1/3-L	4,73	3,67	2,64	14,55	0,08	1,44	1,08	2,52	0,80	0,04	11,91	18,67
Ab-AD-1/3-EL	4,33	2,33	1,53	15,17	0,08	0,72	0,73	1,45	1,40	0,01	13,64	10,33
Ab-AD-2/3-L	5,07	2,00	2,89	13,49	0,06	1,57	1,20	2,77	0,50	0,05	10,60	22,00
Ab-AD-2/3-EL	4,33	2,67	1,48	14,56	0,07	0,73	0,67	1,39	1,33	0,01	13,08	10,00
Ab-AD-3/3-L	4,90	3,33	2,96	14,12	0,07	1,58	1,26	2,84	0,50	0,05	11,16	21,00
Ab-AD-3/3-EL	4,33	2,33	1,86	15,26	0,10	0,92	0,84	1,75	1,10	0,01	13,37	12,00
Ab-AP-L	6,10	6,75	6,44	10,96	0,14	3,64	2,53	6,17	0,00	0,14	4,53	61,00
Ab-AP-EL	5,68	5,25	4,79	12,25	0,48	2,49	1,80	4,28	0,00	0,03	7,46	39,25
Ab-AP-SM	5,73	6,50	4,83	11,06	0,42	2,63	1,75	4,38	0,18	0,03	6,23	45,75
M-Uba	5,28	2,75	2,90	11,84	0,19	1,65	1,00	2,64	0,45	0,07	8,95	24,63
M-Pal	5,06	2,20	2,71	10,41	0,22	1,50	0,95	2,44	0,54	0,05	7,70	26,80
M-Esp	5,34	3,40	3,77	11,12	0,15	2,14	1,44	3,58	0,16	0,04	7,35	34,40
M-RoxE	5,16	4,00	3,70	11,20	0,10	1,99	1,58	3,57	0,28	0,02	7,50	32,80
Mata	4,05	2,75	0,49	12,49	0,07	0,16	0,25	0,41	2,36	0,01	12,00	3,88
Capoeira	4,60	2,75	2,10	11,62	0,08	1,09	0,92	2,01	1,03	0,01	9,52	16,75

Notas:

Ab-AD-1/3-L (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço superior de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-1/3-EL (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço superior de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AD-2/3-L (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço médio de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-2/3-EL (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço médio de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AD-3/3-L (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço inferior de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-3/3-EL (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço inferior de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AP-L (Abacaxi 'BRS Imperial' em área plana, coleta na linha de cultivo); Ab-AP-EL (Abacaxi 'BRS Imperial' em área plana, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AP-SM (Área em pousio, com abacaxizeiros suprimidos no ano de 2017, anteriormente cultivada sem mulching plástico); M-Uba (Manga 'Ubá'); M-Pal (Manga 'Palmer'); M-Esp (Manga 'Espada'); M-RoxE (Manga 'Roxa-Embrapa'); Mata; Cap (Capoeira).

As áreas são irrigadas em sistema por gotejamento, e as plantas de mangueiras submetidas a estresse hídrico entre os meses de maio a setembro, com objetivo de indução floral.

Todos os insumos e práticas utilizados estão de acordo com Instrução Normativa nº 46 de 6 de outubro de 2011, alterada pela Instrução Normativa nº 17, de 18 de junho de 2014, que regulamentam a produção orgânica vegetal no Brasil, bem como as substâncias e práticas permitidas.

Os tratamentos estão descritos na tabela 2.

**Tabela 2** - Tratamentos avaliados quanto aos atributos microbiológicos de solos sob mata, capoeira e produção orgânica de abacaxizeiros e mangueiras. Lençóis, Bahia

USO DO SOLO	SIGLA	DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS
ABACAXIZEIRO ( <i>Ananas comosus</i> L.) 'Perola'	Ab-AD-1/3-L (T1)	Linha (L) Terço superior(1/3)
	Ab-AD-1/3-EL (T2)	Entrelinha(EL)
	Ab-AD-2/3-L (T3)	Linha (L) Terço Médio(2/3)
	Ab-AD-2/3-EL (T4)	Entrelinha(EL)
	Ab-AD-3/3-L (T5)	Linha (L) Terço Inferior(3/3)
	Ab-AD-3/3-EL (T6)	Entrelinha(EL)
ABACAXIZEIRO ( <i>Ananas comosus</i> L.) 'BRS Imperial'	Ab-AP-L (T7)	Linha (L) Área plana, implantada em 2012 com 'Pérola' e 'BRS Imperial', permaneceu em "pousio" entre os anos de 2015 e 2017, cultivada apenas com 'BRS Imperial' desde então. Irrigadas por gotejamento.
	Ab-AP-EL (T8)	Entrelinha(EL)
ABACAXIZEIRO ( <i>Ananas comosus</i> L.) 'Perola'	Ab-AP-SM (T9)	Sem-mulching(SM) Cultivada com 'Pérola' até o ano de 2017, sem cobertura das linhas com mulching plástico. Desde então se encontra em pousio.
MANGUEIRA ( <i>Mangifera indica</i> L.)	'Ubá' (T10)	Implantadas no ano de 2012. Áreas irrigada por sistema de gotejamento, e submetidas a estresse hídrico entre os meses de maio a setembro, para indução floral.
	'Palmer' (T11)	
	'Espada' (T12)	
	'Roxa Embrapa'(T13)	
MATA	T14	Área sem interferência antrópica, adjacente aos cultivos orgânicos.
CAPOEIRA	T15	Vegetação nativa em regeneração.

As coletas de amostras de solo foram realizadas em setembro de 2018 e abril de 2019. De cada tratamento foram retiradas de quatro a oito amostras de solo, representativas do tamanho de cada área, na profundidade de 0-0,20m.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de microbiologia do solo e resíduos orgânicos da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas - BA, peneiradas em malha de 2mm e mantidas a aproximadamente 4°C em câmara refrigeradora até a determinação dos atributos microbiológicos e químicos.

Para cada amostra foi determinada a umidade atual do solo por secagem em estufa a 105°C por 24h.

A caracterização microbiológica foi efetuada por meio dos seguintes atributos: Respiração basal do solo (C-CO<sub>2</sub>), determinada por meio do registro das emissões de CO<sub>2</sub> com auxílio de um sistema LI-COR (LI-8100A, Lincoln, NE,

USA), que utiliza um analisador de gás na faixa do infravermelho (Infra Red Gas Analyzer-IRGA); Carbono da biomassa microbiana (CBiom), por meio da metodologia de fumigação-extração proposta por Brookes *et al.* (1985) e Vance *et al.* (1987), quantificação do C realizada por oxidação do C por permanganato de potássio (BARTLET; ROSS, 1988) e leitura pelo método colorimétrico; Fósforo da biomassa microbiana (Pmic), utilizando metodologia da fumigação-extração, adaptada de Brookes *et al.* (1982) e Murphy; Rilley (1962); As atividades das enzimas  $\beta$ -glucosidase(BGLUC), arilsulfatase(ASULF) e fosfatase ácida(FOSF), de acordo com Tabatabai (1994), onde as amostras de solo foram incubadas na presença de seus substratos específicos, *p*-nitrofenil  $\beta$ -D-glicopironosideo, *p*-nitrofenil sulfato e *p*-nitrofenil-fosfato, respectivamente, por 1 hora a 37°C, para determinação colorimétrica da concentração de *p*-nitrofenol liberado pelas enzimas. A atividade enzimática total, estimada pelo método da hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA), de acordo com metodologia desenvolvida por Schnurer e Rosswall (1982) e adaptada por Costa e Godoi (2002). A densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (DEFMA), obtida por peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e centrifugação em sacarose (JENKINS, 1964), realizando posteriormente a contagem com auxílio de microscópio óptico.

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi obtido pela razão entre a respiração basal do solo (C-CO<sub>2</sub>) por unidade de carbono da biomassa microbiana (CBiom) (ANDERSON; DOMSCH, 1993). O quociente microbiano ( $qMic$ ) calculado pela razão entre Carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico total (MO).

Para a análise estatística efetuou-se primeiramente a verificação da normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk e da homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Para as variáveis que não atenderam à normalidade dos erros e/ou à homogeneidade das variâncias, efetuou-se a transformação dos dados. Os dados originais e/ou transformados, foram submetidos à análise de variância, em esquema fatorial 15 x 2 (Uso do solo X Época de amostragem), sendo as médias comparadas pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade, e analisadas pelo programa R (R CORE TEAM, 2020) versão 4.0.1. Numa segunda etapa, os dados foram submetidos às Análises multivariadas de Componentes Principais (ACP) e de Agrupamento,

utilizando-se como medida de dissimilaridade a distância euclidiana e método de agrupamento UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre os fatores Uso do solo x Época de amostragem, os quais atuaram de forma independente sobre a atividade das enzimas arilsulfatase,  $\beta$ -glucosidase, fofase ácida, atividade enzimática total pelo método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA), e também sobre o índice derivado quociente microbiano (Tabelas 3 e 4).

**Tabela 3** - Atividade das enzimas arilsulfatase (Asulf),  $\beta$ -glucosidase ( $\beta$ -gluc), fosfatase ácida (Fosf), atividade enzimática total (FDA) e quociente microbiano (qMic), em solos sob mata, capoeira e áreas sob cultivo orgânico de mangueira e abacaxizeiro. Lençóis-BA

Uso do solo <sup>(2)</sup>	Asulf	$\beta$ -gluc*	Fosf*	FDA**	qMic
	$\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$	$\text{g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$		<sup>(3)</sup>	%
Ab-AD-1/3-L	27,97b	38,79b	592,58a	337,05a	0,24b
Ab-AD-1/3-EL	27,84b	37,73b	551,42a	252,65b	0,40b
Ab-AD-2/3-L	27,69b	38,47b	922,97a	186,60b	0,46b
Ab-AD-2/3-EL	28,39b	36,57b	689,98a	188,83b	0,48b
Ab-AD-3/3-L	28,24b	38,15b	641,22a	256,27b	0,56b
Ab-AD-3/3-EL	25,62b	38,06b	520,83a	289,05a	0,63b
Ab-AP-L	23,65b	21,34c	575,61a	173,49b	0,52b
Ab-AP-EL	23,91b	29,83c	680,77a	331,13a	0,47b
Ab-AP-SM	25,40b	25,96c	780,66a	345,03a	0,56b
M-Uba	28,05b	35,70b	764,53a	280,24a	0,57b
M-Pal	28,58b	34,81b	795,97a	321,89a	0,64b
M-Esp	30,29b	37,11b	624,94a	334,37a	0,77b
M-RoxE	32,83b	38,13b	723,13a	368,26a	1,15a
Mata	44,21a	55,31a	518,41a	372,86a	0,71b
Cap	37,22a	38,97b	781,27a	375,62a	0,51b
CV(%)	20,21	10,67	15,06	5,82	43,89

Notas:

\*Dados originais transformados por meio de raiz quadrada

\*\*Dados originais transformados por meio de  $\log(x)$

(1) Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

(2) Ab-AD-1/3-L (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço superior de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-1/3-EL (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço superior de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AD-2/3-L (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço médio de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-2/3-EL (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço médio de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AD-3/3-L (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço inferior de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-3/3-EL (Abacaxi 'Pérola' em declive de 3,58%, localizado no terço inferior de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AP-L (Abacaxi 'BRS Imperial' em área plana, coleta na linha de cultivo); Ab-AP-EL (Abacaxi 'BRS Imperial' em área plana, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AP-SM (Área em pousio, com abacaxizeiros suprimidos em 2017, anteriormente cultivada sem mulching plástico); M-Uba

(Manga 'Ubá'); M-Pal (Manga 'Palmer'); M-Esp (Manga 'Espada'); M-RoxE (Manga 'Roxa-Embrapa'); Mata; Cap (Capoeira).  
(3)  $\mu\text{g fluoresceína.g}^{-1} \text{ solo seco.h}^{-1}$

Foram registradas maiores atividades das arilsulfatases nas áreas sob mata e capoeira em comparação àquelas sob cultivo orgânico (Tabela 3). Comportamento possivelmente decorrente da diversidade de espécies vegetais dos ambientes de vegetação nativa, o que favorece maior deposição de substratos orgânicos com diferentes susceptibilidades à decomposição, além da ausência de interferência antrópica. Condições que beneficiam o estabelecimento e atividade de comunidades microbianas (MORALES *et al.*, 2016).

As arilsulfatases não foram sensíveis em detectar diferenças entre os solos sob cultivo orgânico, ou realmente a atividade enzimática entre eles é equivalente. Também não indicou diferença entre capoeira e mata. (Tabela 3).

As médias encontradas para a atividade das  $\beta$ -glucosidases foram sensíveis em indicar diferenças entre os graus de regeneração das áreas de referência, mata e capoeira, apontando condição biológica superior da mata, e condição intermediária e mais próxima do equilíbrio para as áreas sob cultivo de abacaxizeiro 'Pérola' e mangueiras, equiparando-as aos solos sob capoeira.

Não houve diferença entre linha e entrelinha, dentro da avaliação de cada uso do solo, e os solos cultivados com abacaxi 'BRS Imperial' em terreno plano não diferiram da área em pousio, antes cultivada sem mulching (Tabela 3). O que pode ser indicativo de que as plantas espontâneas proporcionaram cobertura eficiente aos solos das entrelinhas de cultivo e área em pousio. Segundo Araujo Neto *et al.* (2014) plantas espontâneas podem ser consideradas como mais uma alternativa de adubação verde para a fruticultura. Esses autores analisaram o efeito sobre a atividade biológica do solo, proporcionada por plantas espontâneas, amendoim forrageiro, puerária, crotalária e feijão de porco, utilizadas de forma isolada como plantas de cobertura, em cultivo consorciado de maracujá, abacaxi, mandioca e milho. Observaram, no período de maior precipitação pluviométrica, plantas espontâneas apresentando valores mais elevados referentes a biomassa microbiana e eficiência metabólica, comparada aos adubos verdes.

Os resultados para FDA não apresentaram um padrão claro de distinção entre as áreas de abacaxi, tornando difícil a interpretação.

Não houve diferença entre os solos avaliados com relação à atividade enzimática da fosfatase ácida (Tabela 3). No entanto, sabe-se que a atividade dessa enzima pode ser afetada por características químicas do solo, o que interfere na confiabilidade dos seus resultados como bom bioindicador.

Quanto ao qMic, as áreas sob cultivo orgânico de 'Roxa Embrapa' apresentaram, isoladamente, resultado superior às demais (Tabela 3). O qMic reflete a eficiência de conversão de substratos orgânicos para carbono microbiano, quanto maiores seus valores melhores são as condições para o desenvolvimento microbiano, que podem ser decorrentes da qualidade e disponibilidade de matéria orgânica adicionada ou da redução de fatores limitantes à microbiota. Segundo Leite *et al.*(2013), a biomassa microbiana sob estresse é incapaz de utilizar totalmente o C orgânico, caso em que o qMic tende a diminuir.

Em estudo realizado em Santo Antônio de Goiás-GO, em Latossolo Vermelho, Cunha *et al.* (2011) verificaram qMic variando em função das coberturas do solo apenas na camada superficial (0-0,10m). Tal observação nos remete à hipótese de que, distinções em sua condição biológica poderiam ser melhor observadas em amostras realizadas nas camadas mais superficiais, em comparação à profundidade de 0-0,20m amostradas no presente estudo.

Observa-se maior atividade das arilsulfatases (Asulf),  $\beta$ -glucosidases ( $\beta$ -gluc), fosfatases ácidas (Fosf), e atividade enzimática total (FDA), assim como do quociente microbiano (qMic), na amostragem realizada em 2018 (Tabela 4).

**Tabela 4** - Atividade das arilsulfatases (Asulf),  $\beta$ -glucosidases ( $\beta$ -gluc), fosfatase ácida (Fosf), atividade enzimática total (FDA) e quociente microbiano (qMic), em solos sob mata, capoeira e sob cultivo orgânico de mangueira e abacaxizeiro. Lençóis-BA

Época de coleta	Asulf $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$	$\beta$ -gluc* $\mu\text{g fluoresceína.g}^{-1} \text{ solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	Fosf* $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$	FDA** (2)	qMic() %
2018	34,95a	43,95a	724,38a	446,42a	0,72a
2019	25,80b	28,71b	545,73b	162,19b	0,50b

Notas:

\*Dados originais transformados por meio de raiz quadrada

\*\*Dados originais transformados por meio de  $\log(x)$

(1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

(2)  $\mu\text{g fluoresceína.g}^{-1} \text{ solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

Os índices pluviométricos precipitados em abril de 2019 (243,6mm) (Figura 1), estiveram muito acima da média mensal local dos doze meses que

antecederam a segunda amostragem. Em épocas onde há um aumento acima da média dos índices pluviométricos e temperatura, os microrganismos tendem a consumir mais substrato, gastando mais energia para sobreviver a esse período de estresse metabólico (NOVAK *et al.*, 2018). Ademais, Antranikian *et al.* (2005) enfatizam o potencial biotecnológico ainda pouco explorado da microbiota dos solos de caatinga, com sua natural adaptação a condições extremas, especialmente de elevadas temperatura e incidência solar, e baixa disponibilidade hídrica, a qual pode ser melhor adaptável às condições edafoclimáticas encontradas na amostragem realizada em setembro de 2018.

Houve interação significativa entre o uso do solo e os atributos: carbono e fósforo da biomassa, carbono orgânico total, respiração basal, quociente metabólico e densidade de esporos de fungos micorrízicos.

O Cbiom apresentou, na 1ª amostragem, valores mais elevados para os solos de mata e capoeira, os quais não diferiram significativamente das áreas cultivadas com mangueiras (Tabela 5).

**Tabela 5** - Médias dos valores referentes ao carbono da biomassa microbiana (Cbiom), carbono orgânico total(MO) e respiração basal do solo (C-CO<sub>2</sub>), em solos sob mata, capoeira e cultivo orgânico de mangueira e abacaxizeiro, em dois períodos de amostragem. Lençóis-BA

Uso do solo <sup>(2)</sup>	Cbiom*		MO		C-CO <sub>2</sub> *	
	mg.kg <sup>-1</sup>		g.kg <sup>-1</sup>		mg.kg <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup>	
	Set/18	Abr/19	Set/18	Abr/19	Set/18	Abr/19
Ab-AD-1/3-L	100,88bA	42,70bA	25,05aA	31,39aA	29,90bA	29,26cA
Ab-AD-1/3-EL	115,72bA	108,37bA	26,41aA	29,81aA	26,42bA	33,77cA
Ab-AD-2/3-L	74,46bB	166,17aA	21,71aB	33,70aA	27,99bA	31,69cA
Ab-AD-2/3-EL	106,16bA	144,15aA	22,06aB	31,06aA	26,94bA	27,56cA
Ab-AD-3/3-L	127,01bA	172,52aA	21,40aB	33,01aA	32,15bB	44,30bA
Ab-AD-3/3-EL	119,82bB	222,59aA	19,98aB	34,29aA	27,22bA	23,46cA
Ab-AP-L	74,83bB	150,88aA	16,70aB	28,67aA	28,26bA	34,92cA
Ab-AP-EL	98,34bA	104,26bA	16,19aB	33,88aA	36,82aA	38,32cA
Ab-AP-SM	115,33bA	111,14bA	18,20aA	23,62bA	39,79aA	32,38cA
M-Uba	150,18aA	78,22bB	19,73aB	28,69aA	43,10aB	54,55bA
M-Pal	137,38aA	173,28aA	20,11aB	30,41aA	40,17aB	63,92aA
M-Esp	180,87aA	183,36aA	21,65aA	26,47bA	32,72bA	37,98cA
M-RoxE	168,03aA	176,02aA	13,75aB	21,31bA	32,63bA	38,95cA
Mata	190,62aA	114,40bB	20,90aA	24,79bA	27,58bB	40,45cA
Capoeira	153,06aA	100,45bA	27,14aA	24,51bA	29,86bA	36,38cA
CV(%)	29,41		18,25		9,44	

Notas:

\*Dados originais transformados por meio de raiz quadrada

- (1) Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.
- (2) Ab-AD-1/3-L (abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço superior de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-1/3-EL(abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço superior de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AD-2/3-L (abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço médio de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-2/3-EL

(abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço médio de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AD-3/3-L(abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço inferior de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-3/3-EL (abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço inferior de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AP-L (abacaxi 'BRS Imperial' em área plana, coleta na linha de cultivo); Ab-AP- EL (abacaxi 'BRS Imperial' em área plana, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AP-SM (área em pousio, anteriormente cultivada com abacaxi 'BRS Imperial' sem mulching plástico); M-Uba (Manga 'Ubá'); M-Pal (Manga 'Palmer'); M-Esp (Manga 'Espada'); M-RoxE (Manga 'Roxa-Embrapa'); Mata; Capoeira.

Maiores valores de C<sub>biom</sub> em solos de mata e sob cultivo de mangueiras, possivelmente é reflexo de situação particular encontrada pela microbiota desses solos. As mangueiras possuem sistema radicular desenvolvido, e conformação botânica que permite projeção da copa de suas árvores de forma a amortecer o impacto das gotas de chuva sobre o solo, além de interceptar parte da radiação solar direta, o que reduz perdas do estoque hídrico. Promovem ainda maior produção de biomassa vegetal e consequente reciclagem desta, o que pode, em parte, explicar essa condição, já que resíduos orgânicos depositados no solo favorecem a biomassa microbiana ao adicionar carbono orgânico após sua decomposição.

As áreas não diferiram significativamente quanto ao teor de matéria orgânica na primeira amostragem de solo, e os solos sob vegetação nativa apresentaram-se com índices mais baixos que algumas áreas sob cultivo orgânico (Tabela 5). Carneiro *et al.* (2009), avaliando efeitos de sistemas de manejo e uso do solo sobre a MO e outros atributos, verificaram que o teor de MO apresentou maior concentração no solo sob pastagem cultivada e menor no solo sob pastagem nativa, e concluíram que somente áreas com grande interferência antrópica e longo tempo de uso mostram diferenças entre si.

Maiores valores de C<sub>biom</sub> e menores de C-CO<sub>2</sub> e qCO<sub>2</sub>, possivelmente resultam em maior sustentabilidade da atividade agrícola (FERREIRA *et al.*, 2017). Esse comportamento dos indicadores foi observado para solos sob mangueira 'Espada' e 'Roxa-Embrapa', em ambas as épocas de amostragem. As áreas de mata, capoeira, manga 'Espada' e 'Roxa Embrapa', apresentaram comportamento similar entre épocas, estando entre os tratamentos com menores índices de respiração basal. Segundo Mendes *et al.* (2015), devido à maior complexidade de resíduos vegetais encontrados em áreas sob vegetação nativa, o acúmulo de carbono prontamente mineralizável é menor do que nas áreas cultivadas. Resultando em níveis mais baixos de respiração basal nestes solos, em

comparação com os solos cultivados, com conteúdos semelhantes de matéria orgânica.

As áreas estudadas não diferiram entre si quanto ao  $qCO_2$  na amostragem de 2018, contudo, em 2019 houve variação de seus valores (Tabela 6).

**Tabela 6** - Médias dos valores referentes a quociente metabólico ( $qCO_2$ ), fósforo da biomassa microbiana ( $P_{mic}$ ) e densidade de esporos de fungos micorrízicos (DEFMA), em solos sob mata, capoeira e áreas de cultivo orgânico de manga e abacaxi, nos anos de 2018 e 2019. Lençóis-BA

Uso do slo <sup>(2)</sup>	$qCO_2^{**}$		$P_{mic}^*$		DEFMA	
	mg C-CO <sub>2</sub> mg CBM <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>		mg.kg <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup>		números absolutos/100g solo	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Ab-AD-1/3-L	0,29aB	0,69aA	20,76aA	19,91aA	39,33cB	139,33aA
Ab-AD-1/3-EL	0,23aB	0,43bA	24,67aA	36,16aA	27,67cB	131,67aA
Ab-AD-2/3-L	0,36aA	0,22cA	28,59aA	29,70aA	147,00aA	200,67aA
Ab-AD-2/3-EL	0,28aA	0,21cA	25,28aA	25,38aA	57,67cA	109,67aA
Ab-AD-3/3-L	0,27aA	0,27cA	37,03aA	17,92aA	56,00cB	139,67aA
Ab-AD-3/3-EL	0,23aA	0,11dA	40,97aA	21,58aA	39,67cA	74,33bA
Ab-AP-L	0,44aA	0,27cB	27,70aA	16,58aA	74,50cA	122,25aA
Ab-AP-EL	0,39aA	0,39bA	16,99aA	18,46aA	29,50cA	72,75bA
Ab-AP-SM	0,30aA	0,32bA	40,07aA	15,95aB	86,25bB	142,50aA
M-Uba	0,29aB	0,65aA	36,30aA	14,65aB	61,00cA	65,12bA
M-Pal	0,32aA	0,30bA	44,70aA	22,15aB	58,75cA	42,80bA
M-Esp	0,20aA	0,21cA	23,49aA	13,87aA	98,20bA	50,60bB
M-RoxE	0,19aA	0,22cA	40,58aA	15,59aB	107,00bA	48,80bB
Mata	0,15aB	0,39bA	22,60aA	32,86aA	22,75cA	22,12bA
Cap	0,20aB	0,38bA	30,40aA	16,26aA	41,50cA	46,75bA
CV(%)	33,31		26,53		50,77	

Notas:

\*Dados originais transformados por meio de raiz quadrada

\*\*Dados originais transformados por meio de  $\log(x)$

- (1) Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.
- (2) Ab-AD-1/3-L (abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço superior de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-1/3-EL(abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço superior de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AD-2/3-L (abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço médio de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-2/3-EL (abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço médio de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AD-3/3-L(abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço inferior de plantio, coleta na linha de cultivo); Ab-AD-3/3-EL (abacaxi 'Pérola' em área declivosa, localizado no terço inferior de plantio, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AP-L (abacaxi 'BRS Imperial' em área plana, coleta na linha de cultivo); Ab-AP- EL (abacaxi 'BRS Imperial' em área plana, coleta na entrelinha de cultivo); Ab-AP-SM (área em pousio, anteriormente cultivada com abacaxi 'BRS Imperial' sem mulching plástico; M-Uba (Manga 'Uba'); M-Pal (Manga 'Palmer'); M-Esp (Manga 'Espada'); M-RoxE (Manga 'Roxa-Embrapa'); Mata; Capoeira.

Corroborando com o presente estudo, Novak *et al.*(2018) não encontraram diferença significativa nos índices de  $qCO_2$  entre as áreas avaliadas em uma das épocas de amostragem, concluindo que esse comportamento pode indicar condições apropriadas para o desenvolvimento microbiano, provavelmente decorrentes da adição de matéria orgânica de boa qualidade ou da eliminação de fator limitante.

As áreas de referência apresentaram índices de  $qCO_2$  mais elevados na 2ª amostragem. Índices mais elevados de  $qCO_2$  são indicativo de ecossistemas submetidos a alguma condição de distúrbio ou instabilidade do seu equilíbrio, ou ainda ecossistemas jovens ou com aporte de matéria orgânica de baixa qualidade (ANDERSON; DOMSCH, 2010).

Por sua vez, o fósforo da biomassa microbiana ( $P_{mic}$ ) não diferiu significativamente os usos dos solos avaliados (Tabela 6).

Além do  $P_{mic}$ , a produção de enzimas, como fosfatases ácida e alcalina por microrganismos, e a atuação dos microrganismos solubilizadores de fosfato e dos fungos micorrízicos, são responsáveis pela mineralização do P orgânico (CARNEIRO *et al.*, 2004).

A DEFMA variou de 22,7 a 147,0 e de 22,1 a 200,6 esporos. $100g^{-1}$  de solo nas amostragens de 2018 e 2019, respectivamente. Em ambas as épocas de coleta, os solos sob vegetação nativa (mata) apresentaram menor DEFMA em comparação às demais áreas. Mergulhão *et al.*(2014) afirmam que o estabelecimento, desenvolvimento e conservação dos ecossistemas naturais são dependentes da associação micorrízica, a qual propicia aos vegetais estratégia nutricional superior à de plantas não micorrizadas, beneficiando a sobrevivência em condições de estresse. Por vezes, os esporos micorrízicos se constituem em estratégia de plantas para superar estresses bióticos e abióticos que ocorrem no solo, produzindo mais esporos em condições ambientais estressantes.

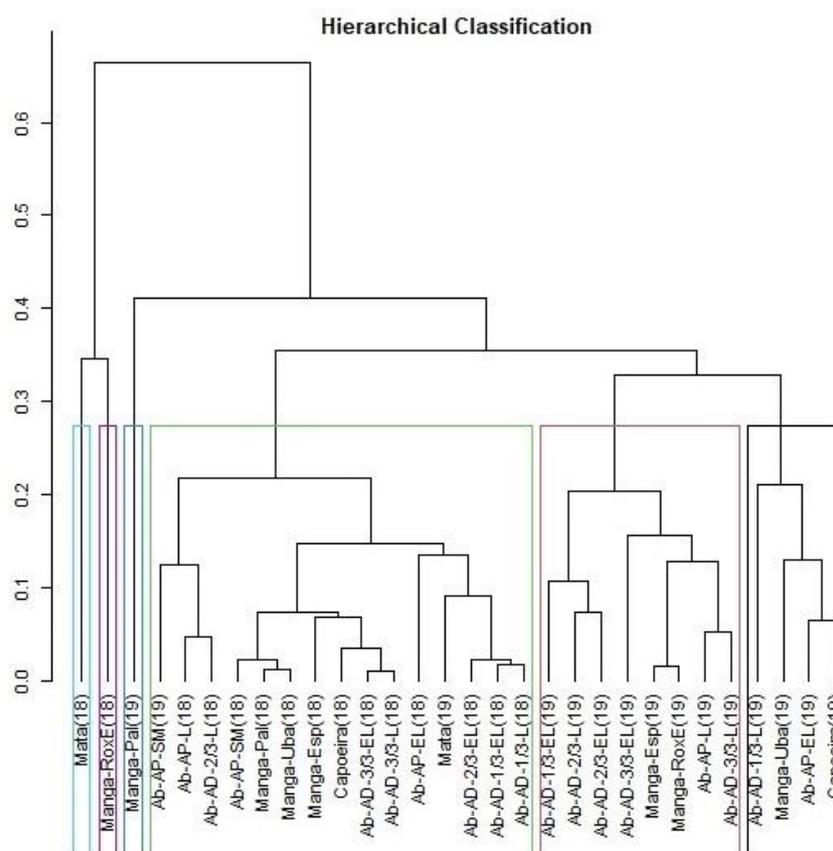
A análise multivariada de agrupamento resultou na formação de seis grupos, em função da similaridade das variáveis estudadas (Figura 2).

A análise de agrupamento demonstrou que os solos sob 'Roxa Embrapa' e 'Palmer' foram os que mais se aproximaram da condição biológica dos solos referência (mata). Tal comportamento pode ser explicado por meio de valores equivalentes, ou ainda mais favoráveis, no ambiente cultivado por 'Roxa

Embrapa' para atributos como qMic, Cbiom, e DEFMA, de acordo com os testes de médias (Tabelas 3, 5 e 6). Para os solos sob mangueira 'Palmer', os teores de C-CO<sub>2</sub> Cbiom, e MO (Tabela 5) podem ter contribuído mais efetivamente para esse resultado.

Um quarto grupo foi formado pela mata e abacaxizeiro em pousio, avaliados em 2019, e todos os demais tratamentos observados em 2018. Se considerarmos que a condição edafoclimática encontrada em setembro de 2018, aparentemente proporcionou melhor conforto metabólico para a microbiota, possivelmente a mata e o solo em pousio apresentaram maior resiliência comparado aos demais usos do solo.

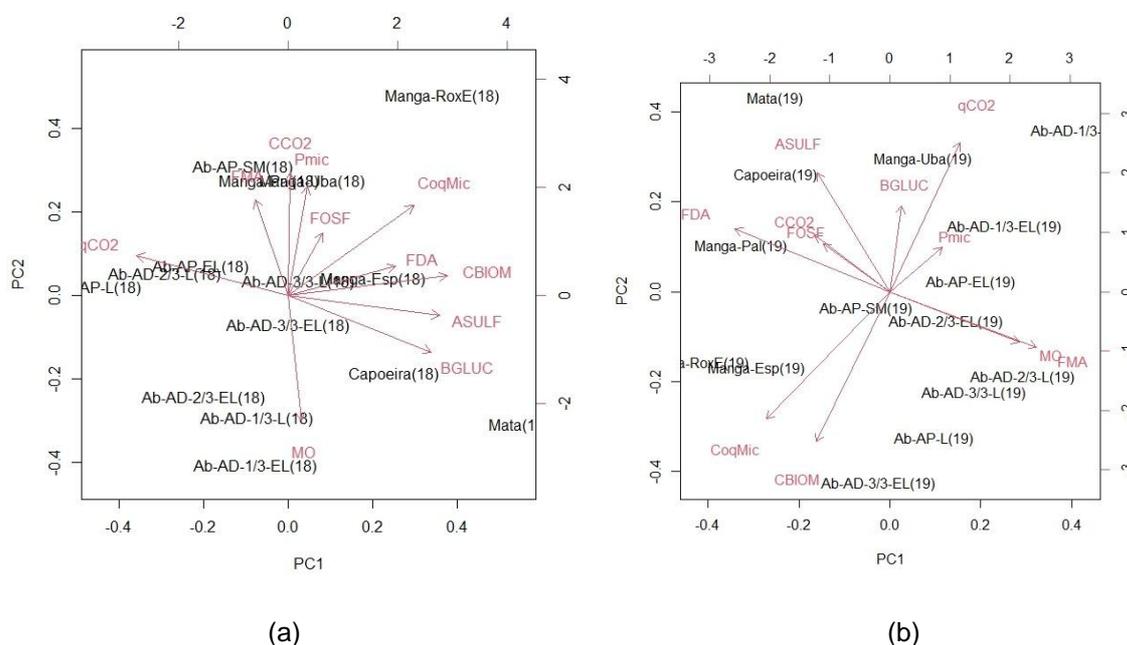
**Figura 2** - Dendrograma de agrupamento de áreas em cultivo orgânico de mangueiras e abacaxizeiros, mata e capoeira, a partir da distância euclidiana e método de agrupamento UPGMA, com base em atributos microbiológicos dos solos. Lençóis-BA, 2018 e 2019



Os grupos 5 e 6 foram formados pelas demais áreas, quando analisadas em abril de 2019.

O resultado da análise multivariada, por meio da técnica de componentes principais, aponta ainda que do total de dez variáveis microbiológicas analisadas em conjunto com MO, foram extraídos dois componentes principais que tiveram maior influência sobre os resultados obtidos em 2018, os quais explicaram, em porcentagem, a variabilidade total em 61,2% dos dados. O componente principal 1, que explica 38,49% da variabilidade dos dados coletados em 2018, apresentou correlação forte positiva com as variáveis Cbiom, ASULF, BGLUC e CoqMic, nessa ordem, e correlação forte negativa com  $qCO_2$  (Figura 3A e 3B).

**Figura 3** - Peso de atributos microbiológicas de solos cultivados com frutíferas em sistema orgânico de produção, nos dois primeiros componentes principais. Lençóis, 2018(a) e 2019 (b)



O componente principal 2, por sua vez, explicou 22,7% da variabilidade dos dados coletados em 2018, apresentando correlação forte positiva com  $C-CO_2$  e negativa com a MO.

Apesar da análise de componentes principais apontar correlação negativa para essa variável nas amostras de 2018, a MO não se apresentou, pelo teste de médias, como um atributo sensível para indicar modificações ocorridas no solo, decorrentes de seu uso.

Os atributos que apresentaram valores elevados dos pesos fatoriais dão indicativo de quais são as variáveis mais significativas na distinção dos

tratamentos. Estes atributos se referem à atividade enzimática (ASULF, BGLUC) e à biomassa microbiana (CBIOM) e índices dela derivados  $qCO_2$  e  $qMic$ .

Na amostragem de 2019, atributos relacionados à qualidade biológica dos solos foram restritos a três componentes principais que explicaram em conjunto 77,13% da variabilidade total dos dados, em proporções equivalentes a 27,87%, 26,70% e 22,53%. Apesar dos fatores apresentados terem contribuído para a variabilidade dos dados, quando compara-se com o comportamento dos atributos nos testes de média, as correlações apresentadas não representam padrão de variação que explique o comportamento microbiano. Provavelmente, a proporção explicada cada componente, não foi suficiente para conclusões assertivas.

## CONCLUSÃO

- A atividade das enzimas  $\beta$ -glucosidase e arilsulfatase, o carbono da biomassa microbiana e o quociente metabólico, constituem-se bons indicadores biológicos de qualidade de solos para as condições de cultivo orgânico de *Mangifera indica L.* e *Ananas comosus L.* no município de Lençóis, Bahia;
- O cultivo orgânico de mangueiras 'Roxa Embrapa' e 'Palmer' provocaram alterações menos significativas nos processos biológicos dos solos, apresentando condição mais favorável para o crescimento e a atividade da biomassa microbiana, estando mais próximas às encontradas nas áreas sob vegetação nativa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, T-H; DOMSCH, K. H.. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 42, p. 2039-2043, 2010.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of  $CO_2$  ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ANTRANIKIAN G.; VORGIAS C.E.; BERTOLDO C.. Extreme environments as a resource for microorganisms and novel biocatalysts. **Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology**. v.96, p.219-262, 2005.

ARAÚJO NETO, S.E.; SILVA, A.N.; KUSDRA, J.F.; KOLLN, F.T.; ANDRADE NETO, R. C.. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 650-658, , 2014.

BARTLETT, R.J.; ROSS, D.S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society America Journal**, v.52, p.1191-1192, 1988.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PUDEN, G. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.17, p.837-842, 1985.

BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S., JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.14, p.319-329, 1982.

CARNEIRO, M. A. C., SOUZA, E. D. de, REIS, E. F. dos, PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. v.33, n.1, p 147-157, 2009.

CARNEIRO, R. G.; Mendes, I. de C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M. de; VIVALDI L. J.. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.39, n.7, p.661-669, 2004.

COSTA, J.L.S.; GODOI, L.C. Hydrolysis of fluorescein diacetate as a soil quality indicator in different pasture systems. *In: International technical workshop on*

**biological management of soil ecosystems for sustainable agriculture.**  
Londrina, p. 83-84. 2002.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D.; MOREIRA, J.A.A. & LEANDRO, W. M. - Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 603-611. 2011.

EMBRAPA. Sistema Orgânico de Produção de Manga para a Região da Chapada Diamantina, Bahia . Embrapa Mandioca e Fruticultura. **Sistema de Produção, 49.** Versão Eletrônica. 2020.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília, DF : Embrapa, 574 p., 2017.

FERREIRA, E. P. de B.; STONE , L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G.. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

FREITAS, N. de O.; YANO-MELO, A. M.; SILVA, F. S. B. da; MELO, N. F. de; MAIA, L. C.. Soil biochemistry and microbial activity in vineyards under conventional and organic management at Northeast Brazil. **Scientiae agricola (Piracicaba, Braz.) [online]**. v.68, n.2, p.223-229, 2011.

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

IBGE - – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal 2019** - Disponível- site IBGE (20 fevereiro 2021). <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 20 fev. 2021.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP.** Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 20 mai. de 2019.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for extracting nematodes from soil. **Plant Disease Report.**, p. 48, n.9, 692p.,1964.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra.** Mexico, DF: Fondo de Cultura Econômica. 479p.1948.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P. de; COSTA, C. do N.; FERREIRA, J. da S.; HOLANDA NETO, M. R.. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.17, n.2, p.1257-1263, 2013.

LOPES, A. A. de C.; SOUSA, D. M. G. de; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; GOEDERT, W. J.; MENDES, I de C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2013.

MENDES, I. de C.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; SOUSA, D. M. G. de (in memoriam); DANTAS, O.D.; OLIVEIRA, M. I. L. de; MALAQUIAS, J. V.. **Tecnologia BioAS : uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo.** Documentos, 369. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 50p., 2021.

MENDES, I. de C. *et al.* BIOINDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO: Dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p.191-209, 2015.

MERGULHÃO, A. C. E. S.; SIVA, M. V. da; LYRA, M. C. C. P. de; FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA, M. L. R. B. da; MAIA, L. C. Caracterização morfológica e molecular de fungos micorrízicos arbusculares isolados de áreas de mineração de gesso, Araripina, PE, Brasil. **Hoehnea.** v. 41, n. 3, p. 393-400, 2014.

MORALES, D.; VARGAS, M. M.; OLIVEIRA, M. P. De; TAFFE, B. L.; COMIN, J; SOARES, C.R.; LOVATO, P.. Resposta da microbiota do solo à aplicação de esterco suíno e ureia por nove anos. **Ciência rural**, v. 46, n.2, 2016.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27, p.31-36, 1962.

NOVAK, E.; CARVALHO, L. A.; SANTIAGO, E. F., BRUMATTI, A. V., SANTOS, L. L. , SALES, L. C.. Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.3, p.603-611,2018.

PÁDUA, T. R. P. De; ROSA, R. C. C.; MATOS, A. P. De; VIANA, E. de S.; REIS, R. C.; CORDEIRO, Z. J. M.. Manejo de plantas de cobertura e adubação para abacaxizeiro cultivado em sistema orgânico de produção em Lençóis, Chapada Diamantina – BA. **Comunicado técnico, 173**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 8p., 2020.

SCHNURER, J. & ROSSWALL, T. Fluorescein Diacetate Hydrolysis as a Measure of Total Microbial Activity in Soil and Litter. **Applied and environmental microbiology**, v. 43, n.6, 1256-126.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. *In*: WEAVER, R.W.; SCOTT, A. & BOTTOMELEY, P.J., eds. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Soil Science Society of America - Special Publication, 5 , p.778-835, 1994.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology. Biochemistry**.v.19, p.703-707, 1987.

## ARTIGO 2

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DE SOLO SOB SISTEMA ORGÂNICO DE  
PRODUÇÃO DE BANANEIRA (*Musa* spp.) 'BRS PRINCESA'<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Acta Scientiarum - Agronomy, em versão na língua inglesa.

## **Atributos microbiológicos de solos sob sistema orgânico de produção de bananeira (*Musa spp.*) 'BRS Princesa'**

**Resumo:** Os microrganismos atuam em diversos processos biológicos do solo, fundamentais para a dinâmica de ecossistemas naturais e agroecossistemas, tornando-os sensíveis à interferências que provoquem impacto sobre sua comunidade. O presente estudo avaliou, por meio de atributos microbiológicos, alterações em solo cultivado com bananeira (*Musa spp.*) 'BRS Princesa' em sistema orgânico de produção. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos constituídos por: 1) 'BRS Princesa' sob cobertura do solo por adubos verdes, e utilização de 2.820 kg.ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola; 2) 'BRS Princesa' sob cobertura do solo por adubos verdes, sem gessagem; 3) 'BRS Princesa' sob cobertura do solo com plantas espontâneas, e utilização de 2.820 kg.ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola; 4) BRS Princesa' sob cobertura do solo com plantas espontâneas, sem gessagem; tendo como testemunhas 5) Caatinga nativa e 6) Capoeira. Os atributos avaliados foram: atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase, arilsulfatase, fosfatase ácida, e atividade enzimática total (FDA); conteúdos de carbono e fósforo da biomassa microbiana; respiração basal do solo; quocientes microbiano e metabólico; e densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares. Amostras de solo foram coletadas na camada de 0-0,20m de profundidade, em duas épocas (setembro de 2018 e abril de 2019). Nenhuma das variáveis distinguiu os tratamentos sob cultivo orgânico de bananeira 'BRS Princesa', inferindo que as plantas espontâneas proporcionaram condição equivalente aos adubos verdes para o crescimento e atividade da microbiota desses solos, e que não houve influência da aplicação de gesso agrícola na profundidade analisada. Entretanto, a atividade das enzimas  $\beta$ -glucosidases e arilsulfatases, o teor de carbono da biomassa microbiana e os quocientes metabólico e microbiano, apresentaram-se sensíveis às alterações de uso do solo, ao distinguir áreas sob cultivo orgânico daquelas sob vegetação nativa, sendo considerados bons indicadores para monitoramento da qualidade desses solos.

**Palavras-chave:** Fruticultura orgânica, bioindicadores, biomassa microbiana, atividade enzimática do solo, quocientes microbiano e metabólico.

## **Microbiological properties of soils under organic farming of banana (*Musa* spp.) 'BRS Princesa'**

**Abstract:** Soil microbiota has a key role in biological processes in the dynamics of natural and agro-ecosystems, making it sensitive to changes occurring in these environments. The present study evaluated the changes in microbiological properties of soils grown with banana (*Musa* spp.) 'BRS Princesa' under an organic production system. The experimental design was fully randomized blocks, with four replications. Treatments consisted of: 1) soil cover with green manure and agricultural gypsum at a dose of 2,820 kg.ha<sup>-1</sup>; 2) soil cover with green manure without gypsum application; 3) soil cover with weeds and agricultural gypsum at a dose of 2,820 kg.ha<sup>-1</sup>; 4) soil cover with spontaneous plants without gypsum application, plus two controls of 5) soil under native Caatinga and 6) under regenerating forest (capoeira). The properties evaluated were  $\beta$ -glucosidase, arylsulfatase, acid phosphatase, and total (FDA) enzyme activities; carbon and phosphorus contents in microbial biomass; basal soil respiration; microbial and metabolic quotients; and arbuscular mycorrhizal fungi spore density. To do so, soil samples were collected from the 0-0.20m depth layer in two seasons (September 2018 and April 2019). No parameter was able to distinguish the treatments under organic cultivation of 'BRS Princesa' banana. Spontaneous plants provided conditions equivalent to those under green manures for plant growth and microbiota activity in the soils. Agricultural gypsum application also did not influence the analyzed soil depth layer. However,  $\beta$ -glucosidase and arylsulfatase activities, carbon content in microbial biomass, and metabolic and microbial quotients were sensitive to land-use changes and able to distinguish areas under organic cultivation from those under native vegetation. Therefore, these properties can be considered good indicators for monitoring the quality of such soils.

**Keywords:** Organic fruit growing, bioindicators, microbial biomass, soil enzymatic activity, microbial and metabolic quotients.

## INTRODUÇÃO

A bananicultura encontra na região Nordeste do Brasil ambiente ecofisiológico ideal para sua produção, sendo cultivada predominantemente por agricultores familiares, o que reforça sua importância socioeconômica (LICHTEMBERG *et al.*, 2013). A região respondeu por 2.332.671t no ano de 2019, o que corresponde a 34,24% de toda a produção nacional, sendo a Bahia o segundo Estado maior produtor (828.284 t em 2019), superada apenas por São Paulo (1.008.877 t) (IBGE, 2021).

Grande parte da produção nacional de banana ainda depende do uso de agroquímicos (EMBRAPA, 2016), embora haja crescente demanda por práticas de manejo agroecológicas.

A agricultura orgânica apresenta-se nesse contexto como oportunidade para vários segmentos da cadeia produtiva. Norteia-se nos princípios e conhecimentos gerados pela agroecologia, e tem como primeira preocupação a recuperação e manutenção do equilíbrio biológico, manejando o solo como um ambiente vivo, no qual a microbiota desempenha funções fundamentais para manutenção da sua dinâmica (MENDES; REIS JUNIOR, 2013).

Diversos pesquisadores têm estudado a influência de diferentes sistemas de cultivo na biomassa e atividade microbiana dos solos. Faria *et al.* (2021) observaram, em bananicultura orgânica, valores médios para biomassa microbiana (677,13 e 927,69  $\mu\text{g C/g de C. g de solo seco}$ ),  $q\text{CO}_2$  (1,79 e 2,35  $\mu\text{gCO}_2/\mu\text{g C. g de solo seco. dia}$ ) e respiração basal (38,29 e 71,16  $\mu\text{g CO}_2/\text{g de solo seco.dia}$ ) sem diferença significativa para solos de mata, indicativo de que as práticas culturais e de manejo adotadas contribuíram para uma boa qualidade dos solos. Aguiar *et al.* (2013) encontraram valores de Carbono da biomassa significativamente mais elevados em área com braquiária (175,15 $\text{mgC.kg}^{-1}\text{solo}$ ), comparativamente com solos em cultivo orgânico de bananeira (147,70 $\text{mgC.kg}^{-1}\text{solo}$ ), que por sua vez apresentou maiores índices que solos degradados (70,00 $\text{mgC.kg}^{-1}\text{solo}$ ). Olivares *et al.*(2020) identificaram cinco variáveis edáficas correlacionadas com a produtividade de bananeiras, dentre elas, respiração microbiana e nematóides de vida livre, e propuseram o uso desses indicadores em programa de manejo de solo específico para áreas sob bananicultura da Venezuela.

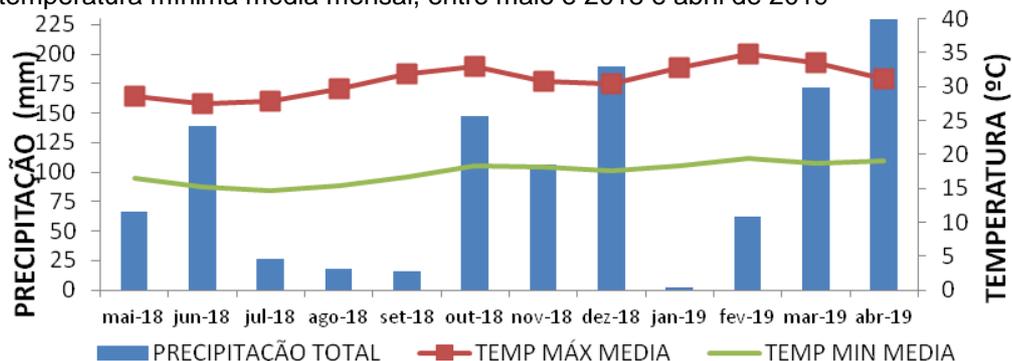
O presente trabalho objetivou estudar a sensibilidade de atributos microbiológicos a alterações ocorridas em solos sob sistema orgânico de produção de bananeira 'BRS Princesa', com diferentes coberturas e submetidos ou não a gessagem, com vistas à inferências a respeito da saúde desses solos, e à identificação de mecanismos eficazes ao monitoramento da qualidade dos manejos adotados.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em parceria com a empresa Bioenergia orgânicos LTDA, no município de Lençóis, Chapada Diamantina, Bahia, a 12°36'29.4" de latitude Sul, 41°21'14.6" de longitude Oeste, e altitude de 437m. O clima do local é classificado como do tipo Aw - Tropical de Savana, caracterizado por temperaturas anuais elevadas, e regime de chuvas com verão chuvoso e inverno seco, de acordo com Köppen (1948). A pluviosidade média anual é de 1206 mm, e a temperatura média em Lençóis é de 23.9°C.

No período compreendido entre maio de 2018 a abril de 2019, a precipitação total mensal variou entre 1,8mm e 243,6mm, e as temperaturas médias mínima de 14,65°C a máxima de 34,78°C (Figura 1).

**Figura 1** - Precipitação total mensal, temperatura máxima média mensal e temperatura mínima média mensal, entre maio de 2018 e abril de 2019



Fonte de dados: INMET, 2019.

O solo do local é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico de textura argilosa. Seus atributos químicos estão apresentados na Tabela 1. As análises laboratoriais foram realizadas de acordo com EMBRAPA (2017)

**Tabela 1** - Atributos químicos de solo sob mata, capoeira e sistemas de produção orgânica de banana (*Musa spp.*)

TRAT <sup>(1)</sup>	pH	P	SB	K	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	Na	H+Al	CTC	V
	<i>Em</i> <i>H<sub>2</sub>O</i>	<i>mg.d</i> <i>m-3</i>	<i>cmol .dm<sup>-3</sup></i>						<i>%</i>			
B-SC-G2	5,50	8,00	4,75	0,19	2,38	1,96	4,33	0,20	0,23	8,21	12,96	37,75
B-CC-G2	5,93	18,50	5,72	0,15	2,86	2,61	5,47	0,00	0,12	5,66	11,38	50,75
B-SC-G0	5,75	14,50	5,67	0,15	2,75	2,64	5,39	0,00	0,12	7,53	13,19	43,00
B-CC-G0	5,83	11,25	5,60	0,17	2,55	2,45	5,01	0,08	0,42	6,80	12,39	47,25
Mata	4,28	4,00	0,92	0,19	0,34	0,38	0,72	1,55	0,01	10,18	11,10	8,50
Capoeira	4,60	2,75	2,10	0,08	1,09	0,92	2,01	1,03	0,01	9,52	11,62	16,75

(1) B-SC-G2 (Sem cobertura do solo e com gessagem), B-CC-G2 (com cobertura do solo e com gessagem), B-SC-G0 (sem cobertura do solo e sem gessagem), B-CC-G0 (Com cobertura do solo e sem gessagem), Mata e Capoeira.

A área experimental é cultivada em sistema orgânico desde o ano de 2017. Todos os insumos e práticas utilizados estão de acordo com a Instrução Normativa nº 46 de 6 de outubro de 2011, alterada pela Instrução Normativa nº 17, de 18 de junho de 2014, que regulamentam a produção orgânica vegetal no Brasil, bem como as substâncias e práticas permitidas.

O experimento foi delineado em blocos ao acaso, em esquema fatorial 6 X 2, sendo seis tratamentos: T1= B-SC-G2 - Cobertura do solo caracterizada por crescimento e roçagem de plantas espontâneas, até o estabelecimento da cultura principal (bananeira), e gessagem na dose de 2.820 kg.ha<sup>-1</sup>; T2= B-CC-G2 - Cobertura do solo caracterizada por semeadura e cortes sucessivos de coquetel de plantas utilizadas como adubos verdes [feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), mucuna preta (*Mucuna pruriens* (L.) DC.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), em igual proporção] até o estabelecimento da cultura principal (bananeira), e gessagem na dosagem de 2.820 kg.ha<sup>-1</sup>; T3= B-SC-G0 - Cobertura do solo caracterizada pelo crescimento e roçagem de plantas espontâneas até o estabelecimento da cultura principal (bananeira), sem gessagem; T4=B-CC-G0 - Cobertura do solo caracterizada pela semeadura e cortes sucessivos de coquetel de plantas utilizadas como adubos verdes [feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), mucuna preta (*Mucuna pruriens* (L.) DC.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), em igual proporção] até o estabelecimento da cultura principal (bananeira), sem gessagem; T5 e T6=Correspondem respectivamente à área de mata nativa, e área de capoeira (vegetação nativa em regeneração), ambas adjacentes aos cultivos de bananeira, formando um cordão vegetal, e

serviram como testemunhas. E duas épocas de coleta (setembro de 2018 e abril de 2019), com quatro repetições.

Cada parcela foi constituída por 18 plantas, em espaçamento 2 x 2 m, e 62,5 m<sup>2</sup> de área.

De cada tratamento foram coletadas quatro amostras de solo, retiradas na camada 0-0,20m de profundidade. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia do solo e resíduos orgânicos da EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas-BA. No Laboratório, as amostras foram peneiradas em malha de 2 mm e mantidas a aproximadamente 4°C até a realização das análises químicas e microbiológicas. Para cada amostra, foi determinada a umidade atual do solo, por secagem em estufa a 105°C por 24h.

A caracterização microbiológica foi efetuada por meio dos seguintes atributos: Respiração basal do solo (C-CO<sub>2</sub>), determinada por meio do registro das emissões de CO<sub>2</sub> com auxílio de um sistema LI-COR (LI-8100A, Lincoln, NE, USA), que utiliza um analisador de gás na faixa do infravermelho (Infra Red Gas Analyzer- IRGA); Carbono da biomassa microbiana (CBiom), por meio da metodologia de fumigação-extração proposta por Brookes *et al.* (1985) e Vance *et al.* (1987), quantificação do C realizada por oxidação do C por permanganato de potássio (BARTLET; ROSS, 1988) e leitura pelo método colorimétrico; Fósforo da biomassa microbiana (Pmic), utilizando metodologia da fumigação-extração, adaptada de Brookes *et al.* (1982) e Murphy; Rilley (1962); As atividades das enzimas β-glucosidase(BGLUC), arilsulfatase(ASULF) e fosfatase ácida(FOSF), de acordo com Tabatabai (1994), onde as amostras de solo foram incubadas na presença de seus substratos específicos, p-nitrofenil β-D-glicopironosideo, p-nitrofenil sulfato e p-nitrofenil-fosfato, respectivamente, por 1 hora a 37°C, para determinação colorimétrica da concentração de p-nitrofenol liberado pelas enzimas. A atividade enzimática total, estimada pelo método da hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA), de acordo com metodologia desenvolvida por Schnurer e Rosswall (1982) e adaptada por Costa e Godoi (2002). A densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (DEFMA), obtida por peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e centrifugação em sacarose (JENKINS, 1964), realizando posteriormente a contagem com auxílio de microscópio óptico.

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi obtido pela razão entre a respiração basal do solo ( $C-CO_2$ ) por unidade de carbono da biomassa microbiana (CBiom) (ANDERSON; DOMSCH, 1993). O quociente microbiano ( $qMic$ ) calculado pela razão entre Carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico total (MO).

Para a análise estatística efetuou-se primeiramente a verificação da normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk e da homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Para as variáveis que não atenderam à normalidade dos erros e/ou à homogeneidade das variâncias, efetuou-se a transformação dos dados. Os dados originais e/ou transformados, foram submetidos à análise de variância, em esquema fatorial 6 x 2 (Uso do solo X Época de amostragem), sendo as médias comparadas pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade, e analisadas pelo programa R (R CORE TEAM, 2020) versão 4.0.1. Numa segunda etapa, os dados foram submetidos às Análises multivariadas de Componentes Principais (ACP) e de Agrupamento, utilizando-se como medida de dissimilaridade a distância euclidiana e método de agrupamento UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a atividade das enzimas arilsulfatase,  $\beta$ -glucosidase, fosfatase ácida e atividade enzimática total estimada pelo método da hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA), não houve interação significativa entre os tratamentos e os períodos de coleta. Dessa forma, os fatores uso do solo e período de coleta, foram analisados isoladamente e sem desdobramento (Tabelas 2 e 3).

**Tabela 2** - Atividade das enzimas  $\beta$ -glucosidase ( $\beta$ -gluc), arilsulfatase (Asulf), fosfatase ácida (Fosf) e atividade enzimática total (FDA), em solos sob cultivo orgânico de bananeira (*Musa spp.*), capoeira e mata. Lençóis, BA. 2018 e 2019

ÉPOCAS DE COLETA	$\beta$ -gluc	Asulf	Fosf	FDA
	(µg <i>p</i> -nitrofenol g <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup> )			( <sup>2</sup> )
<b>2018</b>	51,90a	41,91a	847,17a	466,02a
<b>2019</b>	29,96b	26,68b	455,88b	191,23b

Notas:

- (1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.
- (2) µg fluoresceína.g<sup>-1</sup> solo seco<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>

Os solos apresentaram maior atividade das  $\beta$ -glucosidases, arilsulfatases, fosfatase ácida e atividade enzimática total, nas amostras coletadas em 2018 (Tabela 2). Resultado que pode estar associado aos índices pluviométricos dos períodos avaliados, pois condições de baixa pluviosidade caracterizaram o mês de setembro de 2018 (16mm), e podem ter sido devidamente compensadas por manejo adequado da irrigação nas áreas sob cultivo orgânico, e também pelas coberturas vegetais dos solos sob mata e capoeira. Os microrganismos nativos produtores dessas enzimas, são adaptados a ambiente com condições severas, selecionados para expressar sua atividade sob situações que seriam limitantes à outro microbioma, como estar sempre exposto a altas temperaturas, radiação solar e baixa disponibilidade de água.

Os solos sob mata e capoeira apresentaram maior atividade das  $\beta$ -glucosidases, em comparação àqueles sob cultivo orgânico de bananeira (Tabela 3). As  $\beta$ -glucosidases são enzimas que participam do ciclo do carbono, atuando na hidrólise da celobiose, um dissacarídeo de rápida decomposição no solo, o qual corresponde à etapa final da decomposição da celulose. Também hidrolisam alguns oligossacarídeos solúveis em glicose, liberando fonte de energia para os microrganismos (MAKOI; NDAKIDEMI, 2008). Maiores índices da atividade dessas enzimas são normalmente encontrados em solos menos antropizados, conforme relatado por diversos autores. Lisboa *et al.* (2012), observaram atividade enzimática de  $\beta$ -glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida menor em plantio convencional, enquanto o campo natural e o plantio direto tenderam a apresentar resultados semelhantes, constatação que os autores atribuíram à capacidade do plantio direto em manter a qualidade original do solo. Cavalcante *et al.* (2020), ao avaliar atividade enzimática de solos do bioma Caatinga em áreas preservadas e antropizadas, verificaram ação antrópica proporcionando redução das atividades enzimáticas de  $\beta$ -glicosidase e arilsulfatase.

**Tabela 3** - Atividade das enzimas  $\beta$ -glucosidase ( $\beta$ -gluc), arilsulfatase (Asulf), fosfatase ácida (Fosf) e atividade enzimática total (FDA) em duas épocas de coleta (seco e chuvoso) em solos de mata, capoeira e sob cultivo orgânico de *Musa* spp. 'BRS Princesa' na Fazenda Ceral. Lençóis, BA

Tratamentos	$\beta$ -gluc	Asulf	FOSF	FDA
	$\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$			(3)
B-SC-G2	29,84b	38,40b	556,84b	350,92a
B-CC-G2	29,98b	34,55b	702,24a	294,09a
B-SC-G0	29,70b	35,02b	760,40a	294,08a
B-CC-G0	33,48b	38,67b	568,52b	297,74a
Mata	43,70a	58,01a	509,47b	359,29a
Capoeira	39,05a	40,93b	811,69a	375,62a
CV(%)	21,30	6,87	25,36	27,98

Notas:

\*Dados originais transformados por  $\log(x)$

(1) Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

(2) B-SC-G2 (Sem cobertura do solo e com gessagem), B-CC-G2 (com cobertura do solo e com gessagem), B-SC-G0 (sem cobertura do solo e sem gessagem), B-CC-G0 (Com cobertura do solo e sem gessagem), Mata e Capoeira.

(3)  $\mu\text{g fluoresceína.g}^{-1} \text{ solo seco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

A atividade das  $\beta$ -glucosidases não distinguiram os ambientes de mata dos de capoeira, sugerindo características mais próximas entre si, distanciando-os dos solos manejados. É possível que, coletas de solo em camadas mais superficiais permitam essa distinção, considerando que estudos sugerem que em profundidades abaixo de 0-0,10m há tendência de perda do caráter discriminatório pela microbiota. Evangelista *et al.* (2012), observaram sistemas de cultivo sob manejo orgânico e sem revolvimento do solo, apresentando os maiores níveis de  $\beta$ -glucosidases, inclusive com relação a remanescente de cerrado, em amostragem de solo de 0-0,10m, tendo atribuído os resultados à adição de material orgânico.

Dentre as áreas sob cultivo de bananeira, a atividade enzimática das  $\beta$ -glucosidases, assim como das arilsulfatases e FDA, não indicaram diferença entre os tratamentos sob cultivo de bananeira, os quais se caracterizaram pela aplicação ou não de gesso agrícola na dosagem de  $2.820 \text{ kg.ha}^{-1}$ , e por coberturas dos solos compostas por vegetação natural ou adubos verdes.

Nogueira e Melo (2003) também relataram que a atividade das arilsulfatases não foi influenciada por doses de gesso agrícola, e destacaram o fato de que não é todo o S orgânico que está sujeito à hidrólise pela atividade de arilsulfatases, mas

apenas aquele na forma de ésteres de sulfato, e portanto apenas alterações nessa forma de S orgânico afetariam a atividade dessa enzima.

Foi registrada maior atividade das arilsulfatases na área de mata, diferindo-a estatisticamente das demais, e aproximando os solos sob cultivo orgânico da mata em regeneração (capoeira). Da mesma forma, Marcuzzo *et al.*(2014), em estudo cujo objetivo foi avaliar a evolução da restauração ecológica de duas áreas, observaram que em amostras de solo coletadas na camada 0-0,05m houve maior atividade da enzima arilsulfatase no solo de mata em relação às áreas em revegetação, concluindo que a atividade desta enzima é boa indicadora da restauração ecológica.

Para a fosfatase ácida as áreas de mata apresentaram os menores índices. Segundo Gatiboni *et al.* (2008), áreas de mata geralmente apresentam grande quantidade de carbono orgânico, bem como fósforo orgânico contido na biomassa microbiana do solo, e baixa disponibilidade de fósforo inorgânico. Tais condições se constituiriam em indicativo de maior atividade de fosfatase ácida nesses solos. Tal comportamento não foi observado no presente estudo, no entanto, sabe-se que a fosfatase ácida é um indicador influenciável pela aplicação de calcário ou fertilizantes, o que interfere na confiabilidade dos seus resultados.

O potencial das análises de atividades enzimáticas de  $\beta$ -glucosidases e arilsulfatases, como bioindicadoras da qualidade dos solos, foi validado pela EMBRAPA Cerrados por meio do lançamento de tecnologia denominada de BioAS-Bioanálise de solos (MENDES *et al.*, 2021), em decorrência de mais de vinte anos de estudos, e por enquanto disponível apenas para condições de cultivos anuais do cerrado brasileiro. Essas enzimas foram selecionadas por serem de fácil análise, possuírem níveis críticos já estabelecidos em tabelas de interpretação para o cerrado, serem de baixo custo, e apresentarem alta correlação com outros atributos, dentre outros fatores.

Tal inovação reforça a importância de serem definidos atributos sensíveis para as demais condições edafoclimáticas brasileiras, e sua infinidade de cultivos existentes.

Não houve efeito significativo da interação entre usos do solo e período de coleta, indicando atuação desses fatores de forma independente sobre o Carbono Orgânico Total (MO), o carbono da biomassa (Cbiom), e índices deles derivados,

$qCO_2$  e  $qMic$ . Os fatores foram portanto analisados isoladamente e sem desdobramento (Tabelas 4 e 5).

**Tabela 4** - Matéria orgânica (MO), carbono da biomassa microbiana (Cbiom), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), e quociente microbiano ( $qMic$ ), em solos de mata, capoeira e cultivo orgânico de bananeira (*Musa spp.*). Lençóis, BA. 2018 e 2019

ÉPOCAS DE COLETA	MO	Cbiom	$qCO_2^*$	$qMic$
	g.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg CO <sub>2</sub> . mg CBM <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	%
<b>2018</b>	23,52a	109,81a	0,35b	0,49a
<b>2019</b>	23,99a	79,69b	0,63a	0,35b

Notas:

\*Dados originais transformados por  $\log(x) + 1$

(1) Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Tores mais elevados de Cbiom e  $qMic$ , e menores de  $qCO_2$ , foram encontrados nas amostras coletadas em 2018, comparados aos registrados em 2019 (Tabela 4). Para  $qCO_2$ , quanto maiores os índices encontrados, indica que maiores teores de dióxido de carbono foram perdidos para a atmosfera, deixando de ser incorporados à biomassa (ALVES *et al.*, 2011). Este atributo é muito utilizado para detectar condições estressantes para a biomassa microbiana. À medida que esta se torna mais eficiente no uso dos recursos do ecossistema, menos carbono é perdido pela respiração e maiores proporções são fixadas aos tecidos microbianos (ANDERSON; DOMSCH, 2010).

O mês de abril de 2019 foi caracterizado por índices pluviométricos acima da média local (243,6mm), e pode ter representado condição limitante à microbiota nativa dos solos da caatinga, ecossistemas submetidos a condições naturais de escassez hídrica. De forma similar, Araujo Neto *et al.* (2014) observaram menores valores de  $qCO_2$  no período de menor umidade do solo, e  $qMic$  apresentando maiores valores neste mesmo período, comparado com as demais épocas.

O  $qCO_2$  apresentou ainda os menores valores para o solo de mata, seguido pela capoeira, diferindo-os das áreas sob cultivo orgânico de bananeira, cujos valores para esse atributo foram os mais elevados (Tabela 5). De acordo com Ferreira *et al.* (2011), baixos valores de  $qCO_2$  refletem ambiente mais estável ou mais próximos do seu estado de equilíbrio.

O teor de matéria orgânica não diferiu entre os usos do solo (Tabela 5). Da mesma forma, Falcão *et al.* (2013), avaliando MO numa camada mais superficial (0-0,10m), cultivada com morangueiro sob manejos convencional e orgânico, não observaram teor de MO diferindo estatisticamente os sistemas produtivos avaliados. Em geral, alterações no conteúdo da MO ocorrem em médio ou longo prazo, requerendo maior espaço de tempo para ser quantificada (CARNEIRO *et al.*, 2009). Outra explicação a ser considerada é que o aporte de matéria orgânica ofertado aos sistemas de cultivo, pode ter permitido tornar os níveis de MO equivalentes àqueles encontrados nas áreas de referência.

**Tabela 5** - Teor de matéria orgânica (MO), carbono da biomassa microbiana (Cbiom), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e quociente microbiano (qMic) em solos de mata, capoeira e sob cultivo orgânico de *Musa* spp. 'BRS Princesa'. Lençóis, BA. 2018 e 2019

. Tratamentos	MO	Cbiom	qCO <sub>2</sub> *	qMic
	g.kg <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	mg C-CO <sub>2</sub> mg CBM <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	%
B-SC-G2	24,78a	71,16b	0,67a	0,29c
B-CC-G2	21,52a	67,89b	0,60a	0,32c
B-SC-G0	26,47a	81,72b	0,49a	0,32c
B-CC-G0	23,85a	67,48b	0,70a	0,30c
Mata	20,10a	153,48a	0,19c	0,78a
Capoeira	25,83a	126,76a	0,29b	0,51b
CV(%)	21,11	28,39	26,96	31,34

Notas:

\*Dados originais transformados por  $\log(x) + 1$

(1) Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

(2) B-SC-G2 (Sem cobertura do solo e com gessagem), B-CC-G2 (com cobertura do solo e com gessagem), B-SC-G0 (sem cobertura do solo e sem gessagem), B-CC-G0 (Com cobertura do solo e sem gessagem), Mata e Capoeira.

Os solos sob mata e capoeira apresentaram maiores teores de Cbiom, com valores entre 153,3,48 e 126,76 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, diferindo estatisticamente das áreas sob cultivo orgânico de bananeira (67,48 e 81,72 mg.kg<sup>-1</sup>). Este resultado pode ser atribuído à diversidade de espécies nos ambientes naturais, condição que resulta em maior deposição de material vegetal na serrapilheira, e substratos orgânicos oxidáveis de composição variada, fator favorável à imobilização de carbono pela biomassa microbiana (Cunha *et al.*,

2012). Este resultado corrobora os observados por Ferreira *et al* (2017), quando analisando população e atividade microbiana em sistema agroecológico de produção, observaram médias mais elevadas de C<sub>biom</sub> em solo sob vegetação nativa, em todas as épocas de amostragem, exceto na floração do cultivo.

As áreas de mata apresentaram também maiores médias de q<sub>Mic</sub>, seguidas pela capoeira, por sua vez significativamente superior aos cultivos orgânicos de bananeira (Tabela 5). O q<sub>Mic</sub> expressa a quantidade de C orgânico do solo imobilizado na biomassa microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 2010). Os resultados demonstram, portanto, a eficiência de microrganismos na imobilização deste elemento nas áreas de referência, aonde maior quantidade de biomassa é sustentada por unidade de carbono orgânico.

O q<sub>CO<sub>2</sub></sub> também não indicou diferença significativa entre os solos cultivados com bananeira, apenas refletiu uma escala crescente de equilíbrio ambiental entre os solos analisados (Tabela 5).

A atividade metabólica da biomassa microbiana, expressa pela respiração basal do solo (C-CO<sub>2</sub>), variou entre os diferentes sistemas de uso e manejo do solo e entre os períodos de amostragem (Tabela 6). Os menores valores foram registrados nos solos de mata em ambos os períodos de coleta, não diferindo estatisticamente de algumas áreas sob cultivo orgânico. Nascimento *et al.* (2009) afirmam que valores mais elevados de respiração microbiana podem ocorrer em solos mais perturbados ou em solos com elevada produtividade, por conta disso avaliações de dados desse atributo devem ser realizadas em conjunto com outros indicadores, para possibilitar a compreensão e a interpretação correta dos fatos.

**Tabela 6** - Respiração basal do solo (C-CO<sub>2</sub>), fósforo da biomassa microbiana (P<sub>mic</sub>), e densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (DEFMA), em solo de mata, capoeira e sob cultivo orgânico de *Musa* spp. BRS 'Princesa'. Lençóis, BA. 2018 e 2019

Tratamentos	C-CO <sub>2</sub>		P <sub>mic</sub>		DEFMA	
	mg.kg <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup>		mg.kg <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup>		números absolutos/100g solo	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
B-SC-G2	29,48bA	30,94bA	17,12bA	20,37aA	57,00bB	132,25aA
B-CC-G2	43,75aA	28,28bB	10,06bB	27,51aA	89,25aB	177,25aA
B-SC-G0	32,43bB	43,17aA	15,76bA	14,47aA	101,25aA	162,25aA
B-CC-G0	38,99aA	44,51aA	18,39bA	10,61aA	48,50bB	192,87aA
Mata	27,74bA	27,88bA	10,55bB	23,94aA	18,75bA	34,75bA
Capoeira	29,88bA	36,38aA	47,57aA	16,26aB	41,50bA	46,75bA
CV (%)	19,08		46,56		46,57	

Notas:

(1).Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si.

pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

(2) B-SC-G2 (Sem cobertura do solo e com gessagem), B-CC-G2 (com cobertura do solo e com gessagem), B-SC-G0 (sem cobertura do solo e sem gessagem), B-CC-G0 (Com cobertura do solo e sem gessagem). Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares(FMA), Fósforo da biomassa microbiana (Pmic), respiração basal do solo (C-CO<sub>2</sub>).

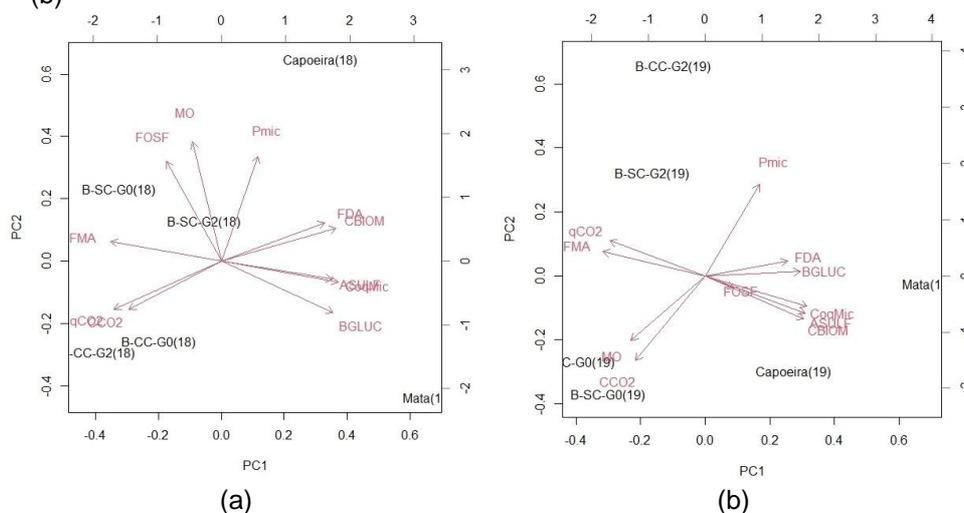
O Pmic não apresentou padrão de variação que permitisse perfeita distinção entre os tratamentos avaliados. Gatiboni *et al.* (2008) observaram que solos com baixos teores de P disponível, como os encontrados no presente estudo, não apresentam biomassa microbiana com capacidade de imobilizar grandes quantidades deste elemento.

Além do Pmic, transformações biológicas do fósforo no solo, por intermédio dos microrganismos, incluem mecanismos que vão desde a promoção do crescimento de raízes laterais e pelos radiculares, a estímulos de processos metabólicos efetivos na solubilização e mineralização do P a partir de formas pouco disponíveis. Passando pela produção de enzimas fosfatases, e pela interferência de associações micorrízicas (CARNEIRO *et al.*, 2004).

Para ambos os períodos de coleta, menores densidades de esporos de fungos micorrízicos foram encontrados em solos de mata e capoeira (Tabela 6). Cordeiro *et al.* (2005) observaram que uma área de cerrado nativo apresentou menor densidade de esporos micorrízicos em relação àquelas sob plantio direto ou convencional, e concluíram que esse resultado indica a estabilidade do ecossistema nativo. Neste sentido, Mergulhão *et al.*, (2014) afirmam que o estabelecimento da simbiose micorrízica é uma estratégia de plantas para superar estresses bióticos e abióticos, elevando a densidade de esporos em condições adversas.

O resultado da análise multivariada, por meio da técnica de componentes principais, permitiu identificar os atributos mais relevantes na discriminação das áreas amostradas. Do total de dez variáveis microbiológicas analisadas em conjunto com MO, foram extraídos os dois componentes principais que tiveram maior influência sobre os resultados obtidos na amostragem de 2018, explicando a variabilidade total de 84,17% dos dados (Figura 2a).

**Figura 2** - Peso de dez atributos microbiológicos do solo, e carbono orgânico total, nos dois primeiros componentes principais. Lençóis, BA. 2018(a) e 2019 (b)



O componente principal 1 explicou 57,24% da variabilidade dos dados obtidos no ano de 2018, e apresentou correlação forte positiva com as variáveis qMic, Cbiom, BGLUC e ASULF, nessa ordem, e correlação forte negativa com FMA e qCO<sub>2</sub> (Figura 2a). Em 2019, atributos relacionados à qualidade biológica dos solos explicaram, nos dois componentes principais, 78,30% da variabilidade total dos dados, sendo o componente principal 1 eficiente em explicar 58,8% desta variação, indicando correlação forte positiva com qMic, ASULF, Cbiom e BGLUC, nessa ordem, e correlação forte negativa com FMA e qCO<sub>2</sub> (Figura 2b).

Atributos que apresentam valores elevados dos pesos fatoriais, dão indicativos de quais variáveis têm maior capacidade discriminatória no processo de formação dos agrupamentos pelo componente principal em questão (SANTI *et al.*, 2012).

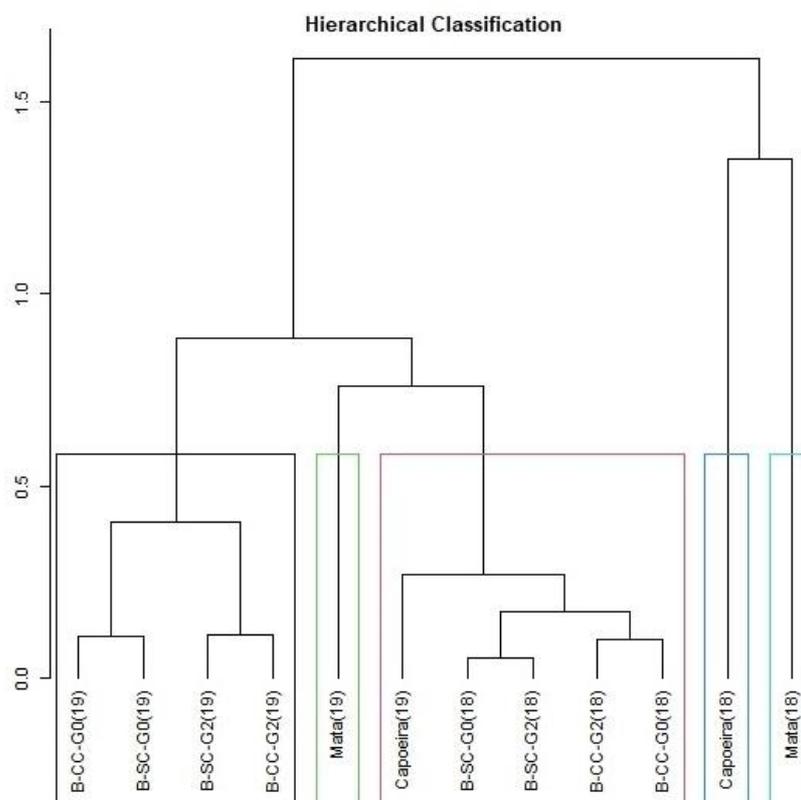
A análise de componentes principais confirma as atividades enzimáticas da  $\beta$ -glucosidase e arilsulfatase, assim como as variáveis CBiom, CoqMic, qCO<sub>2</sub> e FMA, como indicadores sensíveis às alterações provocadas no ambiente por manejos agrícolas. Foram considerados nessa interpretação apenas o componente principal 1 de cada época de amostragem, por explicar aproximadamente 60% da variação dos dados em cada período, dando por si só indicativos dos atributos mais significativos na distinção dos ambientes.

Nas Figuras 2a e 2b observa-se as áreas sob vegetação nativa distantes daquelas sob cultivo orgânico, posicionando-se nos quadrantes à direita. Nota-se

que a capoeira e a mata em 2018 não se agrupam aos sistemas de cultivo, indício de particularidade desses solos em relação aos atributos analisados.

A análise multivariada de agrupamento, com base nos atributos microbiológicos e no Carbono Orgânico Total, permitiu visualizar a aproximação entre cada uso do solo em função da similaridade entre eles. Com base nessa análise, observa-se na Figura 3 a formação de cinco grupos.

**Figura 3** - Dendrograma baseado na distância de Mahalanobis e método de agrupamento UPGMA com base em 10 atributos microbiológicos, e carbono orgânico total do solo. Lençóis, BA, 2018 e 2019



As áreas de mata, em ambas as épocas de coleta, e a de capoeira em 2018, formaram grupos distintos.

Os outros dois grupos distinguiram os solos sob cultivo orgânico em épocas de coleta, com a capoeira (2019) em grupo concomitante aos solos sob cultivo de bananeira (2018-período com características climáticas mais próximas do comumente encontrado em ambientes semiáridos) (Figura 3).

Os agrupamentos não apontaram diferença significativa dentre os tratamentos sob cultivo orgânico de bananeira, entretanto, entre estas e as áreas sob vegetação nativa (mata e capoeira), corroborando com o teste de médias.

Os resultados aqui discutidos permitem acesso a informações da biologia dos solos cultivados por bananeira 'BRS Princesa' no semiárido baiano, e possibilitam subsidiar o monitoramento da sua qualidade ao longo do tempo.

## CONCLUSÃO

- O cultivo orgânico de bananeira 'BRS Princesa' altera a biomassa, atividade microbiana e a densidade de esporos de fungos micorrízicos, em comparação à mata nativa e em regeneração;
- As atividades enzimáticas da  $\beta$ -glucosidase e arilsulfatase, o carbono da biomassa, os quocientes metabólico e microbiano, e a densidade de esporos de fungos micorrízicos são indicadores sensíveis à interferência antrópica em solos sob cultivo orgânico de bananeira 'BRS Princesa' no semiárido baiano;
- A utilização de gesso agrícola não promove impactos significativos sobre indicadores microbianos na camada de 0-20cm, em solos sob condições de cultivo orgânico de bananeira 'BRS Princesa';
- As plantas espontâneas apresentam vegetação com potencial para uso como cobertura do solo no cultivo de bananeira orgânica, assemelhando-se a combinado de adubos verdes [feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), mucuna preta (*Mucuna pruriens* (L.) DC.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), distribuídos em igual proporção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, D.; LERMEN, C; MORELLI, F.; ANDRADE, L.; PASCOTTO, C. R.; GAZIM, Z. C.; ALBERTON, O.. Fungos micorrízicos arbusculares, biomassa e atividade microbiana de solo sob banana, braquiária e degradado. Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia, v. 16, n. 2, p. 137-142, 2013.

ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum**. v. 33, n. 2, 2011.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1993.

ANDERSON, T-H; DOMSCH, K. H.. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 42, p. 2039-2043, 2010.

ARAÚJO NETO, S.E.; SILVA, A.N.; KUSDRA, J.F.; KOLLN, F.T.; ANDRADE NETO, R. de C.. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 650-658, 2014.

BARTLETT, R.J.; ROSS, D.S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society America Journal**, v.52, p.1191-1192, 1988.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PUDEN, G. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.17, p.837-842, 1985.

BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S., JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.14, p.319-329, 1982.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado

sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARNEIRO, R. G.; Mendes, I. de C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M. de; VIVALDI, L. J.. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.39, n.7, 2004.

CORDEIRO, M.A.S.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B. & SAGGIN JÚNIOR, O.J. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, p.147-153, 2005.

CAVALCANTE, W. F.; SILVA, L. R. CRUZ da; SILVA, E. G. da; OLIVEIRA, J. T. C.; MOREIRA, K. A. Enzymatic activity of caatinga biome with and without anthropic action. *Revista Caatinga*, v. 33, n. 1, p. 142 – 150, 2020

COSTA, J.L.S.; GODOI, L.C. Hydrolysis of fluorescein diacetate as a soil quality indicator in different pasture systems. *In: International technical workshop on biological management of soil ecosystems for sustainable agriculture*. Londrina, p. 83-84. 2002

CUNHA, E. de Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. de B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.16, n.1, 2012,

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília, DF : Embrapa, 574 p., 2017.

EMBRAPA. Sistema Orgânico de Produção para a cultura da banana. Embrapa Mandioca e Fruticultura. 3.ed. **Sistema de Produção, 18**. 2016.

FALCÃO, J. V.; LACERDA, M. P. C.; MENDES, I. de C.; LEÃO, T. P.; CARMO, F. F. Do..Qualidade do solo cultivado com morangueiro sob manejo convencional e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v.43 n.4, 2013.

EVANGELISTA, C. R. ; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. de B.; CORRECHEL, V.. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 4, p. 1251-1262, 2012.

FARIA., V., L.; MELLONI., R.; MELLONI., E., G., P..Qualidade do Solo sob Cultivo de Banana em Sistemas de Produção Orgânico e Convencional em Gonçalves (MG). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.03, p. 1206-1219, 2021.

FERREIRA, E. P. de B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, , v. 70, n. 4, p. 899-907, 2011.

FERREIRA, E. P. de B; STONE, L. F. e& MARTIN-DIDONET, C.C.G.. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

GATIBONI , L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. dos S.; BRUNETTO , G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de Fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.43, n.8, 2008.

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

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal - PAM**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 20 fev. 2021.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 20 mai. de 2019.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for extracting nematodes from soil. **Plant Disease Report**, p. 48, n.9, 692p.,1964.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra.** Mexico, DF: *Fondo de Cultura Econômica*. 479p.1948.

LICHTENBERG, L.A. *et al.* Sistemas de producción de musáceas en Brasil. In: REUNIÃO INTERNACIONAL DA ACORBAT, 20. **Anais...** Acorbat: 40 anos compartilhando ciência e tecnologia. Fortaleza: Instituto Frutal, p.34-42. 2013.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. da ; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A.. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.36 n.1, 2012.

MAKOI, J. H. J. R.; NDAKIDEMI, P. A. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 3, p. 181-191, 2008.

MARCUZZO, S. B.; ARAÚJO, M. M.; RORATO, D. G. ; MACHADO, J.. Comparação entre áreas em restauração e área de referência no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore** v.38 n.6, 2014.

MENDES, I. de C.; REIS JUNIOR, F. B.. Microbiologia e qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico. **Jornal Dia de Campo** - Coluna Assinada, 02 jul. 2013.

MENDES, I. de C.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; SOUSA, D. M. G. de (in memoriam); DANTAS, O.D.; OLIVEIRA, M. I. L. de; MALAQUIAS, J. V..

**Tecnologia BioAS : uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo.** Documentos, 369. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 50p., 2021.

MERGULHÃO, A. C. E. S.; SIVA, M. V. da; LYRA, M. C. C. P. de; FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA, M. L. R. B. da; MAIA, L. C. Caracterização morfológica e molecular de fungos micorrízicos arbusculares isolados de áreas de mineração de gesso, Araripina, PE, Brasil. **Hoehnea**. v. 41, n. 3, p. 393-400, 2014.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v.27, p.31-36, 1962.

NASCIMENTO, J. B.; CARVALHO, G. D.; CUNHA, E. Q.; FERREIRA, E. P. D. B.; LEANDRO, W. M.; DIDONET, A. Determinação da biomassa e atividade microbiana do solo sob cultivo orgânico do feijoeiro-comum em sistemas de plantio direto e convencional após cultivo de diferentes espécies de adubos verdes. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, 2009.

NOGUEIRA, M. A. & MELO, W. J.. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.655-663, 2003.

OLIVARES, B. O.; ARAYA-ALMAN, M.; ACEVEDO-OPAZO, C.; REY, J. C.; CAÑETE-SALINAS, P.; KURINA, F. G.; BALZARINI, M.; LOBO, D.; NAVAS-CORTÉS, J. A.; LANDA, B. B.; GÓMEZ, J. A.. Relationship Between Soil Properties and Banana Productivity in the Two Main Cultivation Areas in Venezuela. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.20, p. 2512-2524, 2020.

SANTI, A. L. *et al.*. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. Pesquisa Agropecuária Brasileira. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.47, n.9, 2012.

SCHNURER, J. & ROSSWALL, T. Fluorescein Diacetate Hydrolysis as a Measure of Total Microbial Activity in Soil and Litter. **Applied and environmental microbiology**, v.43, n.6, 1256-126.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. *In*: WEAVER, R.W.; SCOTT, A. & BOTTOMELEY, P.J., eds. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Soil Science Society of America - Special Publication, 5, p.778-835, 1994.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology. Biochemistry**.v.19, p.703-707, 1987.

**ARTIGO 3**

POTENCIAL DE BACTÉRIAS ORIUNDAS DE SOLO SOB CULTIVO ORGÂNICO  
DE FRUTÍFERAS TROPICAIS, COMO INDUTORAS DO CRESCIMENTO DE  
MUDAS DE BANANEIRA (*Musa* spp.) 'BRS PRINCESA'<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Artigo a ser ajustado para posterior submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Ciência Agrônômica, em versão na língua inglesa.

## **Potencial de bactérias oriundas de solo sob cultivo orgânico de frutíferas tropicais, como promotoras do crescimento de mudas de bananeira (*Musa* spp.) 'BRS Princesa'**

**RESUMO:** A utilização de microrganismos nos sistemas de produção de mudas é capaz de intermediar diversos mecanismos em interação com as plantas, e assim promover o seu desenvolvimento, em especial por subsidiar a produção de reguladores do crescimento, e por promover benefícios fitossanitários e nutricionais. No presente estudo, foram isoladas bactérias de solos do semiárido baiano sob manejo orgânico de frutíferas, caracterizando-as quanto à capacidade de síntese de ácido indolacético (AIA) *in vitro*. Testes de antibiose recíproca foram realizados, e não sendo visualizados halos de inibição, selecionaram-se oito isolados para realização de ensaio em casa de vegetação, sendo testadas três combinações entre eles: Mix1 (180499 + *Pseudomonas* + *Stenotrophomonas maltophila* + 180404); Mix2 (*Stenotrophomonas maltophila* + *Pseudomonas* + 180404 + 180520); e Mix3 (180499 + *Bacillus* + *Pseudomonas* + *Acinetobacter*). Suspensões aquosas, na concentração de  $10^9$  UFCxmL<sup>-1</sup> de cada combinado, foram aplicadas aos substratos duas vezes por semana, ou em alternância entre microbiolizações e fertilizações. Adotaram-se dois tratamentos controle, um apenas fertilizado (C1) e outro apenas irrigado (C0). Após 30, 40 e 46 dias, dez mudas de cada tratamento foram avaliadas quanto à altura da parte aérea, diâmetro do pseudocaule, produção de biomassa seca das raízes e parte aérea, massa seca total, e relação entre a massa seca das raízes e da parte aérea das plantas. O sequenciamento do gene 16S rRNA identificou as estirpes como pertencentes aos gêneros *Bacillus*, *Stenotrophomonas*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*. As combinações de microrganismos apresentaram-se promissoras como promotores de crescimento de mudas de bananeira (*Musa* spp.), com destaque para a combinação mix 3. Sugere-se a realização de estudos futuros para avaliar a interação bacteriana por período superior a 46 dias, considerando a influência do estágio fisiológico das plantas, além de intervalos maiores entre microbiolizações.

**Palavras-chave:** Reguladores de crescimento vegetal; Ácido-3-indolacético; Bioinsumos; Inoculação microbiana; Crescimento radicular.

## **Potential of bacteria from soils under organic farming of tropical fruits as growth promoters of banana seedlings (*Musa* spp.) 'BRS Princesa'**

**ABSTRACT:** In seedling production systems, microorganisms can play a major role in several interaction mechanisms with plants and promote plant growth. These mechanisms subsidize the production of growth regulators, promoting phytosanitary and nutritional benefits. In this study, bacteria were isolated from Bahia State semiarid soils under organic fruit farming and characterized as a function of their capacity for *in vitro* synthesis of indoleacetic acid (IAA). Reciprocal antibiosis was tested, and no inhibition halos were observed. Eight isolates were then selected for a greenhouse experiment, testing three combinations thereof: Mix1 (180499 + *Pseudomonas* + *Stenotrophomonas maltophilia* + 180404), Mix2 (*Stenotrophomonas maltophilia* + *Pseudomonas* + 180404 + 180520), and Mix3(180499 + *Bacillus* + *Pseudomonas* + *Acinetobacter*). Aqueous suspensions at a concentration of  $10^9$  CFU mL<sup>-1</sup> for each combination were applied to substrates twice a week or alternating between microbiolizations and fertilizations. Two control treatments were adopted, one only fertilized (C1) and another only irrigated (C0). After 30, 40, and 46 days, ten seedlings from each treatment were evaluated for shoot height, pseudostem diameter, root and shoot dry biomass production, total dry mass, and root and shoot dry mass ratio. All combinations of microorganisms were promising as growth promoters for banana (*Musa* spp.) seedlings, with an emphasis on mix3. Still, further studies are needed to evaluate bacterial interaction for longer than 46 days, considering plant physiological stage effects and longer intervals between microbiolizations.

**Keywords:** Plant growth regulators, 3-indoleacetic acid, Bio-inputs, Microbial inoculation, Root growth.

## INTRODUÇÃO

A banana é uma das frutas mais consumidas no mundo, produzida em grande parte dos países tropicais, e se destaca no cenário nacional como uma das principais fontes de renda da agricultura familiar, sendo a segunda fruta fresca mais produzida no Brasil (6.764.324 ton), atrás apenas da laranja (IBGE, 2020). Fatores que justificam o seu desenvolvimento tecnológico.

A micropropagação *in vitro* da bananeira (*Musa* spp.) constitui ferramenta eficiente para a obtenção de mudas sadias e homogêneas dessa frutífera. Contudo, priva a plântula do contato com a microbiota benéfica, naturalmente presente no solo (SILVA *et al.*, 2016). Estes microrganismos promovem diversos benefícios, como produção de substâncias reguladoras do crescimento, proteção contra fitopatógenos, auxílio na disponibilização de nutrientes, tolerância a condições adversas do ambiente, dentre outros.

Ao suprir demanda por uma microbiota benéfica, decorrente do ambiente asséptico característico do cultivo *in vitro*, a utilização de bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) contribui para a diminuição da dependência por fertilizantes solúveis e defensivos agrícolas, assim como do tempo de permanência das mudas em viveiro, com benefícios de ordem econômica e ecológica. Quando utilizadas na forma de isolados bacterianos combinados entre si, tornam-se importante estratégia de otimização da ação sinérgica dos isolados compatíveis, como resultado das interações bioquímicas entre os pares associativos (AMARAL *et al.* 2014).

A contribuição de bactérias no crescimento de bananeiras foi demonstrada pela primeira vez por Weber *et al.*(2000), quando bactérias do tipo *Herbaspirillum*, e relacionadas a *Burkholderia cepacia*, inoculadas de forma simultânea, proporcionaram maior crescimento em plântulas de bananeira 'Caipira' em comparação à inoculação individual, com crescimento equivalente às plantas controle. No mesmo estudo, os autores encontraram resultados superiores para *Musa* spp. 'Prata Anã', com utilização isolada de *Herbaspirillum* sp..

Dentre os vários mecanismos que mediam a atuação de bactérias no crescimento de plantas, tem-se a síntese de reguladores de crescimento vegetal, compostos que em baixa concentração atuam diretamente sobre processos fisiológicos (DAWWAM *et al.*, 2013). Dentre estes, o ácido indolacético (AIA),

regulador do grupo das auxinas, é o encontrado em maior quantidade nos vegetais (MORETI; PEREIRA, ALTHMAN, 2018), e seus efeitos principais abrangem alongamento e divisão celular, diferenciação de tecidos vasculares, formação de raízes, inibição da senescência foliar, dentre outros (HENRIQUES; RIZZINI; REINERT, 2009).

Ainda há pouca informação a respeito da eficiência de BPCV, nativas de solos do semiárido baiano, em simbiose com a bananeira, reintroduzidas na fase de aclimatização de mudas.

Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi selecionar *in vitro*, quanto à produção de AIA, isolados bacterianos oriundos de solos sob cultivo orgânico de frutíferas tropicais; avaliar, em ensaios em casa de vegetação, o potencial de combinações entre esses isolados quanto à promoção de crescimento de mudas de bananeira (*Musa* spp.) 'BRS Princesa'; e identificar os isolados geneticamente.

## MATERIAL E MÉTODOS

### **Seleção de bactérias produtoras de ácido indolacético (AIA)**

Bactérias provenientes de amostras de solo coletadas em área experimental de fruticultura orgânica da Embrapa Mandioca e Fruticultura, no município de Lençóis, Bahia, num total de 185, foram isoladas pelo método de diluição em placas em meio Nutriente Ágar (NA). E preservadas em meio NBY (nutrient broth yeast extract) (SCHAAD, 1988) contendo glicerina (15%), e mantidas a - 80°C.

Os isolados bacterianos foram submetidos a ensaios qualitativos para detecção *in vitro* da capacidade de síntese de ácido indolacético (AIA), segundo Cattellan (1999).

### **Quantificação de ácido indol-3-acético - AIA**

A produção de AIA pelos isolados identificados no bioensaio anterior, foi quantificada por meio do cultivo das cepas em caldo nutritivo-CN por 24h, com posterior ajuste da densidade óptica (OD) a 0,5 em espectrofotômetro com comprimento de onda de 540nm. Dessa suspensão, retiraram-se alíquotas de 500µL, adicionadas, em duplicata, a 20mL de meio de cultura Triptona de Soja

(TS) acrescido de L-Triptofano, e incubadas a 28 °C sob agitação a 140 rpm, por 24h, com posterior centrifugação a 10.016g por 15 min, a 4 °C.

Do sobrenadante retirou-se 3mL, aos quais foram adicionados 2mL de reagente Salkowski (SARWAR; KREMER, 1995). Solução mantida no escuro por 30min para desenvolvimento da cor rosa, indicativa da produção de AIA.

A intensidade da cor foi determinada em espectrofotômetro no comprimento de onda de 535nm (ASGHAR *et al.*, 2002). E a concentração estimada com auxílio de curva padrão (0 a 120 µg mL<sup>-1</sup>).

### **Teste de antibiose recíproca**

Com o objetivo de estudar a viabilidade de uso combinado dos isolados bacterianos, foram realizados ensaios de antibiose recíproca, por meio do teste de dupla camada, de acordo com metodologia proposta por Romeiro (2007). As placas foram examinadas após 1, 2 e 5 dias de incubação.

### **Promoção do crescimento de mudas de Bananeira 'BRS Princesa' em casa de vegetação**

Foram selecionadas, para testes *in vivo*, oito estirpes bacterianas que produziram AIA em quantidades mais elevadas (acima de 40 µg.mL<sup>-1</sup>), e não apresentaram antibiose entre si. Os isolados foram cultivados em caldo nutritivo a 28 °C, por 24 h. Após esse período, semeados em placas de Petri contendo ágar nutriente por mais 24 h à mesma temperatura.

Suspensões aquosas de cada estirpe foram ajustadas para densidade óptica de 0,5, em comprimento de onda de 540nm, equivalente a 10<sup>9</sup>UFC.mL<sup>-1</sup>. Em seguida preparadas combinações bacterianas em igual proporção.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, e as plantas cultivadas em bandejas de polietileno contendo 128 células, separadas uma das outras por células vazias, cada célula comportando 22 cm<sup>3</sup> de substrato composto por fibra de coco.

Mudas de bananeira 'BRS Princesa' foram submetidas a oito tratamentos. Os tratamentos I, II e III não foram fertilizados, e correspondem à inoculação, a cada três dias, das combinações de bactérias denominadas de mix 1, 2 e 3. Os tratamentos IV, V e VI correspondem à alternância entre fertilização (F) e microbiolização (M), a cada 7 dias, dos mesmos mix, descritos a seguir:

(I) Mix1-M e (IV) Mix1-MF (isolados 180499 + 180394 + 180395 + 180404)

(II) Mix2-M e (V) Mix2-MF (isolados 180395 + 180479 + 180404 + 180520)

(III) Mix3-M e (VI) Mix3-MF (isolados 180499 + 180402 + 180394 + 180521)

E os tratamentos (VII) e (VIII) constituíram-se, respectivamente, nos controles C0 (Sem fertilização e sem microbiolização); e C1 (Mudas apenas fertilizadas, sem microbiolizações).

As fertilizações seguiram cronograma adotado pela biofábrica CAMPO (Companhia de Produção Agrícola – SA), parceira no trabalho, e foram constituídas da seguinte forma: aplicação de fertilizante de nome comercial booster, do 2º ao 7º dia de aclimatização. Este fertilizante contém, segundo a fabricante, os seguintes elementos (garantias): Mo p/p % 2,0 p/v g/L 24,4; Zn p/p % 3,0 p/v 36,6. Do 8º ao 14º dia, alternaram-se, a cada três dias, Booster e Phosamco, este último composto pelos seguintes elementos (garantias): Nitrogênio (N) 8,5% p/p (100 g.L<sup>-1</sup>), Pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 3,4% p/p (40 g.L<sup>-1</sup>), Óxido de potássio (K<sub>2</sub>O) 6% p/p (70 g.L<sup>-1</sup>), boro (B) 0,017% p/p (0,2 g.L<sup>-1</sup>), Cobre (Cu) 0,08% p/p (0,9 g.L<sup>-1</sup>), Manganês (Mn) 0,11% p/p (1,2 g.L<sup>-1</sup>). Após os primeiros 15 dias de aclimatização, as fertilizações ocorreram alternando, a cada três dias, sulfato de amônio e monoamônio fosfato (MAP) [(adubo complexo contendo Nitrogênio (11%) e Fósforo (52%)].

Cada microbiolização foi realizada na proporção de 0,1mL por cm<sup>3</sup> de substrato, sendo aplicados 2,2 mL de suspensão aquosa bacteriana por muda.

O arranjo foi em delineamento em blocos inteiramente casualizados, com 30 repetições por tratamento, sendo 10 repetições para cada época de avaliação (aos 30, 40 e 46 dias da aclimatização), com uma muda por repetição.

Aos 30, 40 e 46 dias após início da aclimatização, dez mudas foram coletadas para mensuração das variáveis: altura da parte aérea, medida do colo do pseudocaule até o final do comprimento total da última folha emitida, completamente estendida (ALT); diâmetro do pseudocaule (DIAM); massa seca da raiz (MSR) e parte aérea (MSPA); massa seca total (MST); e relação entre massa seca das raízes e da parte aérea das plantas (MSRPA).

As aferições foram realizadas com auxílio de paquímetro, régua, balança analítica, e massas secas obtidas após secagem em estufa a 65 °C até peso constante.

Além da avaliação de cada variável de crescimento de forma individualizada, aos 30, 40 e 46 dias do início da aclimatização, foi calculado um índice de crescimento (IC), de acordo com Silva *et al.* (2012). Para tal, as médias das dez repetições, de cada variável, para o controle C1 aos 46 dias, foram consideradas como de valor 100. Somadas as seis variáveis (ALT, DIAM, MSR, MSPA, MST e MSRPA), cada uma com valor 100, o C1 aos 46 dias apresenta IC igual a 600. Desta forma, foram feitas as devidas comparações, por meio de regra de três, para cada tratamento e respectivos períodos de avaliação.

### **Identificação taxonômica dos isolados bacterianos**

Amplificações do gene 16S rRNA, das oito estirpes selecionadas para testes de promoção de crescimento *in vivo*, foram realizadas com volume de reação final de 25 $\mu$ L. Para cada PCR, foram adotadas as seguintes concentrações: 1 $\mu$ L de DNA, 5 $\mu$ L de tampão 10X, 2 $\mu$ L de dNTP Mix (2,5 mM de cada dNTP), 2 $\mu$ L de MgCl<sub>2</sub> (25 mM), 0,5 $\mu$ L de cada primer (10  $\mu$ M), 0,25 $\mu$ L de Taq DNA polimerase (5U. $\mu$ L<sup>-1</sup>) e 13,75 $\mu$ L de água miliQ. A reação de amplificação ocorreu após desnaturação inicial (95° C por 5min), 30 ciclos de desnaturação (95 °C por 1min), anelamento (57 °C por 1min), extensão (72 °C por 2min) e extensão final (72°C por 7min), e realizada em termociclador modelo Veriti (Fabricante Applied Biosystems).

Os produtos de PCR foram separados em gel de agarose a 2%, visualizados sob luz UV, e posteriormente purificados e encaminhados à Empresa ACTGene Análises Moleculares LTDA, com objetivo de sequenciamento. As sequências foram comparadas com sequências semelhantes disponibilizadas no banco de dados GenBank (Centro Nacional de Informações sobre Biotecnologia-NCBI(Biblioteca Nacional de Medicina dos EUA), submetidas ao programa BLAST (Basic Local Alignment Search Tool).

### **Análise estatística**

Efetuiu-se primeiramente a verificação da normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk, e da homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Para as variáveis que não atenderam à normalidade dos erros e/ou à homogeneidade das variâncias, efetuou-se a transformação dos dados. Os dados originais, ou transformados, foram submetidos à análise de variância, em esquema fatorial 8X3

(Tratamento X Período de avaliação), sendo as médias comparadas pelo teste Scott-Knott, com significância estabelecida em 5%.

Foi verificada também a contribuição relativa de cada característica de crescimento, pela Análise de Componentes Principais (ACP).

Todas as análises foram realizadas com auxílio do programa R (R CORE TEAM, 2020), versão 4.0.2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 185 isolados bacterianos analisados quanto à produção de AIA em meio TS suplementado com triptofano, dezenove apresentaram resultado positivo, todas provenientes de solos cultivados com bananeira (*Musa spp.*) BRS 'Princesa' em sistema orgânico de produção (Tabela 1).

**Tabela 1** - Produção de ácido indol-3-acético (AIA) por isolados bacterianos provenientes de solos sob cultivo orgânico de bananeira (*Musa spp.*) BRS 'Princesa'

ISOLADOS BACTERIANOS	PRODUÇÃO DE AIA ( $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )
190009	10,21
180484	17,03
180527	22,03
180535	24,08
180502	25,23
180515	25,65
180400	28,05
180536	29,08
180511	29,85
180403	37,54
180555	38,35
180402	40,49
180521	45,85
180520	52,51
180404	60,49
180395	66,00
180394	67,54
180499	68,95

As quantidades de AIA produzido variaram entre 10,21  $\mu\text{g.mL}^{-1}$  e 68,95  $\mu\text{g.mL}^{-1}$ . Segundo Costa *et al.* (2013) não existe uma faixa de concentração benéfica ou tóxica comum a todas as espécies vegetais, portanto AIA sintetizado

com concentrações variáveis entre estirpes pode beneficiar culturas com diferentes exigências.

Oito isolados produziram quantidades acima de  $40 \mu\text{g.mL}^{-1}$ , com eles foi conduzido ensaio em casa de vegetação, por meio de combinações entre as bactérias que não formaram halo de inibição entre si.

Não houve interação significativa entre os fatores tratamento X período de avaliação, os quais atuaram de forma independente sobre a relação massa seca de raiz:parte aérea (Tabelas 2 e 3).

**Tabela 2** - Crescimento de mudas de bananeira (*Musa spp.*) 'BRS Princesa', tratadas com combinações de isolados bacterianos (com e sem fertilização), aos 30, 40 e 46 dias do início da aclimatização

TRAT	ALT			DIAM			MSRPA
	30	40	46	30	40	46	
MIX1-M	7,82bA	8,38bA	7,06bA	0,35aA	0,37bA	0,35bA	0,88a
MIX1-MF	8,38bA	9,87aA	8,78aA	0,38aB	0,46aA	0,39aB	0,86a
MIX2-M	8,13bA	7,89bA	6,98bA	0,37aA	0,40bA	0,33bA	0,93a
MIX2-MF	8,31bA	8,43aA	9,50aA	0,38aA	0,38bA	0,41aA	0,90a
MIX3-M	7,36bA	8,26bA	8,26aA	0,34aA	0,36bA	0,38aA	0,89a
MIX3-MF	7,48bB	10,10aA	9,49aA	0,38aA	0,42bA	0,42aA	0,88a
C0	7,35bA	7,56bA	6,54bA	0,34aA	0,36bA	0,29cB	0,79b
C1	10,53aA	9,52aA	10,55aA	0,39aA	0,39bA	0,43aA	0,79b
CV(%)	18,51			16,06			15,13

- (1) Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.
- (2) Mix1-M (isolados 180499 + 180394 + 180395 + 180404 sem fertilizações); Mix1-MF (isolados 180499 + 180394 + 180395 + 180404, alternados com fertilizações); Mix2-M (isolados 180395 + 180479 + 180404 + 180520, sem fertilizações); Mix2-MF (isolados 180395 + 180479 + 180404 + 180520, alternados com fertilizações); Mix3-M (isolados 180499 + 180402 + 180394 + 180521 sem fertilizações); Mix3-MF (isolados 180499 + 180402 + 180394 + 180521, alternados com fertilizações); C0 (Controle, sem microbiolização sem fertilização); C1 (Controle, com fertilização sem microbiolização).
- (3) ALT (Altura de planta); DIAM(diâmetro do pseudocaulo); MSRPA(Relação massa seca raiz:parte aérea)

**Tabela 3** - Relação massa seca de raiz:parte aérea de mudas de bananeira (*Musa spp.*) 'BRS Princesa', aos 30, 40 e 46 dias do início da aclimatização

<b>PERÍODO (DIAS)</b>	<b>MSRPA</b>
<b>30</b>	0,64c
<b>40</b>	0,73b
<b>46</b>	1,00a

A altura de plantas sofreu influência das microbiolizações apenas a partir dos 40 dias de aclimatização, quando os tratamentos que alternaram . fertilizações com microbiolizações não apresentaram diferença significativa para o controle apenas fertilizado (C1) (Tabela 2).

Apesar de ensaios para essa determinação não terem sido realizados, é possível que, em consequência do estágio fisiológico das plantas, a quantidade e diversidade de compostos nos exsudados radiculares não tenha sido suficiente para estímulo ao comprimento da parte aérea das mudas, no primeiro período avaliado (30 dias). Silva *et al.*(2018), ao estudarem o potencial de biomassa bacteriana em promover o crescimento de mudas micropropagadas de bananeira, avaliadas aos 60 dias de aclimatação, e aos 120 dias (60 dias após transplântio para saco plástico), observaram distinções na altura, área foliar, massa seca e diâmetro do pseudocaule apenas na fase de cultura em sacos, quando comparadas ao controle. Na fase de aclimatação, os autores observaram diferenças no comprimento de raiz e número de folhas. Resultado que indica a ação dessas bactérias na produção de mudas de bananeira num estágio fisiológico mais tardio.

Para a variável diâmetro do pseudocaule, esse efeito foi mais evidente aos 46 dias (Tabela 2).

A razão MSRPA representa unidade de massa da parte aérea suportada por unidade de massa radicular, seus índices mais elevados podem significar maior capacidade de suportar condições de déficit hídrico (NG *et al.*, 2016). A MSRPA foi superior para todos os tratamentos em que houve microbiolização

com relação aos controles C0 e C1, indicando resultados positivos para a promoção do crescimento das mudas, atribuídos às bactérias (Tabela 2).

A massa seca da parte aérea não diferiu significativamente os tratamentos nos 30 primeiros dias de aclimatização (Tabela 4). Aos 40 dias, os tratamentos apenas microbiolizados apresentaram comportamento similar ao controle apenas irrigado (C0). No entanto, os tratamentos nos quais houve alternância entre microbiolizações e fertilizações, se igualaram ao controle apenas fertilizado (C1). O que indica que, para massa seca da parte aérea, a redução pela metade na frequência de fertilizações não altera o padrão dos resultados observados, desde que as mudas sejam microbiolizadas

**Tabela 4** - Crescimento de mudas de bananeira (*Musa spp.*) 'BRS Princesa', tratadas com combinações de isolados bacterianos (com e sem fertilização), aos 30, 40 e 46 dias do início da aclimatização

TRAT	MSPA			MSR			MST		
	30	40	46	30	40	46	30	40	46
MIX 1 - M	0,07aA	0,09bA	0,08cA	0,04aB	0,08aA	0,09aA	0,11aA	0,17aA	0,17bA
MIX 1 - MF	0,08aB	0,13aA	0,11bB	0,06aB	0,09aA	0,11aA	0,14aB	0,22aA	0,22aA
MIX 2 - M	0,06aA	0,10bA	0,08cA	0,05aA	0,08aA	0,08aA	0,11aA	0,17aA	0,16bA
MIX 2 - MF	0,07aB	0,10aA	0,13bA	0,05aB	0,07aB	0,12aA	0,13aB	0,18aB	0,25aA
MIX 3 - M	0,05aB	0,09bA	0,10bA	0,03aC	0,07aB	0,11aA	0,09aB	0,14aB	0,21aA
MIX 3 - MF	0,07aB	0,13aA	0,12bA	0,05aB	0,08aB	0,14aA	0,13aB	0,19aB	0,26aA
C0	0,07aA	0,09bA	0,04dB	0,04aA	0,05aA	0,03bA	0,10aA	0,13aA	0,07cA
C1	0,08aC	0,12aB	0,15aA	0,05aB	0,07aB	0,11aA	0,12aC	0,19aB	0,26aA
CV(%)	38,39			25,64			41,03		

(1) Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

(2) Mix1-M (isolados 180499 + 180394 + 180395 + 180404 sem fertilizações); Mix1-MF (isolados 180499 + 180394 + 180395 + 180404, alternados com fertilizações); Mix2-M (isolados 180395 + 180479 + 180404 + 180520, sem fertilizações); Mix2-MF (isolados 180395 + 180479 + 180404 + 180520, alternados com fertilizações); Mix3-M (isolados 180499 + 180402 + 180394 + 180521 sem fertilizações); Mix3-MF (isolados 180499 + 180402 + 180394 + 180521, alternados com fertilizações); C0 (Controle, sem microbiolização sem fertilização); C1 (Controle, com fertilização sem microbiolização).

(3) MSPA (Massa seca da parte aérea); MSR(massa seca de raiz); MST(Massa seca total)

Aos 46 dias, observa-se o controle apenas irrigado (C0) inferior aos demais tratamentos (Tabela 4), comportamento já esperado, e o C1 isoladamente

superior aos demais. Indicativo de interferência microbiológica nas diferenciações, no entanto, sem capacidade promotora do crescimento que supere o controle fertilizado.

Todos os tratamentos envolvendo microbiolizações apresentaram incremento na massa seca de raiz apenas aos 46 dias (Tabela 4). Apesar de, nesse ensaio, não terem sido auferidos o comprimento das raízes e o número de pelos radiculares, este efeito é normalmente atribuído à produção microbiana de reguladores do crescimento vegetal (PEDRINHO *et al.*, 2010). O maior desenvolvimento radicular pode implicar em maior absorção de água e nutrientes.

Os isolados bacterianos aqui testados não foram avaliados quanto à fixação biológica de nitrogênio, mas apresentaram comportamento similar às diazotróficas citadas por Weber *et al.* (2000), para as quais a MSR de plantas apenas microbiolizadas não diferiram estatisticamente das fertilizadas.

Para a produção de biomassa total (MST), os tratamentos microbiolizados apresentaram interferência positiva a partir dos 46 dias de aclimatização, com destaque para o mix 3 (Tabela 4). Os resultados evidenciam a potencialidade dos combinados de bactérias testados, em reduzir pela metade a frequência de aplicações de fertilizantes altamente solúveis na produção de mudas de bananeira 'BRS Princesa'.

Considerando os resultados das mudas microbiolizadas sem fertilização, observou-se superioridade das médias, em relação ao C0, com incremento no crescimento na ordem de: MSRPA (17,72%), ALT (26,30%), DIAM (31,03%), MSR (267,67%), MST (200,0%), MSPA (150,0%).

As mudas de bananeira tratadas com as combinações dos isolados bacterianos não diferiram estatisticamente entre si quanto ao percentual de sobrevivência, nem apresentaram diferença significativa ao C1, com taxas superiores às mudas controle C0 (Tabela 5).

Foi calculado um índice de crescimento (IC), com vistas a analisar as médias de todas as variáveis de forma concomitante (Tabela 6).

**Tabela 5** - Taxa de sobrevivência de mudas de bananeira (*Musa* spp.) 'BRS Princesa' tratadas com combinações de isolados bacterianos (com e sem fertilização)

TRAT	Taxa de sobrevivência (%)
Mix1-MF	83,33a
Mix3-MF	83,33a
Mix2-MF	80,00a
Mix1-M	73,33a
Mix3-M	73,33a
C1	66,67a
Mix2-M	63,33a
C0	43,33b
CV(%)	14,89

\* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

(1) Mix1-M (isolados 180499 + 180394 + 180395 + 180404 sem fertilizações); Mix1-MF (isolados 180499 + 180394 + 180395 + 180404, alternados com fertilizações); Mix2-M (isolados 180395 + 180479 + 180404 + 180520, sem fertilizações); Mix2-MF (isolados 180395 + 180479 + 180404 + 180520, alternados com fertilizações); Mix3-M (isolados 180499 + 180402 + 180394 + 180521 sem fertilizações); Mix3-MF (isolados 180499 + 180402 + 180394 + 180521, alternados com fertilizações); C0 (Controle, sem microbiolização sem fertilização); C1 (Controle, com fertilização sem microbiolização).

**Tabela 6** - Índice de crescimento (IC) de mudas de bananeira (*Musa* spp.) 'BRS Princesa' tratadas com combinações de isolados bacterianos (com e sem fertilização) aos 30, 40 e 46 dias após aclimatização

TRAT	30 DIAS	40 DIAS	46 DIAS
Mix1-M	425,737c	583,228b	602,974b
Mix1-MF	507,397c	668,643b	726,888a
Mix2-M	472,343c	589,208b	581,745b
Mix2-MF	495,735c	602,342b	781,233a
Mix3-M	392,272c	507,811c	696,272a
Mix3-MF	480,523c	602,286b	833,250a
TRAT	30 DIAS	40 DIAS	46 DIAS
C1	506,972c	632,871b	800,000a
C0	422,635c	493,352c	374,656c
CV(%)	27,43		

Fonte: Elaboração própria.

Notas:

(1) Médias seguidas pela mesma letra, minúscula, não diferem entre si pelo Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

(2) Mix1-M (isolados 180499 + 180394 + 180395 + 180404 sem fertilizações); Mix1-MF (isolados 180499 + 180394 + 180395 + 180404, alternados com fertilizações); Mix2-M (isolados 180395 + 180479 + 180404 + 180520, sem fertilizações); Mix2-MF (isolados 180395 + 180479 + 180404 + 180520, alternados com fertilizações); Mix3-M (isolados 180499 + 180402 + 180394 + 180521 sem fertilizações); Mix3-MF (isolados 180499 + 180402 + 180394 + 180521, alternados com fertilizações); C0 (Controle, sem microbiolização sem fertilização); C1 (Controle, com fertilização sem microbiolização).

O índice de crescimento demonstra que os tratamentos aos 30 e 40 dias não foram capazes de superar o C1 aos 46 dias, o que indica não haver tendência à redução do tempo de permanência das mudas em viveiro até o estágio avaliado.

No entanto, observou-se que os tratamentos Mix1-MF, Mix2-MF e Mix3-MF, assim como o Mix3-M, não diferiram significativamente do controle C1, com variáveis aferidas aos 46 dias. Resultado que confirma a redução pela metade da frequência de fertilizações em mudas microbiolizadas.

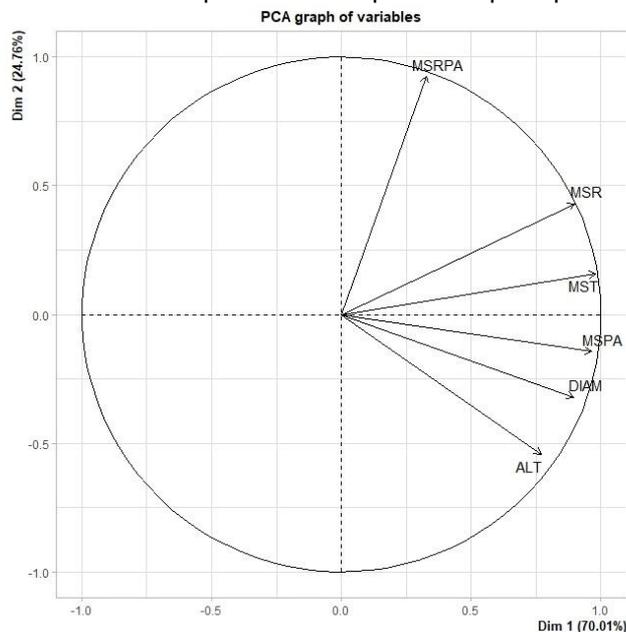
Observa-se que o único Mix sem fertilização que se igualou ao C1 aos 46 dias foi o Mix3. Segundo Rachid *et al.* (2016), a aplicação conjunta de fertilizantes combinados com disponibilização de bactérias atende à demanda nutricional, enquanto os microrganismos criam um efeito sinérgico para a aquisição destes. Microrganismos introduzidos, podem se apresentar menos ativos ou não sobreviverem em ambientes com solo deficiente em nutrientes.

Na análise multivariada, por meio da técnica de componentes principais, do conjunto total de seis variáveis de crescimento analisadas, foram extraídos dois componentes principais que tiveram maior influência sobre os resultados, explicando, em porcentagem, variabilidade total de 94,77% dos dados (Figura 2).

O componente principal 1, que explicou aproximadamente 70,01% da variabilidade dos dados, apresentou correlação forte positiva com as variáveis MST, MSPA, MSR, DIAM e ALT, nessa ordem. O componente principal 2, que explicou 24,76% da variabilidade dos dados, apresentou correlação forte positiva com a variável MSRPA (Figura 2).

As correlações entre as variáveis, com cada componente principal, indicam que estas apresentam maior capacidade discriminatória no processo de formação dos agrupamentos pelo componente em questão (SANTI *et al.*, 2012). Portanto, todas as variáveis avaliadas neste estudo apresentaram peso significativo na discriminação dos tratamentos, se constituindo como relevantes em análises de promoção do crescimento vegetal por bactérias benéficas, e para serem utilizadas em estudos futuros.

**Figura 2.** Peso de seis indicadores de crescimento vegetal para mudas de bananeira (*Musa* spp.) 'BRS Princesa' nos dois primeiros componentes principais



A identificação genética dos isolados bacterianos permite dar acesso a informações que subsidiam sua exploração para o potencial biotecnológico. Para a identificação bacteriana, o sequenciamento do gene 16S rDNA é o método mais usado (CLARRIDGE, 2004), por estar presente em todas as bactérias, e ser uma região conservada, que não sofre influência de alterações no meio ambiente, além de apresentar tamanho suficiente (1500pb) para fornecer informações relevantes da sequência (PATEL, 2012). Entretanto, a sequência do gene 16S rRNA tem baixo nível de resolução taxonômico, o qual se apresenta viável para a classificação das bactérias quanto ao gênero, mas em boa parte insuficiente para classificá-las quanto às espécies.

O sequenciamento do material genético das bactérias que formaram as combinações do ensaio, possibilitou, após comparação com seqüências encontradas no GenBank, a identificação de quatro gêneros, obtendo os seguintes resultados: *Pseudomonas* (isolado 180394 com 100% de homologia, e isolado 180479 com 97%), *Stenotrophomonas maltophilia* (isolado 180395 com 100% de homologia), *Bacillus* (isolado 180402 com 98% de homologia) e *acinetobacter* (isolado 180521 com 100% de homologia).

Das oito bactérias selecionadas, não foram encontradas semelhanças significativas no GenBank para três delas (isolados 180404,180499 e 180520).

Para estas, as sequências nucleotídicas obtidas apresentaram-se de baixa qualidade, o que pode ser decorrente de fatores diversos.

Todos os gêneros identificados, já foram reportados na literatura como detentores de algum traço funcional que os caracterize como potencial promotor do crescimento de plantas.

*Pseudomonas* e *Bacillus* estão descritos como gêneros aos quais a maioria das estirpes de BPCVs estão documentadas. *Pseudomonas* compreende um taxon de organismos muito versáteis metabolicamente, distribuídos por solos e água, e se constituem como importantes patógenos de plantas, animais e humanos, com algumas estirpes relacionadas à promoção de crescimento de plantas. São capazes de solubilizar fósforo, produzir AIA e atuar no controle de patógenos. Vardharajula *et al.* (2011) associaram a promoção do crescimento de mudas de milho à isolados de *Bacillus* sp. solubilizadores de amônia, produtores de ácido indolacético e fosfato. Kavamura *et al.* (2013), verificaram que isolados capazes de promover crescimento, sob estresse hídrico, de cactos nativos da caatinga, foram identificados como pertencentes ao gênero *Bacillus*.

O gênero *Acinetobacter* tem sido descrito como solubilizador de CaHPO<sub>4</sub>, biodegradador de herbicidas, fixador de nitrogênio, sintetizador de sideróforos, produtor de AIA, e com antibiose aos *Fusarium* sp. (BARRETTI *et al.*, 2008).

As *Stenotrophomonas* têm maior prevalência no solo e em associação com plantas, e a espécie *Maltophilia* demonstra alta capacidade de produção de ácido indolacético (AIA). Na natureza, estes microorganismos estão presentes preferencialmente na rizosfera, onde atuam na promoção de crescimento e desenvolvimento vegetal, produzindo fitormônios (SUCKSTORFF; BERG, 2003) e solubilizando fosfato (XIAO *et al.*, 2009). Apresenta atividade nematicida, antifúngica, e potencial quitinolítico no biocontrole de cupins (JABEEN *et al.*, 2018). Pelas características descritas, demonstra versatilidade em atividades de biocontrole, e potencialidade para a aplicação biotecnológica. Porém, a espécie *S. maltophilia* possui cepas descritas na literatura como patógenos oportunistas em humanos, ainda que não haja relatos como fitopatogênica (ASSIS *et al.*, 2017).

Todas as bactérias avaliadas são oriundas de solos cultivados com bananeira 'BRS Princesa' em sistema orgânico de produção, indicando uma sinergia dos isolados bacterianos com esse genótipo vegetal. De acordo com Mendes *et al.* (2017) o genótipo da planta impulsiona, em parte, a seleção dos

microrganismos, depositando exsudatos específicos na interface solo-raiz. Assim, as espécies de plantas, cultivares e tipo de solo são os principais impulsionadores da composição e funcionamento do microbioma da rizosfera.

Os resultados encontrados, ainda que relevantes, podem subsidiar novos ensaios. Não foram realizados, por exemplo, testes preliminares para ajuste de uma concentração ótima de suspensão bacteriana, no entanto, diversos trabalhos reportam bons resultados na promoção de crescimento com concentrações em torno de  $10^6$  a  $10^9$ UFC.mL<sup>-1</sup>. No presente estudo optou-se por utilizar concentrações a  $10^9$ UFC.mL<sup>-1</sup>. Também não foram testadas as bactérias quanto à capacidade individual na promoção do crescimento vegetal, por entender que no ambiente solo, em condições naturais de campo, essas bactérias não atuarão de forma isolada, sofrendo influência de fatores diversos, inclusive de competições inter e intraespecíficas.

É possível ainda que outros mecanismos estejam envolvidos na promoção do crescimento de plantas micropropagadas de bananeira 'BRS Princesa'. Tal conhecimento pode embasar discussões a respeito de outras possíveis causas para os resultados encontrados. Souza *et al.* (2017) relatam que combinação de bactérias diazotróficas, solubilizadoras de fosfato e sintetizadores de ácido indol acético, promoveu aumentos significativos no comprimento, diâmetro do pseudocaule, número de folhas, massa fresca de parte aérea e raiz, e massa seca de mudas de bananeira 'Prata Ana'.

Outras estratégias também podem ser adotadas, como: utilizar um controle positivo, cujos mecanismos promotores de crescimento sejam previamente conhecidos; agregar adubações orgânicas às microbiolizações; promover intervalos maiores entre microbiolizações; identificar geneticamente, a nível de espécie, as cepas mais promissoras; selecionar novas combinações entre os isolados; investigar o potencial para biocontrole de enfermidades; e avaliar a ação promotora do crescimento por um período maior que os 46 dias estudados; dentre outros, tomando-se como referência os resultados já discriminados.

## CONCLUSÕES

- Há crescimento de mudas de bananeira (*Musa* spp.) 'BRS Princesa', em resposta à inoculação de combinações de bactérias produtoras de AIA, com respostas mais evidentes após 40 dias de aclimatização;
- Combinados de bactérias oriundas de solos sob cultivo orgânico de bananeira, e pertencentes aos gêneros *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas maltophila*, *Bacillus* e *acinetobacter*, contribuem para redução na frequência de uso de fertilizantes químicos na produção de mudas dessa frutífera cv. BRS Princesa;
- Os tratamentos com microbiolizações não são capazes de reduzir o tempo de permanência de mudas de bananeira 'BRS Princesa' em viveiro, para período inferior a 45 dias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, F. P., BUENO, J. C. F., HERMES, V. S. E ARISI, A. C. M. Gene expression analysis of maize seedlings (DKB240 variety) inocuated with plant growth promoting bacterium *Herbaspirillum seropedicae*. **Symbiosis**, v.62, p.41-50. 2014.

ASGHAR, H. N.; ZAHIR, Z. A.; ARSHAD, M.; KHALIQ, A. Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, p.231-237, 2002.

ASSIS, G. B. N. et al. Use of MALDI-TOF Mass Spectrometry for the Fast Identification of Gram-Positive Fish Pathogens. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, n. 8, 1492 p., 2017.

BARRETTI, P. B; SOUZA, R. M. de; POZZA, E. A.. Bactérias endofíticas como agentes promotores do crescimento de plantas de tomateiro e de inibição *in vitro* de *Ralstonia solanacearum* **Ciência e grotecnologia**. v.32 n.3,p.731-739, 2008.

CLARRIDGE III, J.E.. Impact of 16S rRNA gene sequence analysis for identification of bacteria on clinical microbiology and infectious disease. **Clinical Microbiology Reviews**, v.17, p.840–862. 2004.

CATTELLAN, A. J. **Métodos qualitativos para determinação de características bioquímicas e fisiológicas associadas com rizobactérias promotoras de crescimento vegetal**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 36p., 1999.

COSTA, E. M. Da; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. De; TROCHMANN, A.; FERREIRA, L. de V. M.; MOREIRA, F. M. de S.. Promoção do crescimento vegetal e diversidade genética de bactérias isoladas de nódulos de feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.9, p.1275-1284, set. 2013.

DAWWAM, G. E.; ELBELTAGY, A.; EMARA, H. M.; ABBAS, I. H.; HASSAN, M. M. Beneficial effect of plant growth promoting bacteria isolated from the roots of potato plant. **Annals of Agricultural Science**. v. 58, n. 2, p.195–201. 2013.

HENRIQUES, A. B.; RIZZINI, C. M.; REINERT, F.. **Botânica II**. v. 3. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 224p.,2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 03 Nov. de 2020.

JABEEN, F., HUSSAIN, A., MANZOOR, M., YOUNIS, T.; RASUL, A.; QAZI, J. I..Potential of bacterial chitinolytic, *Stenotrophomonas maltophilia*, in biological control of termites. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v.28, n.86. 2018.

KAVAMURA, V.; SANTOS, S. N.; SILVA, J. L. da.; PARMA, M. M.; AVILA, L. A.; VISCONTI, A.; ZUCCHI, T. D.; TAKETANI, R. G.; ANDREOTE, F. D.; MELO, I. S.

de. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v. 168, n. 4, p. 183-191, 2013.

MENDES, L. W.; RAAIJMAKERS, J. M.; HOLLANDER, M.; MENDES, R.; TSAI, S. M. Influence of resistance breeding in common bean on rhizosphere microbiome composition and function. **Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology** , v.12, n.1, p.212-224, 2017.

MORETI, U. de S. ; PEREIRA, J. C. S. ; ALTHMAN, M. P. F.. Auxina: hormônio de desenvolvimento fisiológico vegetal. **Revista científica eletrônica de agronomia da FAEF**, v. 33, n.1, 2018.

PATEL, P.P.; RAKHASHIYA, P.M.; CHUDASAMA,K.S.; THAKER, C.V..Isolation, Purification and Estimation of Zeatin from *Corynebacterium aurimucosum*. **European Journal of Experimental Biology**, v.2 , p.1-8. 2012.

PEDRINHO, E. A. N.; GALDIANO JÚNIOR, R. F.; CAMPANHARO, J. C.; ALVES, L. M. C.; LEMOS, E. G. de M.. Identificação e avaliação de rizobactérias isoladas de raízes de milho.**Bragantia**, v..69, n.4, p.905-911, 2010.

RACHID, C. T. C. C., BALIEIRO, F. C., PEIXOTO, R. S., PINHEIRO, Y. A. S., PICCOLO, M. C., CHAER, G. M., et al..Mixed plantations can promote microbial integration and soil nitrate increases with changes in the N cycling genes. **Soil Biology and biochemistry**. v.66, p.146–153, 2013.

ROMEIRO, R.S. **Controle biológico de enfermidades de plantas: procedimentos**. Viçosa: Ed.UFV, 172p. 2007.

SANTI, A. L. *et al.*. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. Pesquisa Agropecuária Brasileira. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.47, n.9, 2012.

SARWAR, M.; KREMER, R. J. Enhanced suppression of plant growth through production of L-tryptophan-derived compounds by deleterious rhizobacteria. **Plant and Soil**, v.172, p.261-269, 1995.

SCHAAD, N. W. Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria, 2. ed., St. Paul: **American Phytopathological Society**. 164p, 1998.

SILVA, C. de F. B. da; BRITO, T. L. de; TANIGUCHI, C. A. K.; LOPES, L. A.; PINTO, G. A. S.; CARVALHO, A. C. P. P. de. Growth-promoting potential of bacterial biomass in the banana micropropagated plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. v.22, n.11, p.782-787, 2018.

SILVA, H.S.A.; TOZZI, J.P.L.; TERRASAN, C.R.F.; BETTIOL, W.. Endophytic microorganisms from coffee tissues as plant growth promoters and biocontrol agents of coffee leaf rust. **Biological Control**. v.63, p.62–67.2012.

SILVA, H. S. A.; VIEIRA, R. S.; CARDOSO, K. G. V.; ARAÚJO, K.S.. Processo de produção de mudas micropropagadas de bananeira por microbiolização com rizobactérias produtoras de ácido indolacético. Embrapa Mandioca e Fruticultura: Circular técnica 117. 6p. 2016.

SOUZA, G. L. O. D. de; SILVA, D. F. Da; NIETSCHKE, S.; XAVIER, A. A.; PEREIRA, M. C. T.. ENDOPHYTIC BACTERIA USED AS BIOINOCULANTS IN MICROPROPAGATED BANANA SEEDLINGS. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.39, n.2, p.e-324, 2017.

SUCKSTORFF, I.; BERG, G.. Evidence for dose dependent effects on plant growth by *Stenotrophomonas* strains from different origins. **Journal of Applied Microbiology**, v.95, n.4, p.656-663. 2003.

VARDHARAJULA, S.; ALI, S.Z.; GROVER, M.; REDDY, G.; BANDI, V. Crescimento de plantas tolerantes à seca que promove *Bacillus* spp.: efeito sobre

o crescimento, osmólitos e status antioxidante do milho sob estresse hídrico, **Journal of Plant Interactions**, v.6:, n.1, p.1-14, 2011.

WEBER, O. B., BALDANI, J. I., DÖBEREINER, J.. Bactérias diazotróficas em mudas de bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35 . n.11., 2000.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos permitiram identificar  $\beta$ -glucosidase, arilsulfatase, carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico, quociente microbiano, e densidade de fungos micorrízicos arbusculares, como atributos microbiológicos sensíveis a modificações no uso do solo. Portanto, podem ser utilizados como bons bioindicadores para estudos futuros, e para monitoramento da qualidade de solos sob cultivo orgânico de *Mangifera indica* L., *Ananas comosus* L e *Musa* spp., nas condições do semiárido baiano.

As áreas sob cultivo orgânico de mangueira 'Roxa embrapa' foram as que mais se aproximaram das condições biológicas dos solos sob vegetação nativa, considerados como referência. Algumas hipóteses foram consideradas, como o tempo de manejo orgânico a que as áreas estão submetidas, a qualidade do aporte de C orgânico disponibilizado, além de características particulares da própria cultivar e conformações botânicas da espécie.

Coletas de solo realizadas em camadas mais superficiais do perfil, podem apresentar maior sensibilidade discriminatória dos ambientes estudados.

Para as condições de fruticultura orgânica do semiárido baiano, análise biológica do solo realizada em período cujos índices pluviométricos se apresentam muito acima da média local, pode se constituir em condição estressante para sua comunidade microbiana.

Há ocorrência de bactérias promotoras do crescimento de plantas nesses solos, com potencial de reduzir a frequência de uso de fertilizantes químicos na fase de aclimatização de Bananeira (*Musa* spp.) 'BRS Princesa' micropropagada.

O estágio fisiológico das plantas é importante para essa funcionalidade, e os resultados apontam a relevância de se estudar a interação bacteriana com mudas de bananeira 'BRS Princesa' por período superior aos 46 dias avaliados, além de ensaios constando intervalos mais espaçados entre as microbiolizações, com vistas a reduzir etapas, e conseqüentemente custos com a produção.