

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**JAMILLY ALVES DE BARROS**

**FERTILIZANTE BIOLÓGICO E RESÍDUO ORGÂNICO NA  
DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES NO CULTIVO DE BANANA  
E ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DO SOLO**

**Recife**

**2020**



Jamilly Alves de Barros  
Engenheira Agrônoma

**Fertilizante Biológico e Resíduo Orgânico na Disponibilização de Nutrientes no Cultivo de Banana e Atributos Químicos e Biológicos do solo**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Dr. Newton Pereira Stamford

Coorientadoras: Profa. Dra. Erika Valente de Medeiros

Profa. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas

Recife

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- B277f Barros, Jamilly Alves de  
Fertilizante biológico e resíduo orgânico na disponibilização de nutrientes no cultivo de banana e atributos químicos e biológicos do solo / Jamilly Alves de Barros. - 2020.  
93 f.
- Orientador: Newton Pereira Stamford.  
Coorientadora: Erika Valente de Medeiros.  
Inclui referências e apêndice(s).
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2020.
1. Solubilização de fósforo e potássio. 2. Acidithiobacillus. 3. Lodo de esgoto. I. Stamford, Newton Pereira, orient. II. Medeiros, Erika Valente de, coorient. III. Título

---

CDD 631.4

JAMILLY ALVES DE BARROS

**Fertilizante Biológico e Resíduo Orgânico na Disponibilização de Nutrientes no Cultivo de Banana e Atributos Químicos e Biológicos do Solo**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2020

---

Prof. Dr. Newton Pereira Stamford  
Orientador  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Rosimar dos Santos Musser  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Profa. Dra. Giselle Gomes Monteiro Fracetto  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Profa. Dra. Thatiana Montenegro S. Arnaud  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Fernando José Freire  
Universidade Federal Rural de Pernambuco



## **OFEREÇO**

Aos meus irmãos, Josiran, Janileide e Luana pelo carinho e apoio partilhados nos momentos difíceis, as minhas queridas sobrinhas Sanya e Julya, meus cunhados Valter e Simone, e a Wendson que esteve ao meu lado desde o início dessa jornada.

A minha mãe, Lindalva Alves de Barros, meu exemplo de vida, mulher batalhadora que com muita dedicação criou seus filhos, e estar sempre nos apoiando na realização dos nossos sonhos.

**DEDICO**





## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de realização do curso de doutorado e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo apoio financeiro, na concessão da bolsa de doutorado.

Ao Professor e Orientador, Dr. Newton Pereira Stamford, pela orientação e todo o conhecimento doado, além do carinho e atenção a mim dedicada ao longo desses quatro anos.

A Profa. Dra. Erika Valente de Medeiros, minha coorientadora, por seus ensinamentos, incentivo e por ser minha inspiração para ser uma pesquisadora.

A minha coorientadora, Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas, pelas dúvidas tiradas, pelo carinho e pela atenção a mim dedicada.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pelos conhecimentos transmitidos durante o curso de doutorado.

A querida secretária do programa, Maria do Socorro, pela a atenção e carinho.

A Estação Experimental de Cana de Açúcar do Carpina (EECAC) da UFRPE, ao Dr. Djalma Neto e todos os funcionários pelo apoio prestado durante a implantação e desenvolvimento do projeto.

Aos Laboratórios de Microbiologia, Química e Química ambiental pela estrutura e equipamentos utilizados durante o desenvolvimento do projeto. E ao técnico Pedro pelas dúvidas tiradas e atenção a mim dedicada.

Ao Dr. Diogo Paes da Costa por me ajudar com a estatística dos dados, muito obrigada!

Aos meus amigos e amigas do Laboratório de Biotecnologia: Emmanuella, Wagner, Marllon, Mayanne, Joais, e Maria de Nazaré pelo enorme carinho e apoio prestado na realização deste trabalho.

Minha Amiga e companheira Maria Iderlane, que dividiu comigo muitas lutas e momentos alegria.

Aos queridos estagiários, Elton, Wagner, Maurício, Fernanda e Katiane pelo apoio prestado na reta final das análises e que me inspiraram ainda mais a continuar neste mundo fantástico da pesquisa pelo simples fato de me escutarem e aprenderem comigo o pouco que lhes transmiti.

Aos amigos que fiz ao longo dessa jornada, principalmente durante as disciplinas. Em especial Cíntia, Tiago e Wildson pela convivência e estímulo nas horas mais difíceis.

Deixo aqui a minha mais profunda gratidão a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para este feito.



Tu és minha vida, outro Deus não há.  
Tu és minha estrada, a minha verdade...  
Em tua Palavra eu caminharei  
Enquanto eu viver e até quando tu quiseres.  
Já não sentirei temor, pois estás aqui.  
Tu estás no meio de nós.

Creio em ti Senhor, vindo de Maria,  
Filho Eterno e Santo, Homem como nós...  
Tu morreste por amor, vivo estás em nós,  
Unidade trina com o Espírito e o Pai.  
E um dia - eu bem sei - tu retornarás  
E abrirás o Reino dos Céus.

Tu és minha força, outro Deus não há.  
Tu és minha paz, minha liberdade...  
Nada nesta vida nos separará.  
Em tuas mãos seguras minha vida guardarás.  
Eu não temerei o mal, tu me livrarás  
E no teu perdão viverei.

Oh Senhor da vida, creio sempre em ti.  
Filho Salvador, eu espero em ti.  
Santo Espírito de amor, desce sobre nós.  
Tu de mil caminhos nos conduzes a uma fé.  
E por mil estradas, onde andarmos nós,  
Qual semente nos levarás.



“O papel do infinitamente pequeno na  
natureza é infinitamente grande”.  
Louis Pasteur



## **Fertilizante biológico e resíduo orgânico na disponibilização de nutrientes no cultivo de banana e atributos químicos e biológicos do solo**

### **RESUMO**

A bananicultura é um agronegócio com grande potencial no âmbito da fruticultura brasileira, e necessita de grandes quantidades de adubos para manter os níveis adequados de macronutrientes e alcançar produções satisfatórias. A utilização de fertilizantes biológicos e resíduos orgânicos são uma opção eficiente nas grandes produções agrícolas e uma alternativa sustentável. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a utilização de um fertilizante biológico a base de rochas fosfáticas e potássicas aliado ao lodo de esgoto num programa para disponibilização de nutrientes no cultivo de banana Pacovan. O experimento em campo foi implantado na Estação Experimental de Cana-de-açúcar da UFRPE, localizada no município de Carpina – PE. O ensaio foi conduzido em delineamento blocos casualizados em esquema de parcelas sub-subdivididas, onde consideraram-se parcela: coletas (tempo); subparcela: tratamentos e sub-subparcela: resíduo. Sendo quatro tratamentos fertilizante (duas doses de fertilizante biológico; fertilizante solúvel - NPK e o controle - húmus), com e sem aplicação de resíduo - lodo de esgoto. O experimento foi conduzido por 2 anos, e neste período, foram feitas três coletas de solo e duas coletas de material vegetal, sendo realizadas análises químicas do solo (pH, P, K, Na, Ca, Mg, COT e MO) e da planta (N, P, K, Ca e Mg), e análises microbiológicas (BMS, RBS,  $qCO_2$  e  $qMIC$ ) e bioquímicas do solo (atividade enzimática do solo). As concentrações de P, K, Ca e Mg no solo e na planta foram influenciadas tanto pela presença dos tratamentos fertilizantes, quanto pelo resíduo aplicado, apresentando diferenças significativas em todas as coletas avaliadas. O fertilizante biológico a base rochas aumentou a concentração de macronutrientes no solo, principalmente os teores de P, se sobressaindo ao fertilizante solúvel convencional. O lodo de esgoto estimulou a BMS refletindo positivamente na atividade enzimática e nos valores de RBS,  $qCO_2$ , e  $qMIC$ , no entanto, a alta concentração de Ca causou um desequilíbrio das bases trocáveis na solução do solo. A maior concentração de macronutrientes no solo e na planta foram alcançadas ao aplicar o fertilizante biológico junto ao lodo de esgoto. Diante dos resultados encontrados a recomendação do fertilizante biológico em interação com o lodo de esgoto pode ser uma alternativa eficiente e sustentável aos fertilizantes solúveis convencionais para o cultivo de banana Pacovan, sendo necessária uma caracterização química prévia do lodo já que este pode apresentar alta concentração de Ca caso tenha sido tratado com CaO, tomando-se o cuidado para que a quantidade aplicada não cause o desequilíbrio das bases trocáveis na solução do solo.

**Palavras-chave:** Solubilização de fósforo e potássio. *Acidithiobacillus*. Lodo de esgoto.





## **Biological fertilizer and organic residue on nutrient availability in banana cultivation and chemical and biological attributes of soil**

### **ABSTRACT**

Banana farming is an agribusiness with great potential within the scope of Brazilian fruit growing, and requires large quantities of fertilizers to maintain adequate levels of macronutrients and achieve satisfactory yields. The use of biological fertilizers and organic waste is an efficient option in large agricultural production and a sustainable alternative. Therefore, the objective of this study was to evaluate the use of a biological fertilizer based on phosphate and potassium rocks combined with sewage sludge in a program for making nutrients available in the cultivation of Pacovan bananas. The field experiment was implemented at the UFRPE Sugarcane Experimental Station, located in the municipality of Carpina - PE. The test was conducted in a randomized block design in a subdivided plot scheme, where the plot was considered: collections (time); subplot: treatments and subplot: waste. Four fertilizer treatments (two doses of biological fertilizer; soluble fertilizer - NPK and the control - humus), with and without application of waste - sewage sludge. The experiment was carried out for 2 years, and in this period, three collections of soil and two collections of plant material were made, chemical analyzes of the soil (pH, P, K, Na, Ca, Mg, COT and MO) and of plant (N, P, K, Ca and Mg), and microbiological (BMS, RBS,  $qCO_2$  and  $qMIC$ ) and biochemical analyzes of the soil (soil enzymatic activity). The concentrations of P, K, Ca and Mg in the soil and in the plant were influenced both by the presence of fertilizer treatments and by the applied residue, showing significant differences in all evaluated collections. The biological fertilizer based on rocks increased the concentration of macronutrients in the soil, mainly the contents of P, standing out from the conventional soluble fertilizer. The sewage sludge stimulated the BMS reflecting positively on the enzymatic activity and the values of RBS,  $qCO_2$ , and  $qMIC$ , however, the high Ca concentration caused an imbalance of exchangeable bases in the soil solution. The highest concentration of macronutrients in the soil and in the plant was achieved by applying biological fertilizer next to the sewage sludge. In view of the results found, the recommendation of biological fertilizer in interaction with sewage sludge can be an efficient and sustainable alternative to conventional soluble fertilizers for the cultivation of Pacovan bananas, requiring a previous chemical characterization of the sludge since it can present a high concentration of Ca if treated with CaO, taking care that the applied amount does not cause the imbalance of exchangeable bases in the soil solution.

**Keywords:** Phosphorus and potassium solubilization. *Acidithiobacillus*. Sewage sludge.



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Caracterização química do lodo de esgoto produzido na Lógica Ambiental e concentração máxima de metais pesados permitida de acordo com a legislação vigente.....	37
<b>Tabela 2.</b> Características química do fertilizante (rochas + enxofre elementar + Acidithiobacillus thiooxidans).....	38
<b>Tabela 3.</b> Caracterização química e física do solo da área do plantio da EECAC .....	40
<b>Tabela 4.</b> Teores de P, K e Na no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan .....	46
<b>Tabela 5.</b> Teores de Ca e Mg no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan .....	47
<b>Tabela 6.</b> Valores de pH no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan.....	49
<b>Tabela 7.</b> Concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan .....	50
<b>Tabela 8.</b> Carbono da Biomassa Microbiana e Respiração Basal de Solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan.....	51
<b>Tabela 9.</b> Valores do $qCO_2$ e do $qMIC$ de solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan .....	52
<b>Tabela 10.</b> Atividades enzimáticas da segunda coleta de solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan .....	53
<b>Tabela 11.</b> Concentrações de N, P e K na folha (Limbo foliar) de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto .....	55
<b>Tabela 12.</b> Concentrações de Ca e Mg na folha (Limbo foliar) de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto .....	56
<b>Tabela 13.</b> Massa seca da folha de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto .....	57
<b>Tabela 14.</b> Dados de altura e diâmetro do pseudocaule, e comprimento e largura da folha de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto (Período referente ao final do primeiro ciclo) .....	58
<b>Tabela 15.</b> Teores de P, K e Na no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta.....	89

<b>Tabela 16.</b> Teores de Ca e Mg no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta.....	90
<b>Tabela 17.</b> Valores de pH no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta.....	90
<b>Tabela 18.</b> Concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta.....	91
<b>Tabela 19.</b> Carbono da biomassa microbiana e respiração basal de solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta.....	91
<b>Tabela 20.</b> Valores do $qCO_2$ e do $qMIC$ de solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta .....	92
<b>Tabela 21.</b> Concentrações de N, P e K na folha (Limbo foliar) de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto em diferentes períodos de coleta .....	92
<b>Tabela 22.</b> Concentrações de Ca e Mg na folha (Limbo foliar) de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto em diferentes períodos de coleta .....	93
<b>Tabela 23.</b> Massa seca da folha de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto em diferentes períodos de coleta .....	93

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Preparo e desenvolvimento das mudas de bananeira antes da implantação do experimento em campo.....	36
<b>Figura 2.</b> Precipitação pluviométrica da área experimental (EECAC) durante os dois anos de cultivo das bananeiras.....	38
<b>Figura 3.</b> Implantação do experimento em campo na EECAC .....	39
<b>Figura 4.</b> Análise de redundância baseada em distância (db-RDA) entre as variáveis do solo e da planta de banana Pacovan tratada com fertilizante biológico e lodo de esgoto (dados referentes ao final do primeiro ciclo de cultivo).....	59
<b>Figura 5.</b> Análise de Correlação de Pearson entre as variáveis do solo e da planta de banana Pacovan tratada com fertilizante biológico e lodo de esgoto (dados referentes ao final do primeiro ciclo de cultivo) .....	61



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	23
1.1 Hipóteses .....	25
1.2 Objetivo Geral .....	25
1.3 Objetivos específicos .....	25
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	26
2.1 Nutrição Mineral de Plantas .....	26
2.2 Fontes Alternativas de Fertilizantes .....	28
2.3 A Bananeira .....	31
2.4 Análises Químicas e Microbiológicas para Avaliar a Fertilidade e Qualidade do Solo...34	
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	36
3.1 Preparo das mudas .....	36
3.2 Aquisição e composição do resíduo orgânico .....	36
3.3 Produção do Fertilizante Biológico .....	37
3.4 Condução do experimento em campo .....	38
3.5 Análises química da primeira, segunda e terceira coleta de solo .....	41
3.6 Análises microbiológicas e bioquímicas da segunda coleta de solo .....	42
3.7 Análises química foliar .....	43
3.8 Parâmetros fitotécnicos .....	43
3.9 Análises estatísticas .....	44
4 RESULTADOS .....	45
4.1 Atributos químicos do solo.....	45
4.2 Atributos microbiológicos do solo .....	50
4.3 Análise nutricional e fitotécnica da planta .....	54
4.4 Análise de redundância e Correlação de Pearson.....	59
5 DISCUSSÃO .....	62
5.1 Atributos químicos do solo.....	62
5.2 Atributos microbiológicos .....	66

5.3 Análise nutricional e fitotécnica da planta .....	69
5.4 Análise de redundância e Correlação de Pearson .....	73
6 CONCLUSÕES .....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76
APÊNDICES .....	89





## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A fertilidade do solo é vital para produção agrícola, pois a disponibilização dos nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas é o ponto-chave para alcançar altas produtividades. No entanto, sabe-se que muitos solos possuem baixa fertilidade devido ao processo de intemperismo avançado. Diante disto, a utilização de insumos agrícolas se tornou prática comum, e em países de clima tropical e alta precipitação a necessidade de adubação dos cultivos é cada vez maior já que nessas regiões, os solos apresentarem-se ácidos, com baixa capacidade de troca de cátions, alta imobilização de fósforo e decomposição acelerada da matéria orgânica.

Neste sentido, a reposição dos macros e micronutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas se dá pela aplicação de fertilizantes minerais e matéria orgânica. Os fertilizantes mais aplicados nas produções agrícolas são os macronutrientes primários: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), e as fontes mais utilizadas são: ureia, sulfato de amônio, nitrato de potássio, cloreto de potássio, sulfato de potássio, fosfato monoamônico, fosfato diamônico, superfosfato simples e superfosfato triplo.

Algumas culturas necessitam de grandes quantidades de nutrientes na solução do solo, por apresentarem um rápido crescimento e produção. Um exemplo é a bananeira que absorve K e N em concentrações elevadas, e depois destes, os outros nutrientes mais requeridos são cálcio, magnésio, enxofre e fósforo. Sendo assim, a produção desta cultura em solos altamente intemperizados necessita de um programa eficiente na disponibilização destes elementos, sendo realizadas adubações frequentes devido à exportação dos nutrientes no produto colhido.

Apesar das dificuldades relacionadas a fertilidade do solo, o mercado mundial agrícola precisa manter uma alta produção, devido ao elevado crescimento populacional e sua demanda por alimentos. Devido a isto, a exploração dos recursos naturais está cada vez mais intensa podendo, a longo prazo, entrar em colapso se não forem investidas práticas sustentáveis e utilizarem energia renovável na produção. A diminuição do manejo inadequado dos solos, da poluição das águas e da emissão de gases de efeito estufa são imprescindíveis para preservar o meio ambiente e manter a produção global. Assim, a busca por fontes alternativas aos insumos agrícolas tornou-se o objetivo de muitas pesquisas científicas.

À vista disso, os microrganismos do solo tornaram-se uma opção viável para a produção agrícola sustentável, sendo considerados promotores de crescimento de plantas devido os benefícios diretos ou indiretos realizados para as plantas. Um exemplo desses

benefícios é a fixação biológica de nitrogênio (FBN), hoje reconhecida como uma opção eficiente na disponibilização de N para as culturas, pois além de fornecer o N de uma forma sustentável é economicamente viável, diminuindo os gastos do produtor com insumos. Além da FBN, outros benefícios e atividades microbiológicas tornaram-se a fonte de pesquisa na área da biotecnologia agrícola, dentre eles a solubilização de fosfatos, a produção de fitohormônios, a ação contra patógenos e a recuperação de ambientes contaminados.

Com estes conhecimentos, muitos pesquisadores investem na produção de inoculantes e biofertilizantes na disponibilização de nutrientes para as plantas. Stamford et al. (2008) desenvolveram um fertilizante biológico visando disponibilizar N, P e K as plantas. Esse fertilizante microbiano se baseia na solubilização de rochas fosfáticas e potássicas pela ação do ácido sulfúrico produzido a partir da mistura de enxofre com *Acidithiobacillus* que é uma bactéria oxidante de enxofre. Além disso, foi adicionado a bactéria diazotrófica de vida livre (*Beijerinckia indica*), que disponibiliza N para as plantas, através do processo da fixação biológica do N.

O reaproveitamento de resíduos orgânicos nos cultivos agrícolas também se tornou uma prática eficiente e uma forma sustentável de destinação da grande quantidade de resíduos gerados pela população mundial. O lodo de esgoto pode melhorar as propriedades químicas (disponibilizando nutrientes), físicas (melhorando a estrutura do solo) e biológicas (fonte prontamente disponível de nutrientes a biomassa microbiana do solo), refletindo no aumento da produtividade.

Com isto, a utilização de um fertilizante biológico rico em NPK aliado a um resíduo orgânico como lodo de esgoto podem ser uma opção eficiente num programa de disponibilização de nutrientes essenciais ao cultivo de bananeiras, mantendo o manejo sustentável devido à aplicação de condicionantes da qualidade do solo.

## 1.1 Hipóteses

O fertilizante biológico e o lodo de esgoto disponibilizarão os macronutrientes N, P, K, Ca e Mg para a cultura da bananeira, sendo tão eficiente quanto o fertilizante solúvel convencional.

Como o fertilizante biológico é rico em NPK, o fornecimento de Ca e Mg será maior pelo lodo de esgoto.

A interação do lodo com o fertilizante biológico afetará positivamente a biomassa microbiana do solo causando alterações na sua atividade metabólica.

## 1.2 Objetivo Geral

Avaliar o efeito da interação do fertilizante biológico com o lodo de esgoto nas propriedades químicas, microbiológicas e bioquímicas do solo. Bem como, avaliar o poder residual do fertilizante biológico, em disponibilizar os macronutrientes após um ano de sua aplicação no bananal.

## 1.3 Objetivos específicos

Quantificar a concentração de K, P, Ca e Mg disponíveis no solo para cultura da bananeira em função a aplicação do fertilizante biológico e do lodo de esgoto;

Analisar a concentração de N, P, K, Ca e Mg na planta;

Avaliar o efeito do fertilizante biológico e do lodo de esgoto nos parâmetros microbiológicos (Biomassa microbiana do solo - BMS, Respiração Basal do solo - RBS, quociente metabólico -  $qCO_2$  e o quociente microbiano -  $qMIC$ );

Avaliar o efeito do fertilizante biológico e do lodo de esgoto na atividade enzimática da fosfatase ácida, fosfatase alcalina e da urease;

Avaliar o efeito do fertilizante biológico e do lodo de esgoto nos parâmetros fitotécnicos;

Avaliar o efeito residual do fertilizante biológico após 1 ano da sua aplicação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Nutrição Mineral de Plantas

Um programa de nutrição de plantas eficiente requer uma administração efetiva dos nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento. No tecido vegetal, os elementos Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) apresentam valores acima de 0,2% do peso de matéria seca, sendo por isso, considerados macronutrientes. Enquanto, cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe), boro (B), níquel (Ni), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e zinco (Zn) estão em concentrações inferiores a 0,01%, sendo intitulados de micronutrientes (McGRANT; SPARGO; PENN, 2014). Os macros e os micronutrientes são considerados essenciais por serem primordiais para as plantas completarem seu ciclo de vida, sendo que cada elemento tem uma função no seu desenvolvimento. Além destes, o carbono (C), o oxigênio (O) e o Hidrogênio (H) são elementos não minerais essenciais para os vegetais (NUNES et al., 2013) e estes se encontram em concentrações superiores que qualquer macronutriente no tecido das plantas. Na ausência de qualquer um desses elementos a planta desenvolverá distúrbios fisiológicos irreversíveis culminando com a morte celular (OHKAMA-OHTSU; WASAKI, 2010).

Depois do C, O e H, o N é o nutriente que ocorre em maior quantidade nas plantas, sendo constituinte dos aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas, hormônios, clorofila entre outros (MAATHUIS, 2009; ELMER; DATNOFF, 2014). As plantas assimilam o N nas formas de  $\text{NO}_3^-$  (nitrato) e  $\text{NH}_4^+$  (amônio), no entanto, essas formas se encontram em baixas concentrações na solução do solo, além de apresentar alta mobilidade, tornando-se restrito nos ecossistemas naturais (McGRANT; SPARGO; PENN, 2014). A maior concentração de N encontra-se na atmosfera (cerca de 80%), mas está na sua forma mais estável ( $\text{N}_2$ ), sendo indisponível para as plantas. Bactérias e arqueias são capazes de converter o  $\text{N}_2$  a  $\text{NH}_3$ , disponibilizando esse nutriente as plantas. Esse processo intitulado fixação biológica de nitrogênio (FBN) é muito importante na ciclagem de N e no desenvolvimento sustentável (LAVELLE; MOREIRA; SPAIN, 2014).

O P é fundamental para o crescimento das plantas, pois compõe macromoléculas essenciais como DNA, RNA, ADP e ATP, participando ativamente na divisão celular e no transporte de energia na planta. Outro papel importante do P é na formação estrutural das membranas por meio dos fosfolipídios (MAATHUIS, 2009). No solo, o P pode ser encontrado em formas orgânicas, que não são assimiladas pelas plantas, sendo necessário passarem pelo

processo de mineralização já que as plantas só absorvem o P inorgânico ( $\text{H}_2\text{PO}_4$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (NUNES et al., 2013). O P é absorvido em concentrações menores que as de N, no entanto, em solos intemperizados, esse elemento é o mais aplicado nas adubações devido à capacidade de alguns solos em adsorver fosfatos, formando complexos de superfície de esfera interna, deixando-o indisponível para a absorção pelas plantas (VILAR; VILAR, 2013).

Diferente do N e do P, o K não está vinculado estruturalmente à planta, no entanto, é fundamental na nutrição vegetal por regular enzimas ligadas a fotossíntese, ter papel fundamental na abertura e fechamento dos estômatos, controlando a turgidez celular, e tem grande influência no crescimento radicular e na qualidade dos frutos (KANO; CARDOSO; VILLAS BÔAS, 2010; ELMER; DATNOFF, 2014). O K é encontrado no solo na estrutura dos minerais, assim, solos poucos intemperizados e ricos em micas como biotita e muscovita, apresentam concentrações adequadas deste macronutriente, sendo absorvido da solução do solo na forma de  $\text{K}^+$  após o intemperismo desses minerais (McGRANT; SPARGO; PENN, 2014). Depois do N, o K é o elemento com concentração mais elevada no tecido vegetal, sendo a adubação potássica uma prática bem estabelecida em grandes áreas de produção agrícola, principalmente em solos de regiões tropicais onde ocorre altas precipitações que promovem lixiviação dos cátions básicos, deixando o solo deficiente em K (MAATHUIS, 2009; McGRANT; SPARGO; PENN, 2014).

Valores elevados de N, P e K são necessários para a formação da biomassa das plantas. Por isso, áreas de intensa produção agrícola dependem da utilização de insumos para fornecer esses e outros nutrientes aos cultivos, e se manter firme no mercado agrícola mundial (DÍAZ DE ASTARLOA; PENGUE, 2018). O consumo anual de fertilizantes industrializados (NPK) pela América Latina e o Canadá é de  $\text{N}=8,0$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5=15,4$  e  $\text{K}_2\text{O}=18,3\%$  respectivamente. Os países Brasil, Argentina, México e Colômbia são os principais consumidores (GUARESCHI et al., 2019) sendo, portanto, grandes importadores já que existe um saldo negativo de oferta/demanda desses insumos na região (DÍAZ DE ASTARLOA; PENGUE, 2018). Além do saldo negativo, os países produtores da América Latina e do Canadá perdem grande parte destes nutrientes pela exportação do produto colhido, e, só o Brasil exporta 50% do N, 47% do P e 50% do K pelas culturas exportadas. As culturas que mais exportaram esses nutrientes no produto colhido foram: soja (70% do N, 54% do P e 56% do K), milho (15% do N, 27% do P e 11% do K) e cana-de-açúcar (8% do N, 7% do P e 19% do K) (GUARESCHI et al., 2019).

As adubações excessivas de N, P e K estão causando danos no meio ambiente e tornando-se uma ameaça à saúde do homem (MA; DUAN; HU, 2020). Um exemplo disto é a utilização de insumos como fonte de N que, nos últimos anos, estão acima da satisfação agrônômica e econômica, trazendo sérios impactos, dentre eles, a contaminação das águas e emissão de gases de efeito estufa (HA et al., 2015). Os recursos naturais fundamentais para produção agrícola como a água e a terra, estão sob uma intensa pressão devido ao aumento populacional e a demanda por alimentos (SCHNEIDER et al., 2011).

A grande dificuldade da agricultura nos países tropicais é realizar e manter a produção de forma sustentável, já que o manejo convencional está associado a degradação e redução da fertilidade do solo e isto pode afetar gravemente a produção global, a longo prazo. Vários fatores são responsáveis pela diminuição da fertilidade do solo, dentre eles a remoção sem posterior reposição dos nutrientes pelas culturas colhidas, a erosão do solo, o baixo aporte de matéria orgânica ao solo e o manejo agrícola inadequado (AGEGNEHU; AMEDE, 2017).

O papel do mercado agrícola mundial vai além da produção de alimentos, e tem outros propósitos importantes para cumprir com a sociedade, como a diminuição da pobreza e desnutrição, o acesso a alimentos saudáveis, melhor gerenciamento dos recursos naturais, utilização de energias renováveis e proteção dos ecossistemas e sua diversidade biológica (SCHNEIDER et al., 2011).

## **2.2 Fontes Alternativas de Fertilizantes**

Manter altas produções agrícolas de forma sustentável é hoje um desafio global, assim, a busca por fontes alternativas aos fertilizantes solúveis convencionais se tornou o objetivo de muitas pesquisas científicas. Arelado a isto, é reconhecido o grande potencial dos microrganismos do solo e os benefícios que esses seres microscópicos trazem aos ecossistemas naturais.

O potencial biotecnológico dos microrganismos se deve a sua grande diversidade metabólica, sendo possível ver sua utilização em várias linhas de pesquisa, dentre elas: solubilização de fosfatos (BEHERA et al., 2014; HAMIM et al., 2019); biorremediação de contaminantes do solo (SANTOS; MARANHO, 2018; WANG et al., 2020); biodegradação de microplásticos (SHEN et al., 2019); bactérias promotoras de crescimento de plantas e fixação biológica de nitrogênio (DI SALVO et al., 2018; KE et al., 2019). Diante disto, a produção de fertilizantes a base de atividades microbianas é uma opção economicamente

viável e sustentável (AGHBASHLO et al., 2019; GABRA, et al., 2019; KOUR et al., 2019; PALIYA et al., 2019).

A presença de um microrganismo em um produto agrícola não faz deste um biofertilizante, para isto, o produto deve seguir as diretrizes da Lei nº 6.894, de 16/12/1980, alterada pela Lei 12.890/2013 que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências (BRASIL, 1980, Art. 3).

De acordo com a Lei nº 6.894, de 16/12/1980, alterada pela Lei 12.890/2013 Considera-se:

- a) fertilizante, a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes vegetais;
- b) corretivo, o material apto a corrigir uma ou mais características desfavoráveis do solo;
- c) inoculante, a substância que contenha microrganismos com a atuação favorável ao desenvolvimento vegetal;
- d) estimulante ou biofertilizante, o produto que contenha princípio ativo apto a melhorar, direta ou indiretamente, o desenvolvimento das plantas;
- e) remineralizador, o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo;
- f) substrato para plantas, o produto usado como meio de crescimento de plantas (BRASIL, 1980, Art. 3).

Além de disponibilizar os nutrientes as plantas, os fertilizantes biológicos não causam a eutrofização dos corpos d'água e poluição do solo por metais pesados como os fertilizantes solúveis convencionais, e, diferentemente destes, promovem benefícios socioeconômicos e ecológicos com melhorias na qualidade do solo e meio ambiente (OWAMAH et al., 2014).

Um exemplo de fertilizante biológico é o produto a base de enxofre elementar inoculado com bactérias solubilizadoras de rochas (*Acidithiobacillus*) em mistura com matéria orgânica, bactéria diazotrófica de vida livre (*Beijerinckia indica*), e um fungo (*Cunninghamella elegans*) que contém quitosana em sua parede celular, desenvolvido por Stamford et al. (2008). Este fertilizante biológico é uma alternativa, de custo acessível, em comparação com o uso de fertilizantes solúveis convencionais, tendo em vista que as bactérias promovem a disponibilização de nutrientes contidos nas rochas, através da produção de ácido sulfúrico, deixando os nutrientes disponíveis para as culturas, sendo tão eficiente quanto os



fertilizantes solúveis (OLIVEIRA et al., 2017). Além disto, a presença da quitosana pode estimular a defesa das plantas, pois de acordo com Berger et al. (2016) a quitosana é um biopolímero biodegradável, formado por  $\beta$ -1,4-D-glucosamina (GlcNAc) ligada a resíduos de N-acetil-D-glucosamina, que possui atividade antimicrobiana contra fungos fitopatogênicos.

Stamford et al. (2017) avaliando a eficácia do fertilizante biológico no rendimento, características e absorção de nutrientes pela banana (cv. Williams) concluíram que o fertilizante biológico pode ser uma alternativa viável aos fertilizantes solúveis convencionais, e os melhores resultados nos parâmetros da planta foram obtidos com aplicação em doses mais altas (150% da dose recomendada). Stamford et al. (2016) também avaliaram a eficiência do fertilizante biológico nas características da cana-de-açúcar e em atributos do solo e obtiveram respostas positivas, tendo o fertilizante biológico afetado positivamente na altura, no rendimento e nas características industriais da cana-de-açúcar.

Silva et al. (2016) compararam a influência do fertilizante biológico com fertilizantes solúveis sobre as características do melão e na absorção de nutrientes, e os resultados demonstraram que houve efeito positivo do fertilizante biológico, especialmente quando aplicado na dose equivalente a  $12 \text{ t ha}^{-1}$ , promovendo aumento nas características comerciais do melão, em comparação com o fertilizante solúvel aplicado na dose recomendada.

Além da produção de fertilizantes biológicos associados a bactérias potencialmente eficientes, a produção agrícola sustentável busca também novas fontes alternativas para minimizar ainda mais a utilização de fontes de energias fósseis. Pensando nisto, os resíduos orgânicos estão sendo muito empregados com essa finalidade. A população mundial cresce continuamente a cada ano, e com ela, maiores quantidades de lodo de esgoto são geradas, constituindo-se um problema ambiental devido seu descarte em locais impróprios, causando a poluição do ar e das águas subterrâneas por processos de lixiviação (OWAMAH et al., 2014).

A produção de compostagem, incineração ou utilização como condicionador de solo e na produção agrícola são as formas adotadas para utilização dos resíduos orgânicos (MATTANA et al., 2014; EL FELLS et al., 2015). O uso do lodo de esgoto na produção agrícola já está bem concretizada, sendo inclusive uma das destinações principais deste material em muitos países, dentre eles: Austrália, EUA, China, Noruega, França, Espanha e o Reino Unido (CHANG et al., 2020). Martins, Souza e Souza (2016) relatam a utilização crescente de lodo de esgoto em grandes culturas, como no cultivo de cana-de-açúcar, café, banana, abacaxi, goiaba, mamão e milho. A utilização está atrelada ao fato de que esses resíduos contêm

elevada concentração de matéria orgânica com nutrientes fundamentais para as plantas, sendo possível a substituição parcial dos fertilizantes solúveis convencionais.

Os resíduos orgânicos são conhecidos por realizarem muitos benefícios aos solos agrícolas, dentre eles, aumentar a capacidade de troca catiônica e formar agregados estáveis melhorando assim as características físicas do solo, como a aeração e retenção de água (MATTANA et al., 2014). No entanto, deve-se ter cautela antes da utilização desses materiais nos cultivos agrícolas, pois estes podem conter altas concentrações de organismos patogênicos e elementos potencialmente tóxicos, principalmente metais pesados como arsênio, bário, cádmio, crômio, cobre, chumbo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco (MARTINS; SOUZA; SOUZA, 2016). No Brasil, a resolução 375, de 29 de agosto de 2006 criada pelo CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente, é o documento vigente que “Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados” (CONAMA, 2006).

Sendo assim, esse material deve passar por processos que promovam a diminuição desses contaminantes, a concentrações permitidas na legislação vigente no país, considerando-se que são prejudiciais tanto para os organismos do solo, como para as plantas e pessoas que manejarem esse material ou que se alimentarem de produtos que provenham de áreas com adição desses resíduos. O tratamento do lodo de esgoto ocorre nas Estações de Tratamentos de Esgoto (ETE) onde passam por vários tratamentos físicos, químicos e biológicos, incluindo o espessamento, o condicionamento, a desidratação, a estabilização e a secagem (CHANG et al., 2020).

### 2.3 A Bananeira

A bananeira pertence à família Musaceae, e seu gênero, denominado *Musa* é separado em quatro seções: *Eumusa*, *Callimusa*, *Australimusa* e *Rhodochlamys* sendo estas seções relacionadas ao número de cromossomos, englobando todas as cultivares alimentícias, e devido essa generalização as bananeiras são divididas em grupos genômicos (AA, AB, AAA, AAB, ABB, AAAA, AAAB, AABB e ABBB), sendo diferenciadas apenas pelos seus arranjos de ploidia. Assim, de acordo com as colaborações haploides das espécies selvagens *Musa acuminata* Colla e *Musa balbisiana* Colla, o termo *Musa* spp., seguido do grupo genômico (A= *Musa acuminata* Colla e B= *Musa balbisiana* Colla) identificará as cultivares (PEREIRA; MARASCHIN, 2015).

No mercado mundial, a bananeira (*Musa* spp.) é uma frutífera de valor social e econômico, sendo cultivada em mais de 120 países (SOARES et al., 2014) e sua importância socioeconômica é muito mais expressiva em alguns países subdesenvolvidos (FU et al., 2017). Em regiões de clima tropical e subtropical sua produção é voltada tanto para alimentação básica como para exportação (SHEN et al., 2013). Dentre as regiões tropicais, países como a Índia, Uganda, Filipinas, China, Equador e o Brasil são os países que mais se destacam em termos de produção mundial (BRITO et al., 2017).

A bananicultura é um agronegócio com grande potencial no âmbito da fruticultura brasileira devido à localização geográfica do país que lhe confere características edafoclimáticas que favorecem seu cultivo (BARROSO et al., 2012). Em 2019, a produção brasileira de banana foi de 7.106,928 toneladas, em 455.417 ha de áreas colhidas, com um rendimento médio de 15.605 kg/ha, e uma variação positiva de 7,1% em relação ao ano anterior. Neste mesmo ano, a região Nordeste plantou uma área equivalente a 202.883 ha e obteve uma produção de 2.581,207 toneladas, com rendimento médio de 14.652 kg/ha. Da produção total do Nordeste, o Estado de Pernambuco foi responsável por 456.456 toneladas, apresentando um rendimento de 10.703 kg/ha (IBGE, 2019).

A produção de banana ocorre em todas as pequenas propriedades que exercem agricultura familiar na Zona da Mata pernambucana, sendo considerada a segunda maior atividade agrícola, logo depois da cana-de-açúcar (SILVA JÚNIOR; LOPES; FERRAZ, 2010). De acordo com o censo agropecuário de 2017, em Pernambuco os municípios com maiores produções foram: Santa Maria da Boa Vista (37.564 toneladas), Machados (27.177 toneladas), Petrolina (24.091 toneladas), São Vicente Ferrer (15.250 toneladas) e Vicência (13.216 toneladas) (IBGE, 2017).

Mundialmente, existe uma expressiva diversidade de cultivares de banana, no entanto, poucas têm grande potencial agrônômico com alta produtividade, tolerância à seca e ao frio e resistência a doenças e pragas, reduzindo assim o número de cultivares adequadas para produções comerciais. As cultivares dos grupos AA e AAA (Ouro, Williams, Grand Nain e Nanica) são mais doces e preferidas pelo mercado internacional, principalmente as do grupo Cavendish (AAA), já as dos grupos AAB e ABB (Prata, Branca, Pacovan, Figo vermelho e Ouro da Mata) contêm uma maior quantidade de amido (PEREIRA; MARASCHIN, 2015; SOARES et al., 2014).

No Brasil, as cultivares do subgrupo Prata (Prata, Pacovan, Prata Anã e Maçã) e do grupo Cavendish (Nanica, Nanicão e Grand Nain) são as mais utilizadas para cultivo

comercial, devido apresentarem produções satisfatórias e agradarem o paladar do consumidor (NORMURA et al., 2019; MESQUITA et al., 2018). Na Zona da Mata pernambucana os produtores preferem variedades do tipo Prata, Pacovan e Maçã, sendo Pacovan a preferida da região para consumo natural (TAVARES; BATISTA; BATISTA, 2016; SILVA JÚNIOR et al., 2014).

Além de apresentar um rápido crescimento vegetativo, a bananeira também concentra grandes quantidades de matéria seca e nutrientes. Assim, quanto mais a planta se desenvolver e produzir, maior será sua necessidade nutricional (HOFFMANN et al., 2010a). Durante seu ciclo de vida, a banana extrai do solo K, N, Ca, Mg, S, P, Cl, Mn, Fe, Zn, B, Cu e Mo (SCARPARE FILHO et al., 2016). Sendo o K e o N absorvidos e exportados em maiores quantidades (RATKE et al., 2012; FLORI; RESENDE, 2016) por influenciarem diretamente no seu desenvolvimento, na produção e na qualidade dos frutos (NORMURA et al., 2016).

Segundo Hoffmann et al. (2010a) os frutos da bananeira exportam grande quantidade de nutrientes, sendo o órgão responsável pelo maior acúmulo de matéria seca exportada. Esses mesmo autores observaram que para cada tonelada de frutos produzida, as bananeiras exportaram de 4 a 5 kg de K, e o N foi o segundo nutriente mais acumulado ao avaliarem o acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. Devido essa maior demanda de K, nos planos de adubação para bananeiras, a porcentagem de N recomendada é de 30 a 50% menor que as doses de K (RATKE et al., 2012).

Durante seu ciclo a bananeira produz apenas um cacho, sendo seu pseudocaule cortado após a colheita, gerando uma grande quantidade de biomassa tanto pelo caule como pelas folhas. Em um hectare com plantio de bananeiras pode gerar cerca de 220 toneladas de biomassa (AHMAD; DANISH, 2018). Com a realização da desfolha (retirada das folhas secas e danificadas) e rebaixamento do pseudocaule (corte do pseudocaule após a colheita do cacho), que são tratos culturais essenciais no cultivo dessa frutífera, grande parte da biomassa gerada pode ser reciclada ao espalhar esse material sob a superfície do solo, sendo fonte de matéria orgânica e nutrientes (SCARPARE FILHO et al., 2016).

As áreas de produções de banana são geridas pelo método convencional, ou seja, monocultivos com altos níveis de adubações e intenso uso do solo (MAHECHA-VÁSQUEZ; SIERRA; POSADA, 2017). Este sistema de cultivo pode gerar altas produções, mas, a longo prazo, pode ser um dos principais fatores associados ao seu declínio, devido aos danos nas características físicas, químicas e biológicas do solo (ZHONG; ZENG; JIN, 2015).

## 2.4 Análises Químicas e Microbiológicas para Avaliar a Fertilidade e Qualidade do Solo

Quando a necessidade nutricional da cultura é maior que a quantidade de nutrientes disponibilizada pelo solo, torna-se necessária a realização de adubações. Em regiões de clima tropical essa prática é quase uma regra, situação muito comum no Brasil devido aos solos serem em sua maioria, qualificados como de baixa fertilidade (AULAR; NATALE, 2013). As recomendações de adubação são definidas a partir do balanço dos nutrientes no sistema solo-planta, pois assim, estima-se a dose necessária para suprir as plantas e alcançar uma elevada produção (HOFFMANN et al., 2010b).

O sucesso da produção agrícola está atrelado a preservação do solo (SHEN et al., 2015). Por isto, a realização de análises químicas, microbiológicas e bioquímicas são essenciais na avaliação da qualidade do solo, sendo fundamentais na verificação de alterações das suas propriedades. Análises químicas do solo são eficientes na verificação da fertilidade do solo e obter respostas quanto aos benefícios da aplicação de fertilizantes, sendo ferramenta chave para saber seu efeito residual, ou seja, a longo prazo o quanto o fertilizante será eficiente em manter a fertilidade do solo adequada para uma boa produção agrícola. Assim como a análise do solo, a análise foliar tem se tornado uma aliada importante na avaliação nutricional de grandes cultivos, pois a interpretação dessas duas análises fornece informações mais precisas da nutrição das plantas e da disponibilidade dos nutrientes na solução do solo. Com isto, as recomendações de medidas corretivas serão mais eficientes, mantendo a produtividade elevada e evitando gastos excessivos (SOUZA; MADARI; SENA, 2012).

A adição de insumos agrícolas, seja de uma fonte orgânica ou fertilizante mineral, influenciam de alguma forma a atividade dos microrganismos, seres microscópicos (bactérias, arqueias e fungos) que representam mais de 60% da biomassa terrestre e tem papel fundamental na manutenção da vida dividido as diversas funções que realizam, como a mineralização da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, a biorremediação de solos e águas contaminadas e a produção de substâncias utilizadas em medicamentos (DUBEY et al., 2019).

A biomassa microbiana é considerada o constituinte principal da matéria orgânica viva do solo, e junto ao carbono orgânico controlam a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) (SILVA et al., 2012; KIBOI et al., 2018). A utilização de técnicas para avaliação das comunidades microbianas do solo independentes de meio de cultivo oferece respostas mais claras sobre os efeitos das ações antrópicas sobre a diversidade e atividade microbiana (CHOU

et al., 2017). Com isto, atributos microbianos do solo como carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) são considerados avaliadores sensíveis de alterações no ecossistema biológico e suas funções no ambiente (SILVA et al., 2012). A RBS expressa a atividade metabólica dos microrganismos avaliada pela quantidade de  $CO_2$  emitida por estes, já o  $qCO_2$  (razão entre RBS e CBM) indica o potencial de utilização de C pelos microrganismos, esses dois atributos estão intimamente relacionados ao ciclo do carbono e ao processo de mineralização da MOS sendo fortemente afetados por mudanças no manejo do solo (LI; SHANGGUAN; DENG, 2020).

Atividades enzimáticas do solo, como Fosfatase Ácida, Fosfatase Alcalina e Urease, também são indicadores sensíveis de alterações das propriedades do solo, e estas estão intimamente relacionadas aos ciclos dos nutrientes (MEDEIROS et al., 2015; MEDEIROS et al., 2017). As Fosfatases abrangem um grupo de enzimas responsáveis pela hidrólise de éster e anidridos de fosfato, sendo fundamental na ciclagem do P no solo, e estão intimamente relacionadas a deficiência deste nutriente e a necessidade das plantas. Já a urease tem papel vital no ciclo do N, visto que, a ureia é uma das formas mais aplicadas como fonte de N nas produções agrícolas. Tanto a fosfatase quanto a urease pode ser produzida pelas plantas e pelos microrganismos do solo (BALOTA et al., 2013).

A realização de análises químicas do solo tem sido muito utilizada na avaliação da fertilidade do solo, devido à facilidade de comparação de resultados e a existência de análises já padronizadas, no entanto, a fertilidade do solo está aliada a fatores químicos, físicos e biológicos, e isto, caracterizará a capacidade de produção em um determinado solo (HANSSON et al., 2020). Assim, a combinação de diferentes parâmetros do solo como os aqui citados fornece resultados mais precisos da fertilidade do solo, do efeito do manejo adotado, bem como, dos produtos aplicados.

Como exposto, a utilização de fertilizantes biológicos nos cultivos agrícolas já está bem difundida na literatura científica, no entanto, ainda não existem trabalhos que expliquem sobre o uso de um fertilizante biológico composto por três microrganismos (*Acidithiobacillus thiooxidans*, *Beijerinckia indica* e *Cunninghamella elegans*) que desempenham atividades benéficas ao desenvolvimento vegetal, aliado ao lodo de esgoto num programa para disponibilização de nutrientes no cultivo de banana. Essa proposta confirmaria o efeito desses produtos na nutrição da bananeira e sua possível utilização em outras culturas agrícolas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Preparo das mudas

As mudas micropropagadas de banana (Pacovan SH 3640) foram adquiridas na Empresa Bioclone Produção de Mudas Ltda., localizada no Município de Eusébio (CE). Estas mudas foram transplantadas para vasos de plástico com capacidade de 2 litros, onde permaneceram por 1 mês, até apresentarem tamanho adequado para implantação no campo (Figura 1). Nos vasos, colocaram-se partes iguais de solo e húmus de minhoca (1:1 v/v), sendo esta mistura bem homogeneizada, e cada vaso recebeu uma muda de banana, que foram irrigadas três vezes na semana.

**Figura 1.** Preparo e desenvolvimento das mudas de bananeira antes da implantação do experimento em campo



A) Mudanças de banana Pacovan (SH 3640), B) Mistura do solo com húmus de minhoca (1:1 v/v), C) Transplante das mudas para os vasos e D) Mudanças em desenvolvimento nos vasos.

#### 3.2 Aquisição e composição do resíduo orgânico

O resíduo utilizado foi um lodo de esgoto proveniente da Lógica Ambiental (Estação de tratamento de esgoto do Curado - ETE CURADO) Recife-PE, cuja caracterização química se encontra na Tabela 1, seguida das concentrações de metais pesados e a máxima permitida. O lodo passou por um sistema de tratamento biológico constituído de uma lagoa facultativa e

filtro anaeróbio de fluxo ascendente, além de um tratamento físico-químico realizado no flotor. Após essa etapa o lodo segue para a prensa desaguadora, onde ocorre a desidratação, e daí segue para o processo de compostagem.

**Tabela 1.** Caracterização química do lodo de esgoto produzido na Lógica Ambiental e concentração máxima de metais pesados permitida de acordo com a legislação vigente

Atributos	Valores	Unidades
P	2,19	g kg <sup>-1</sup>
K	0,34	g kg <sup>-1</sup>
Ca	146,78	g kg <sup>-1</sup>
Mg	2,61	g kg <sup>-1</sup>
N	0,68	g kg <sup>-1</sup>
C	2,43	g kg <sup>-1</sup>
Matéria Orgânica	41,8	g dm <sup>-3</sup>
Relação C/N	3,57	

Metais	mg kg <sup>-1</sup>	Concentração Máxima Permitida*
Arsênio (As)	2,4 – 3,3	41
Bário (Ba)	131 - 221	1300
Cádmio (Cd)	0,083 – 1,1	39
Chumbo (Pb)	13 - 79	300
Cobre (Cu)	20 - 65	1500
Cromo (Cr)	28 - 49	1000
Mercúrio (Hg)	0,26 – 0,65	17
Molibdênio (Mb)	1,8 – 2,3	50
Níquel (Ni)	32 - 126	420
Selênio (Se)	2,4 – 3,3	100
Zinco (Zn)	150 - 436	2800

\*Dados do CONAMA, 2006.

### 3.3 Produção do Fertilizante Biológico

O fertilizante biológico utilizado neste experimento foi preparado anteriormente pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Biotecnologia Ambiental. Este foi produzido a partir da mistura de rochas fosfática (fosfato natural, Irecê – BA) e potássica (Relinktum – Minas Gerais) com 24 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 8 – 10 % de K<sub>2</sub>O total, respectivamente. O enxofre elementar foi inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans* que, ao reagir com oxigênio e hidrogênio, formam ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) disponibilizando os nutrientes das rochas (STAMFORD et al., 2008). Posteriormente, acrescentou-se matéria orgânica (húmus de minhoca) e inoculou-se a bactéria diazotrófica de vida livre (NFB 10001 - *Beijerinckia indica*) de acordo com a metodologia de Lima et al. (2010), tornando-se um fertilizante rico em N, devido ao processo de FBN. Após a produção do fertilizante rico em NPK e com o pH neutralizado, a essa mistura foi adicionado o fungo *Cunninghamella elegans* (UCP 542) numa concentração de 10 %, sendo o material incubado por 30 dias. Esse fungo contém quitina e quitosana em sua parede



celular, sendo uma alternativa importante para a proteção das plantas devido ação fungicida e bactericida da quitosana.

**Tabela 2.** Características química do fertilizante (rochas + enxofre elementar + *Acidithiobacillus thiooxidans*)

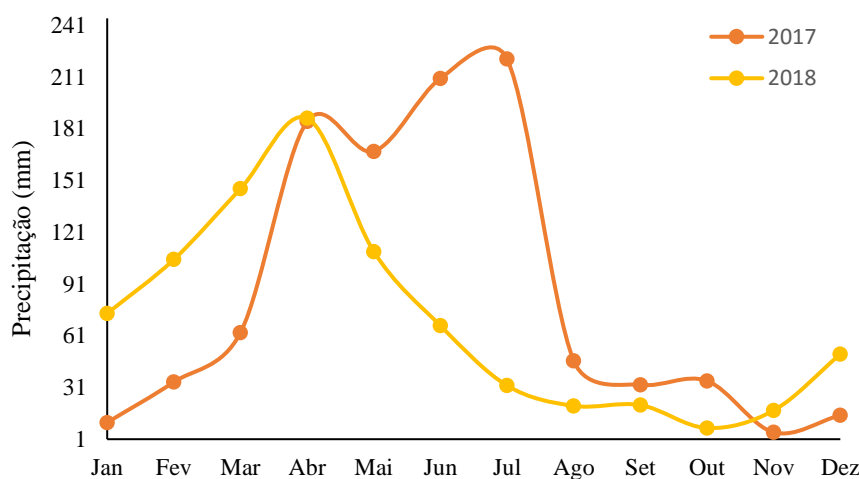
Atributos	Valores (g kg <sup>-1</sup> )
P total	14,7
K total	8,1
Nitrogênio total	5,6
Carbono Total	60,3
pH	3,50
Metal Pesado	Valores (mg kg <sup>-1</sup> )
Cd	1,03
Cu	38,67
Cr	47,47
Ni	8,64
Pb	12,37
Zn	101,49

Fonte: Oliveira (2019).

### 3.4 Condução do experimento em campo

O experimento foi implantado na Estação Experimental de Cana de açúcar do Carpina (EECAC) da UFRPE, localizada no município de Carpina - PE (7°51'06.5"S 35°14'05.5"W), Zona da Mata, a 176 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw', tropical chuvoso com verão seco, temperatura média anual de 24°C e média pluviométrica anuais de 1082 mm. A precipitação da área experimental (Figura 2) foi monitorada através da Estação Agrometeorológica da EECAC.

**Figura 2.** Precipitação pluviométrica da área experimental (EECAC) durante os dois anos de cultivo das bananeiras



O experimento de campo (Figura 3) foi conduzido no delineamento blocos casualizados em esquema de parcelas sub-subdivididas, onde se consideraram parcela: coletas (tempo); subparcela: tratamentos com fertilização e sub-subparcela: resíduo. Foram montados 4 blocos com 5 repetições de cada tratamento por bloco, utilizando os seguintes tratamentos de fertilização: fertilizante biológico (duas doses), fertilizante solúvel - NPK na dose recomendada para a cultura, e o controle – húmus de minhoca.

**Figura 3.** Implantação do experimento em campo na EECAC



A) Distribuição dos tratamentos, B) Mistura dos tratamentos com húmus e resíduo, C) Plantio das mudas e D) Plantio estabelecido sendo irrigado.

O fertilizante biológico foi usado nas doses de 100% do recomendado ( $2 \text{ kg planta}^{-1}$ ) e 150% do recomendado ( $3 \text{ kg planta}^{-1}$ ), o fertilizante mineral - NPK (sulfato de amônio,

superfosfato simples e cloreto de potássio) foi adicionado na dose recomendada para a cultura da banana, de acordo com IPA (2008), e o controle com adição de húmus de minhoca (3 kg planta<sup>-1</sup>). Quanto ao resíduo usou-se tratamentos com e sem aplicação de resíduo (lodo de esgoto), nos tratamentos “com resíduo”, foram adicionados 10 litros por cova. As mudas foram transplantadas para o campo no mês de dezembro de 2016. Para a realização do plantio das mudas de bananeira em campo foram abertas covas com  $\pm$  40 cm de profundidade, num espaçamento de 2 m entre plantas e 3 m entre linhas de cultivo, sendo plantadas 40 plantas por bloco, ou seja, 160 plantas úteis mais as plantas de bordadura.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso, de textura franco-argilo-arenosa de acordo com a Embrapa (2013). Este solo foi previamente preparado com gradagem, sendo posteriormente realizada coleta para caracterização química e física do mesmo (Tabela 3).

**Tabela 3.** Caracterização química e física do solo da área do plantio da EECAC

Atributos Químicos		
CTC	S	V
5,8 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3,2 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	55 %
pH (H <sub>2</sub> O)		5,00
P		24 mg dm <sup>-3</sup>
K		0,08 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Ca		2,30 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Mg		0,60 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Na		0,19 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Al		0,10 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
H		2,54 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Atributos Físicos		
Areia grossa		44 %
Areia fina		33 %
Silte		8 %
Argila		15 %
Grau de flocculação		87 %

CTC= capacidade de troca de cátion; S= soma de bases trocáveis; V= saturação por bases.

Inicialmente as bananeiras foram irrigadas uma vez por semana, com aspersor tipo canhão hidráulico de alta pressão de serviço, sendo aplicada uma lâmina de 21,5 mm. Posteriormente, foi montado um sistema de irrigação fixo com quatro aspersores agropolo NY-30, com diâmetro de alcance de 31 m e uma vazão de 2,43 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, em tripé com canos acima da copa das bananeiras mantendo-se a mesma frequência de irrigação. Como tratos

culturais foram realizadas limpeza das plantas daninhas, retiradas das folhas secas ou danificadas, e desbaste dos rebentos, deixando por cova a planta mãe e duas plantas filhas. Após os tratamentos culturais a biomassa vegetal foi deixada sobre o solo como fonte de M.O. Também foi realizada uma adubação de cobertura, 7 meses após o plantio (setembro de 2017) para garantir a nutrição das plantas até a primeira colheita. Na adubação de cobertura apenas os tratamentos fertilizantes (fertilizante biológico, NPK e húmus nas plantas controle) foram aplicados, sendo colocado apenas metade das doses da adubação de plantio. Não foi realizada uma segunda dose do lodo de esgoto.

O experimento foi conduzido por 2 anos. No primeiro ano foi avaliado o desenvolvimento e nutrição das bananeiras, e no segundo ano foi avaliado o efeito residual da fertilização e do resíduo sob as características químicas, microbiológicas e bioquímicas do solo. Para isso, foram realizadas três coletas de solo e duas coletas da parte aérea, sendo: uma coleta em junho de 2017 (6 meses após o plantio) para análise química do solo e foliar; a segunda coleta em junho de 2018 (após o ciclo completo da planta mãe), sendo realizada coleta para análises químicas, microbiológicas e bioquímicas do solo; e por fim, a terceira coleta em dezembro de 2018 (2 anos do início do experimento) para avaliação do período residual dos fertilizantes e do resíduo, sendo coletadas amostras do solo e da parte aérea.

### **3.5 Análises química da primeira, segunda e terceira coleta de solo**

As amostras foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e peneiradas (peneira com malha de 2 mm) para as seguintes análises: carbono orgânico total (COT), pH em água (1:2,5) e os teores de P, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, conforme metodologias citadas por Embrapa (2009) e Teixeira et al., (2017). O COT foi determinado pelo método de via úmida, no qual ocorre a oxidação do carbono orgânico a CO<sub>2</sub> por íons dicromato, em meio fortemente ácido. P, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> foram extraídos com a solução de Mehlich 1, tendo como princípio a troca iônica com solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,0125 mol L<sup>-1</sup> + HCl a 0,05 mol L<sup>-1</sup>, sendo o P determinado em espectrofotômetro após a redução do molibdato com ácido ascórbico e o K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> dosados por fotometria de chama. Os cátions Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrofotometria de absorção atômica, sendo utilizado o cloreto de estrôncio como supressor de interferentes.

### 3.6 Análises microbiológicas e bioquímicas da segunda coleta de solo

Foi determinado o carbono da biomassa microbiana (CBM), onde, as amostras foram submetidas ao processo de irradiação (micro-ondas) com o intuito de provocar o rompimento celular, conforme a metodologia descrita por Mendonça e Matos (2005). A extração do carbono da biomassa foi realizada com sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ) a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ . Para determinação foram pipetadas em tubos de ensaio: 2 mL do extrato, 3 mL de água destilada, 2,5 mL da solução de trabalho (uma mistura das soluções de pirofosfato de sódio, ácido sulfúrico, permanganato de potássio e sulfato de manganês) e 2,5 mL de ácido sulfúrico. Essa mistura ficou em repouso por 18 horas, e após esse período foi realizada a leitura por colorimetria, utilizando um comprimento de ondas de 495 nm (BARTLETT; ROSS, 1988).

A respiração basal do solo (RBS) foi estimada pela quantificação do dióxido de carbono ( $CO_2$ ) liberado durante o processo de respiração microbiana, sendo utilizado o método de adsorção alcalina seguida da titulometria, com a umidade das amostras de solo ajustadas para 60% de sua capacidade de campo (ANDERSON; DOMSCH, 1985). Amostras de solo foram pesadas (50 g) e colocadas em recipientes hermeticamente fechados, juntamente com a solução de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  com a finalidade de capturar o  $CO_2$  liberado. Após 7 dias de incubação, o  $CO_2$  foi quantificado por titulação com HCl  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ , utilizando-se como indicador fenolftaleína a 1%.

A partir dos dados de CBM, COT e RBS foram obtidos os valores do quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e o quociente microbiano ( $qMIC$ ). Sendo o  $qCO_2$  calculado pela razão entre a RBS e CBM, e o  $qMIC$  pela razão CBM/COT (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

Foram determinadas as atividades enzimáticas da fosfatase ácida (E.C. 3.1.3) estimada conforme Eivazi e Tabatabai (1977); da fosfatase alcalina (E.C. 3.1.3), e da urease (E.C. 3.5.1.5), seguindo a metodologia proposta por Eivazi e Tabatabai (1988), e Kandeler e Gerber (1988), respectivamente.

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 a 15 cm e mantidas sob refrigeração a  $4^\circ \text{ C}$ . Para as análises das fosfatases ácida e alcalina foram pesadas 2 g de solo, que passaram por um processo de incubação por 1 hora a  $37^\circ \text{ C}$  com 4 mL do tampão MUB (Modified universal buffer) pH 6,5 e pH 11, respectivamente, juntamente com 0,2 mL de tolueno e 1 mL do substrato *p*-Nitrofenilfosfato. Após o período de incubação, adicionou-se 4 mL de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  para capturar o *p*-Nitrofenol e 1 mL de  $CaCl_2$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  para

evitar a dispersão da argila pelo NaOH. Em seguida, as amostras foram filtradas e procedeu-se à leitura em espectrofotômetro a 400 nm.

Na quantificação da urease, amostras de 5 g de solo foram incubadas com uma solução de ureia (2,5 mL) durante 2 horas a 37° C, e posteriormente foram agitadas para extração com 50 mL de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Ao extrato filtrado (3 mL) adicionou-se 2,5 mL da solução de trabalho e 1 mL de dicloro, e, após 30 minutos de repouso, procedeu-se a leitura em espectrofotômetro a 690 nm.

### **3.7 Análises química foliar**

Foi coletada a terceira folha (limbo foliar) a contar do ápice de cada planta para a determinação das concentrações de N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> de acordo com Embrapa (2009). As folhas foram secas a 65° C em estufa com circulação de ar forçada, até peso constante, e moídas em moinhos do tipo willye. Para obtenção do extrato, as folhas moídas foram pesadas em tubos de digestão e adicionada uma solução nitroperclórica (HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub>, 2:1, v/v), que posteriormente foram levadas para bloco digestor, com temperatura controlada, até o final do processo de digestão. Após resfriamento, os extratos foram diluídos com água destilada armazenados para determinação dos nutrientes.

Para Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram feitas diluições acrescidas de cloreto de estrôncio e leituras por espectrofotometria de absorção atômica. O K foi determinado por fotometria de chama e o P por espectrometria, com amarelo de vanadato, onde o ânion H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> reage com molibdato e vanadato formando um complexo de coloração amarela que absorve a luz na região de 420nm. Para a quantificação do N total das folhas, foi utilizado o método Kjeldhal, pela mistura de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e peróxido (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), seguida da destilação a vapor e titulação para a quantificação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

### **3.8 Parâmetros fitotécnicos**

Foram realizadas medições da altura do pseudocaule a partir da superfície do solo até a abertura dos primeiros pecíolos foliares, diâmetro do pseudocaule a 30 cm do solo, comprimento e largura da folha (limbo foliar) com auxílio de fita métrica. Além disso, foi obtida a massa seca das folhas (limbo foliar), após passarem 72 horas a 65° C em estufa com circulação de ar forçada, até peso constante, e pesadas em balanças analíticas.

### **3.9 Análises estatísticas**

A análise estatística foi realizada na plataforma R (v.3.6, 2018). Foi verificado a normalidade dos dados antes de realizar outros testes estatísticos. A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para testar as variáveis e, em seguida, foi realizado o teste de Tukey, em um nível de significância de 5%, usando o pacote de estatística, agricolae do ambiente R. Análise multivariada e testes de significância foram aplicados aos dados usando a biblioteca vegan no R.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Atributos químicos do solo

A concentração de P no solo foi influenciada tanto pela presença dos tratamentos de fertilização, quanto pelo resíduo aplicado, apresentando diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em todas as coletas avaliadas (Tabela 4). Observando os dados da primeira coleta, percebeu-se que os valores de P do solo com os tratamentos Controle e FB 1.5 sem a presença do lodo foram maiores, não diferindo estatisticamente entre si, e o menor valor de P foi no solo tratado com FB 1.0. Já na presença do lodo de esgoto o solo com o tratamento FB1.0 apresentou o maior valor de P. Na segunda coleta, o solo com as doses do fertilizante biológico tanto na presença quanto na ausência do lodo de esgoto demonstrou valores maiores de P quando comparados com o solo que recebeu os tratamentos controle e F.

O tratamento FB 1.0, foi influenciado positivamente pela presença do lodo de esgoto nas três coletas (saindo de 18,17  $\rightarrow$  30,24; de 20,59  $\rightarrow$  39,57 e de 12,23  $\rightarrow$  16,47 mg kg<sup>-1</sup> de P na 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> coleta de solo, respectivamente). Verificando-se um acréscimo de 12,07 mg kg<sup>-1</sup> de P na primeira coleta, 18,98 mg kg<sup>-1</sup> de P na segunda coleta e 4,24 mg kg<sup>-1</sup> de P na terceira coleta, quando comparado o mesmo tratamento sem o resíduo (Tabela 4). Contudo, ao avaliar os dados a níveis de coletas constatou-se que os valores de P no solo com FB1.0 na terceira coleta diminuíram em relação aos encontrados na primeira e na segunda coleta, tanto na presença quanto na ausência do lodo de esgoto (Tabela 15 no apêndice).

Para os teores de K disponível no solo, na primeira coleta, os tratamentos fertilizantes sem a aplicação do lodo não demonstraram diferença estatística, no entanto, a presença do lodo influenciou o aumento do teor de K nos tratamentos Controle e F (um acréscimo de 0,02 e 0,03 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de K; respectivamente, quando comparado ao solo que recebeu os mesmos tratamentos sem lodo). O solo que foi aplicado o tratamento F com o lodo de esgoto apresentou-se estatisticamente diferente do FB 1.5 com o lodo, mas não diferiu dos tratamentos FB 1.0 e Controle na presença do lodo (Tabela 4).

Na segunda coleta de solo realizada após o primeiro ciclo das bananeiras, houve uma diminuição da concentração de K na solução do solo de todos os tratamentos avaliados, apesar disso, o solo com o tratamento F continuou a apresentar valores maiores de K, contudo, não diferiu estatisticamente do tratamento FB 1.0 e FB 1.5 sem a aplicação do resíduo. E percebeu-se que nesta coleta o lodo de esgoto não influenciou as concentrações



de K do solo, ficando os valores estatisticamente iguais aos tratamentos sem o lodo (Tabela 4). Além disto, a segunda coleta apresentou as menores concentrações de K das três coletas de solo avaliadas (Tabela 15 no apêndice).

As concentrações mais altas de K no solo foram observadas na terceira coleta, na qual os valores variaram entre 0,13 a 0,19  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , sendo o maior valor encontrado no tratamento F sem o lodo. Este mesmo tratamento com a aplicação do lodo não diferiu dos outros tratamentos fertilizantes, porém, o tratamento FB 1.5 junto ao lodo foi estatisticamente maior que o tratamento FB 1.0. Apesar do aumento das concentrações de K na terceira coleta a porcentagem desse nutriente no solo em relação a soma das bases (K + Ca + Mg) em todo o período experimental foi inferior a 7 %, ficando abaixo de 3 % na primeira e na segunda coleta, independente do tratamento aplicado.

**Tabela 4.** Teores de P, K e Na no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan

Tratamentos	1ª coleta		2ª coleta		3ª Coleta	
	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo
$\text{P mg kg}^{-1}$						
FB 1.0	18,17 cB	30,24 aA	20,59 bB	39,57 aA	12,23 bB	16,47 bA
FB 1.5	25,50 abA	24,96 bA	25,95 aA	25,71 bA	21,51 aA	22,42 aA
Controle	26,62 aA	28,11 abA	15,45 cA	15,06 cA	17,38 aA	17,28 bA
F	21,35 bcB	25,72 bA	19,30 bcA	16,60 cA	19,76 aA	19,80 abA
CV (%)	4,9					
CV (%)	11,3					
$\text{k cmol}_c \text{kg}^{-1}$						
FB 1.0	0,10 aA	0,11 abA	0,08 abA	0,09 abA	0,14 bA	0,13 bA
FB 1.5	0,09 aA	0,10 bA	0,08 abA	0,08 bA	0,15 bA	0,16 aA
Controle	0,10 aB	0,12 abA	0,07 bA	0,08 bA	0,15 bA	0,16 aA
F	0,10 aB	0,13 aA	0,10 aA	0,10 aA	0,19 aA	0,15 abB
CV (%)	10,6					
CV (%)	8,9					
$\text{Na cmol}_c \text{kg}^{-1}$						
FB 1.0	0,16 bA	0,17 aA	0,21 aA	0,19 aA	0,40 bB	0,44 abA
FB 1.5	0,17 bA	0,18 aA	0,16 bA	0,16 aA	0,46 aA	0,45 abA
Controle	0,15 bA	0,17 aA	0,17 abA	0,16 aA	0,46 aA	0,41 bB
F	0,23 aA	0,17 aB	0,16 bA	0,15 aA	0,49 aA	0,47 aA
CV (%)	10,3					
CV (%)	9,4					

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula entre linhas na mesma coluna e maiúsculas entre colunas na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

Houve um aumento considerável das concentrações de Na no solo com o tempo de cultivo, notando-se que na primeira e segunda coleta de solo a média dos valores de Na era de 0,17  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de solo, independente da presença ou ausência do lodo de esgoto, já na terceira coleta (dois anos após o plantio das bananeiras) a média aumentou significativamente, sendo 0,45  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de solo nos tratamentos sem a aplicação do lodo e 0,44  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de solo com aplicação do lodo de esgoto (Tabela 15 no apêndice). O solo que recebeu o tratamento F na primeira coleta apresentou a maior concentração de Na (0,23  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de solo) diferindo estatisticamente dos outros tratamentos na ausência do resíduo, e o mesmo ocorreu na terceira coleta, em que o solo que recebeu o fertilizante solúvel apresentou um valor de 0,49  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de solo, no entanto, não diferiu dos tratamentos Controle e FB 1.5 sem o lodo de esgoto (Tabela 4). A porcentagem de Na se sobressaiu a de K em todas as coletas avaliadas, chegando a 11% no FB 1.0, 13% no FB 1.5 e a 14% no tratamento F na terceira coleta, apresentando uma relação K/Na de 0,35, 0,32 e 0,39, respectivamente.

O lodo de esgoto afetou significativamente o teor de Ca no solo, sendo observado aumentos expressivos nos teores deste elemento quando se utilizou o lodo em interação com as doses do fertilizante biológico (Tabela 5).

**Tabela 5.** Teores de Ca e Mg no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan

Tratamento	1ª coleta		2ª coleta		3ª Coleta	
	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo
Ca $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$						
FB 1.0	2,26 aA	2,56 abA	2,60 aB	4,05 aA	2,27 aA	2,33 bA
FB 1.5	2,15 aB	3,16 aA	2,01 abB	2,62 bA	2,20 aB	3,29 aA
Controle	1,95 aB	2,72 abA	2,07 abB	3,08 bA	2,04 aB	2,71 abA
F	2,00 aA	2,43 bA	1,96 bB	2,71 bA	2,14 aA	2,36 bA
CV (%)	9,9					
CV (%)	13,9					
Mg $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$						
FB 1.0	0,81 abA	0,34 bB	1,78 aA	1,75 bA	0,67 aA	0,49 bB
FB 1.5	0,86 aA	0,71 aB	1,82 aA	1,85 abA	0,82 aA	0,60 abB
Controle	0,62 cA	0,65 aA	1,79 aB	1,94 aA	0,82 aA	0,68 aB
F	0,65 bcA	0,63 aA	1,76 aA	1,82 abA	0,70 aA	0,48 bB
CV (%)	16,3					
CV (%)	8,9					

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula entre linhas na mesma coluna e maiúsculas entre colunas na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

Na primeira coleta, a aplicação do lodo com o tratamento FB 1.5 resultou num aumento de 47% de Ca no solo, saindo de  $2,15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para  $3,16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Já na segunda coleta, a menor dose do fertilizante biológico (FB 1.0) com o lodo aumentaram a concentração de Ca em 56% quando comparado a mesma dose sem a aplicação do lodo. E na terceira coleta, mesmo após 2 anos da aplicação do lodo de esgoto, o solo em que este resíduo foi aplicado associado a maior dose do fertilizante biológico apresentou um aumento de 50% de Ca quando comparado ao solo com o mesmo tratamento sem o lodo. Ao avaliar a eficiência dos tratamentos fertilizantes sem a presença do lodo de esgoto na disponibilização de Ca, só houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos na segunda coleta, na qual, o tratamento FB 1.0 se sobressaiu ao tratamento F, porém não diferiu dos tratamentos FB 1.5 e Controle.

Diferente do Ca, o teor de Mg no solo foi influenciado negativamente pela presença do lodo de esgoto, notando-se um decréscimo deste elemento quando o resíduo foi utilizado (Tabela 5). Na primeira coleta, observou-se que o solo tratado com as doses do fertilizante biológico (FB 1.0 e FB 1.5) em interação com o lodo de esgoto tiveram uma redução de 58 e 17%, respectivamente. Já na ausência do resíduo o teor de Mg no solo sob a influência do tratamento FB 1.5 foi maior ( $0,86 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), apresentando-se estatisticamente diferente dos tratamentos F e Controle, mas não diferiu do tratamento FB 1.0 ( $0,81 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). As maiores concentrações de Mg no solo foram observadas na segunda coleta, com valores médios de  $1,79 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de solo na ausência do lodo e  $1,84 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de solo quando se utilizou o lodo (Tabela 16 no apêndice). Em relação à soma das bases (K + Ca + Mg), a porcentagem de Ca na ausência do lodo ficou entre 50 a 70% e a de Mg variou entre 20 a 46%, apresentando uma boa relação Ca/Mg na primeira e na terceira coleta, diferentes destas, na segunda coleta o aumento da concentração de Mg afetou essa relação, ficando abaixo de 1,5.

Em relação aos valores de pH da solução do solo observou-se maior acidez no período inicial do cultivo (primeira coleta), com uma média de 5,12 no solo sem aplicação do lodo e 5,40 na presença do mesmo (Tabela 6). Também se observou que o solo tratado apenas com o fertilizante mineral apresentou um pH mais ácido diferindo estatisticamente do solo tratado com as doses do fertilizante biológico, entretanto, quando se aplicou o fertilizante mineral em interação com o lodo houve um aumento do pH equiparando o tratamento F ao tratamento FB 1.5. O efeito positivo do lodo de esgoto também foi observado

na segunda coleta, na qual houve um aumento expressivo do pH de todos os tratamentos, ficando com uma média de 6,43 no solo com incorporação desde resíduo.

**Tabela 6.** Valores de pH no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan

Tratamentos	1ª coleta		2ª Coleta		3ª Coleta	
	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo
	pH H <sub>2</sub> O					
FB 1.0	5,42 aA	4,97 bB	6,26 aB	7,03 aA	6,08 abA	6,01 cA
FB 1.5	5,28 aB	5,62 aA	5,40 bB	6,41 bA	5,90 bB	6,96 bA
Controle	5,06 abB	5,59 aA	5,58 bB	6,23 bA	6,58 aB	7,64 aA
F	4,72 bB	5,43 abA	5,39 bB	6,03 bA	6,04 bA	5,67 cB
CV (%)	4,5					
CV (%)	5,4					

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula entre linhas na mesma coluna e maiúsculas entre colunas na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

Quanto aos teores de carbono orgânico total e matéria orgânica do solo, os tratamentos fertilizantes apresentaram-se estatisticamente iguais na ausência do lodo de esgoto em todas as coletas avaliadas (Tabela 7/ Tabela 18 no apêndice). Contudo, observou-se que na primeira coleta a incorporação do lodo de esgoto ao tratamento FB 1.0 aumentou o teor de carbono orgânico do solo, tornando-o estatisticamente diferente do tratamento F que apresentou um teor de carbono orgânico 14% menor, apesar da presença do lodo. Na segunda coleta, após o ciclo completo da planta mãe notou-se que apenas o tratamento controle aliado ao lodo se apresentou estatisticamente diferente, se sobressaindo aos tratamentos F e FB 1.0. Já na terceira coleta o lodo de esgoto deixou de influenciar o teor dessas variáveis ficando todos os tratamentos estatisticamente iguais.

A média dos valores do COT de todos os tratamentos acompanhados do lodo, para cada coleta de solo foi de 6,90 g kg<sup>-1</sup> na primeira coleta, 5,95 g kg<sup>-1</sup> na segunda e 6,02 g kg<sup>-1</sup> na terceira. Já para os valores de MO as médias foram 11,89 g kg<sup>-1</sup> na primeira coleta, 10,26 g kg<sup>-1</sup> na segunda e 10,38 g kg<sup>-1</sup> na terceira. Constatando-se que das três coletas avaliadas, a segunda foi a que apresentou as menores médias de COT e MO.

**Tabela 7.** Concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan

Tratamentos	1ª coleta		2ª coleta		3ª Coleta	
	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo
COT g kg <sup>-1</sup>						
FB 1.0	6,58 aB	7,50 aA	5,71 aA	5,74 bA	6,49 aA	6,25 aA
FB 1.5	6,43 aA	6,74 abA	6,04 aA	5,85 abA	6,24 aA	5,89 aA
Controle	6,09 aA	6,88 abA	5,58 aB	6,75 aA	5,61 aA	6,15 aA
F	6,18 aA	6,46 bA	5,67 aA	5,46 bA	6,51 aA	5,79 aA
CV (%)	14,5					
CV (%)	7,9					
MO g kg <sup>-1</sup>						
BP 1.0	11,34 aB	12,93 aA	9,85 aA	9,90 bA	11,19 aA	10,78 aA
BP 1.5	11,09 aA	11,62 abA	10,41 aA	10,08 abA	10,75 aA	10,15 aA
Controle	10,50 aA	11,87 abA	9,63 aB	11,63 aA	9,67 aA	10,61 aA
F	10,65 aA	11,13 bA	9,78 aA	9,41 bA	11,22 aA	9,99 aA
CV (%)	14,5					
CV (%)	7,9					

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula entre linhas na mesma coluna e maiúsculas entre colunas na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

#### 4.2 Atributos microbiológicos do solo

A biomassa microbiana do solo foi influenciada tanto pelos tratamentos fertilizantes quanto pelo lodo de esgoto incorporado, no entanto, os maiores valores de carbono da biomassa microbiana foram encontrados na primeira coleta quando se utilizou o lodo de esgoto (Tabela 8). Nesta coleta, o solo tratado com fertilizante mineral sem o lodo de esgoto apresentou valor estatisticamente menor que o solo que recebeu as doses do fertilizante biológico e do tratamento controle, contudo, ao avaliar a interação destes tratamentos com o lodo, notou-se um aumento significativo de todos os valores, ficando o tratamento F estatisticamente igual aos tratamentos FB 1.0 e FB 1.5.

Devido à incorporação do lodo de esgoto, o solo com o tratamento F teve um ganho de 524,71 mg de C kg<sup>-1</sup> solo, já o solo que recebeu os tratamentos FB 1.0 e FB 1.5 tiveram um aumento de 388,07 mg de C kg<sup>-1</sup> solo e 337,60 mg de C kg<sup>-1</sup> solo, respectivamente. Apesar disso, houve um decréscimo do carbono da biomassa microbiana com o tempo de cultivo, notando-se que, com exceção dos valores do tratamento F sem o lodo, todos os outros tratamentos da segunda e da terceira coleta de solo apresentaram valores estatisticamente

menores que os da primeira coleta, independente da presença do lodo de esgoto (Tabela 19 no apêndice).

**Tabela 8.** Carbono da Biomassa Microbiana e Respiração Basal de Solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan

Tratamentos	1ª coleta		2ª coleta		3ª Coleta	
	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo
BMS-C mg C kg <sup>-1</sup> solo						
FB 1.0	270,37 bB	658,44 abA	63,07 aA	67,53 aA	68,60 aA	55,97 aA
FB 1.5	272,20 bB	609,80 abA	96,04 aA	125,42 aA	63,41 aA	70,82 aA
Controle	430,57 aB	581,75 bA	86,58 aA	83,63 aA	77,40 aA	72,52 aA
F	149,31 cB	674,02 aA	79,02 aA	39,03 aA	78,77 aA	60,89 aA
CV (%)	72					
CV (%)	22,6					
RBS mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> solo						
FB 1.0	1,56 aA	1,45 aA	0,71 abA	0,82 bcA	0,56 aA	0,69 aA
FB 1.5	1,03 bB	1,44 abA	0,82 aB	1,20 aA	0,54 aB	0,81 aA
Controle	1,14 bA	1,25 abA	0,54 bA	0,66 cA	0,53 aB	0,81 aA
F	1,37 aA	1,23 bA	0,70 abB	1,01 abA	0,51 aA	0,61 aA
CV (%)	15,2					
CV (%)	13,3					

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula entre linhas na mesma coluna e maiúsculas entre colunas na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

A incorporação dos tratamentos fertilizantes e do lodo de esgoto estimulou a atividade metabólica dos microrganismos do solo, e através da quantificação da RBS pôde-se observar que as maiores taxas de CO<sub>2</sub> emitidas foram nos primeiros meses de cultivo (Tabela 8). Na primeira coleta os tratamentos FB 1.0 e F se sobressaíram aos demais tratamentos na ausência do lodo de esgoto, já na segunda coleta, o tratamento FB 1.5 foi estatisticamente maior que o controle, mas não diferiu dos tratamentos FB1.0 e F. O lodo de esgoto estimulou o aumento da emissão de CO<sub>2</sub> pela respiração microbiana quando foi incorporado com a maior dose do fertilizante biológico (FB 1.5) nas três coletas avaliadas, o mesmo foi observado com o tratamento F na segunda coleta e com o tratamento Controle na terceira coleta.

Os dados do quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) demonstraram que na primeira coleta de solo não houve diferença estatística entre os tratamentos fertilizantes, e o mesmo ocorreu nos solos que receberam o lodo de esgoto (Tabela 9), além disso, apresentou as menores médias de  $q\text{CO}_2$  de todas as coletas avaliadas (Tabela 20 no apêndice). Diferente desta, na segunda

coleta o tratamento F foi estatisticamente diferente dos tratamentos FB 1.5 e Controle, já na presença do lodo de esgoto este mesmo tratamento diferiu estatisticamente de todos os outros e apresentou a maior média de  $q\text{CO}_2$  encontrada. Na terceira coleta os tratamentos FB 1.0, Controle e F apresentaram médias menores na ausência do lodo de esgoto e não diferiram entre si pelo teste Tukey ao nível de 5%.

As maiores percentagens do  $q\text{MIC}$  foram observadas na primeira coleta, na qual, o tratamento controle se sobressaiu aos demais fertilizantes na ausência do lodo (Tabela 9), com a aplicação do lodo, o  $q\text{MIC}$  aumentou em todos os tratamentos, no entanto, a sua interação com o fertilizante mineral resultou na maior percentagem encontrada (12, 65%), ou seja, um aumento de 8% em relação ao mesmo tratamento sem a incorporação do lodo. Houve uma redução expressiva da percentagem do  $q\text{MIC}$  na segunda e na terceira coleta, e apenas na segunda coleta foram observadas diferenças estatísticas, em que o FB 1.5 foi estatisticamente maior que o tratamento F.

**Tabela 9.** Valores do  $q\text{CO}_2$  e do  $q\text{MIC}$  de solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan

Tratamentos	1ª coleta		2ª coleta		3ª Coleta		
	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo	
$q\text{CO}_2$ (mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> BMS-C h <sup>-1</sup> )							
FB 1.0	0,08 aA	0,05 aA	0,26 abA	0,28 bA	0,17 abB	0,24 aA	
FB 1.5	0,07 aA	0,05 aA	0,21 bcA	0,23 bA	0,21 aA	0,24 aA	
Controle	0,07 aA	0,05 aA	0,16 cA	0,17 cA	0,13 bB	0,23 aA	
F	0,07 aA	0,04 aA	0,28 aB	0,65 aA	0,17 abB	0,27 aA	
CV (%)	16,9						
CV (%)	15,8						
$q\text{MIC}$ %							
FB 1.0	3,42 cB	8,89 bA	1,31 aA	1,23 abA	0,88 aA	0,92 aA	
FB 1.5	5,06 bB	8,83 bA	1,57 aA	2,43 aA	1,02 aA	1,65 aA	
Controle	7,69 aB	9,77 bA	1,56 aA	1,52 abA	0,98 aA	1,17 aA	
F	4,54 bcB	12,65 aA	1,46 aA	0,63 bA	1,21 aA	0,76 aA	
CV (%)	27,3						
CV (%)	24,7						

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula entre linhas na mesma coluna e maiúsculas entre colunas na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

A quantificação da atividade enzimática no solo foi realizada apenas na segunda coleta, período este referente ao final do primeiro ciclo de cultivo. Todas as enzimas analisadas

apresentaram valores baixos, contudo, apenas as fosfatases ácida e alcalina foram significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, em vista disto, os dados da urease expressam apenas as médias dos tratamentos na presença ou ausência do lodo de esgoto (Tabela 10).

Foi observada uma baixa atividade das fosfatases no solo, o entanto, as médias da fosfatase alcalina se sobressaíram a fosfatase ácida, tanto na presença quanto na ausência do lodo de esgoto. Dentre os tratamentos fertilizantes aplicados, o solo sob o efeito das doses do fertilizante biológico apresentou a maior concentração da fosfatase ácida, diferindo estatisticamente dos tratamentos Controle e F sem o resíduo. Em relação a fosfatase alcalina, as maiores concentrações de *p*-nitrofenol encontradas foram no solo tratado com o FB 1.0 sem aplicação do lodo (0,83  $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ ).

**Tabela 10.** Atividades enzimáticas da segunda coleta de solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan

Tratamentos	Sem resíduo		Com resíduo		Sem resíduo		Com resíduo		Média
	Fosfatase ácida		Fosfatase alcalina		Urease				
	$\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$		$\mu\text{g } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$		$\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{ solo 2h}^{-1}$				
FB 1.0	0,19 aA	0,17 bA	0,83 aA	0,23 bB	0,46	1,34	0,9 ns		
FB 1.5	0,23 aB	0,31 aA	0,38 bcB	0,68 aA	0,39	1,01	0,7		
Controle	0,10 bB	0,26 aA	0,25 cA	0,36 bA	0,24	1,43	0,84		
F	0,13 bB	0,17 bA	0,46 bA	0,33 bB	0,82	1,31	1,07		
Média					0,48 b	1,27 a			
CV (%)	14,49		18,53		28,96				
CV (%)	14,19		18,40		28,20				

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula entre linhas na mesma coluna e maiúsculas entre colunas na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe).

Essas enzimas responderam de forma diferente quanto a interação do lodo com os tratamentos fertilizantes. A incorporação do lodo com os tratamentos FB 1.5, Controle e F resultou numa maior atividade da fosfatase ácida, já para a fosfatase alcalina houve um aumento da concentração de *p*-nitrofenol apenas no solo com o lodo incorporado junto a maior dose do fertilizante biológico, que teve um ganho de 0,30  $\mu\text{g}$  de *p*-nitrofenol  $\text{g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$  em relação ao mesmo tratamento sem o lodo. Diferente das fosfatases, a atividade da urease não foi influenciada pelos tratamentos fertilizantes, porém, a incorporação do lodo estimulou o aumento dos valores quantificados desta enzima, saindo de uma média de 0,48 para 1,27  $\mu\text{g}$  de  $\text{NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{ solo 2h}^{-1}$ .



### 4.3 Análise nutricional e fitotécnica da planta

Os dados da primeira coleta das concentrações de N nas folhas de bananeira (Tabela 11) demonstraram que a maior dose do fertilizante biológico (FB 1.5) foi responsável pelas maiores médias de N na folha, diferindo estatisticamente do tratamento F, tanto na presença como na ausência do lodo de esgoto. Assim como na primeira coleta, no período residual o fertilizante biológico sem o lodo de esgoto continuou sendo mais eficiente que o fertilizante mineral em disponibilizar N a planta, no entanto, também se observou que a incorporação do lodo em interação com os tratamentos fertilizantes não apresentaram diferenças estatísticas, e que a presença deste resíduo tanto na primeira coleta como no período residual em interação com FB 1.0 resultou em uma menor concentração de N na folha.

Da mesma forma que o N, a concentração de P nas folhas também foi maior quando se utilizou o fertilizante biológico (Primeira coleta). A concentração mais alta de P na ausência do lodo foi de 4,03 g kg<sup>-1</sup> e a mais baixa 2,75 g kg<sup>-1</sup>, valores esses dos tratamentos FB 1.5 e F, respectivamente, diante disto, observou-se que a utilização do tratamento FB 1.5 aumentou em 32% a concentração de P na folha quando comparado ao fertilizante mineral (Tabela 11). A presença do lodo de esgoto não aumentou a concentração de P nas folhas, contudo, sua aplicação junto ao FB 1.5 resultou em uma menor concentração deste nutriente em comparação a utilização do FB 1.5 sem o lodo, diferente deste, o fertilizante biológico numa dose menor (FB 1.0) junto ao lodo se sobressaiu a todos os outros tratamentos. Também se observou que no período residual houve uma redução das concentrações de P nas folhas em todos os tratamentos, e estes não diferiram entre si.

O K exibiu comportamento diferente do N e do P, apresentando uma concentração maior no tratamento F, diferindo de todos os outros sem aplicação do resíduo, mas estatisticamente igual ao tratamento FB 1.0 na presença do lodo. A incorporação do lodo de esgoto influenciou positivamente a concentração de K nas folhas quando foi aplicado com os tratamentos FB 1.0 e F, notando-se o aumento das médias devido essa interação. Na avaliação do período residual, ocorreu um decréscimo significativo da concentração de K nas folhas em todos os tratamentos sob a influência do lodo ou não, mas as doses do fertilizante biológico apresentaram-se estatisticamente iguais ( $p < 0,05$ ) ao fertilizante solúvel sem aplicação do lodo. O tratamento Controle sem a presença do lodo demonstrou menor eficiência na disponibilização de K as folhas de bananeira no período residual, contudo, a utilização do lodo

de esgoto aumentou a concentra de K na folha, ficando estatisticamente igual aos tratamentos FB 1.5, e F (Tabela 11).

**Tabela 11.** Concentrações de N, P e K na folha (Limbo foliar) de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto

Tratamentos	1ª coleta		Período residual	
	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo
N-NH <sub>4</sub> g kg <sup>-1</sup>				
FB 1.0	16,03 abA	13,16 bB	18,18 aA	15,16 aB
FB 1.5	16,78 aA	17,62 aA	18,31 aA	18,08 aA
Controle	13,86 abA	15,40 abA	17,36 abA	15,56 aA
F	13,13 bA	12,74 bA	15,03 bA	17,22 aA
CV (%)	4,9			
CV (%)	10			
P g kg <sup>-1</sup>				
FB 1.0	3,65 aA	3,62 aA	1,50 aA	1,50 aA
FB 1.5	4,03 aA	2,63 bB	1,55 aA	1,55 aA
Controle	2,79 bA	2,45 bA	1,53 aA	1,50 aA
F	2,75 bA	2,50 bA	1,62 aA	1,50 aA
CV (%)	15,5			
CV (%)	10,8			
K g kg <sup>-1</sup>				
FB 1.0	29,67 bB	36,32 aA	10,72 abA	8,40 bA
FB 1.5	29,03 bA	28,82 bA	11,65 abA	12,63 aA
Controle	28,07 bA	28,39 bA	8,63 bB	11,54 aA
F	32,89 aB	37,50 aA	12,55 aA	12,81 aA
CV (%)	6,6			
CV (%)	7,5			

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula entre linhas na mesma coluna e maiúsculas entre colunas na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); período residual (2 anos após o plantio).

Ao avaliar as coletas (Tabela 21 no apêndice), observou-se que o P e o K apresentaram a mesma resposta, na qual, a primeira coleta foi estatisticamente diferente do período residual, ou seja, as maiores concentrações destes nutrientes foram na primeira coleta ocorrendo uma redução significativa no período residual, com ou sem aplicação do lodo de esgoto. Quanto ao N, na ausência do lodo de esgoto, os tratamentos FB 1.0 e F foram estatisticamente menores na primeira coleta, já na presença do lodo, com exceção do fertilizante mineral que foi estatisticamente menor na primeira coleta, todos os outros tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre as coletas.

Foram observadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos fertilizantes e o lodo ao avaliar as concentrações de Ca e Mg nas folhas de bananeira (Tabela 12). Na primeira coleta, o tratamento Controle sem o resíduo se apresentou estatisticamente diferente das doses do fertilizante biológico, mas não diferiu do tratamento F, no entanto, observou-se que a incorporação do lodo aumentou as concentrações de Ca em todos os tratamentos, com ganhos de  $7,75 \text{ g kg}^{-1}$  no tratamento FB 1.0 e de  $6,97 \text{ g kg}^{-1}$  no FB 1.5, tornando os tratamentos FB 1.5, Controle e F estatisticamente iguais.

**Tabela 12.** Concentrações de Ca e Mg na folha (Limbo foliar) de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto

Tratamentos	1ª coleta		Período residual	
	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo
	Ca $\text{g kg}^{-1}$			
FB 1.0	31,03 cB	38,78 bA	48,62 aA	34,52 cB
FB 1.5	34,60 bcB	41,57 abA	45,96 aA	41,05 bB
Controle	38,38 aB	43,43 aA	47,23 aA	44,87 aA
F	36,57 abB	42,15 abA	46,13 aA	44,97 aA
CV (%)	4,6			
CV (%)	4,1			
	Mg $\text{g kg}^{-1}$			
FB 1.0	4,46 aA	4,16 aA	4,07 aA	3,84 bcA
FB 1.5	4,38 aA	4,65 aA	4,23 aA	4,16 abA
Controle	4,39 aA	4,19 aA	4,51 aA	4,54 aA
F	3,68 bB	4,46 aA	4,22 aA	3,45 cB
CV (%)	9,7			
CV (%)	8,3			

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula entre linhas na mesma coluna e maiúsculas entre colunas na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); período residual (2 anos após o plantio).

No período residual as concentrações de Ca nas folhas continuaram altas, chegando a  $48,62 \text{ g kg}^{-1}$  no tratamento FB 1.0 na ausência do lodo, no entanto, todos os tratamentos foram iguais estatisticamente. Mesmo após 2 anos da aplicação do lodo, este resíduo ainda influenciou as concentrações de Ca, já que na presença deste, os tratamentos Controle e F diferiram das doses do fertilizante biológico que ficaram estatisticamente menores quando aplicados em interação com o lodo.

Quanto a absorção de Mg pela bananeira, constatou-se que a concentração média deste nutriente nas folhas foi de  $4 \text{ g kg}^{-1}$ . Na primeira coleta, as doses do fertilizante biológico e o tratamento Controle diferiram estatisticamente do fertilizante solúvel na ausência do lodo,

contudo, a incorporação do fertilizante solúvel junto ao lodo de esgoto resultou numa maior absorção deste nutriente, tornando-o estatisticamente igual aos outros tratamentos. No período residual os tratamentos fertilizantes não diferiram entre si na ausência do lodo, no entanto, os tratamentos FB 1.5 e Controle em interação com este resíduo diferiram do tratamento F (Tabela 12).

Foram quantificados os dados de massa seca da folha (MSF) na primeira coleta (6 meses após o plantio) e no período residual (2 anos após o plantio). Na primeira coleta, observou-se que a planta sob o tratamento Controle apresentou a menor média de MSF, diferindo estatisticamente ( $p < 0,05$ ) dos outros tratamentos. Já ao avaliar a influência da aplicação do lodo junto aos tratamentos fertilizantes observou-se que houve um aumento da MSF nos tratamentos Controle e FB 1.0 (Tabela 13).

**Tabela 13.** Massa seca da folha de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto

Tratamentos	1ª coleta		Período residual	
	Sem resíduo	Com resíduo	Sem resíduo	Com resíduo
	MSF g			
FB 1.0	65,87 aB	75,39 aA	91,36 aA	80,08 aB
FB 1.5	66,13 aA	71,33 abA	98,04 aA	87,08 aB
Controle	48,27 bB	75,43 aA	89,20 abA	80,46 aB
F	64,47 aA	64,26 bA	82,30 bA	87,21 aA
CV (%)	6,3			
CV (%)	4,9			

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula entre linhas na mesma coluna e maiúsculas entre colunas na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel; MSF= massa seca da folha. 1ª coleta (6 meses após o plantio); período residual (2 anos após o plantio).

As médias da MSF do período residual foram maiores que as observadas na primeira coleta, e diferente desta, a presença do lodo de esgoto junto aos tratamentos fertilizantes resultou numa menor quantidade de MSF, uma redução de 11,28 g no tratamento FB 1.0, de 10,96 g no FB 1.5 e de 8,7 g no tratamento Controle, e mesmo com essa redução não diferiram estatisticamente entre si. Na ausência do lodo de esgoto as plantas que foram submetidas as doses do fertilizante biológico apresentaram um maior teor de MSF, se sobressaindo a média do Fertilizante solúvel. Os dados da tabela 23 (no apêndice) que mostra a influência das coletas sob a MSF deixou claro que na ausência do lodo de esgoto o período residual se sobressaiu a primeira coleta, para todos os tratamentos, já sob a ação do lodo apenas os tratamentos FB 1.5 e F foram estatisticamente maiores no período residual, ficando as duas coletas estatisticamente iguais em relação aos outros tratamentos.

Ao final do primeiro ciclo de cultivo, foram realizadas as análises biométricas da planta mãe, como altura do pseudocaule (AP), diâmetro do pseudocaule (DP), comprimento da folha (CF) e largura da folha (LF) (Tabela 14).

**Tabela 14.** Dados de altura e diâmetro do pseudocaule, e comprimento e largura da folha de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto (Período referente ao final do primeiro ciclo)

Tratamentos	Sem resíduo		Com resíduo		Sem resíduo		Com resíduo	
	AP m				DP cm			
FB 1.0	2,15	aA	2,16	aA	11,85	abA	11,76	aA
FB 1.5	2,07	aA	2,14	aA	12,35	aA	10,57	bB
Controle	2,12	aA	2,01	aB	11,46	bcA	11,32	abA
F	2,05	aB	2,17	aA	10,76	cA	11,38	abA
CV (%)	4,42				3,64			
CV (%)	3,36				3,9			
	CF m				LF cm		Média	
FB 1.0	1,73	aA	1,69	aA	57,87	56,11	56,99 a	
FB 1.5	1,61	bB	1,72	aA	56,05	54,05	55,05 ab	
Controle	1,61	bA	1,57	bA	56,84	54,63	55,74 ab	
F	1,68	abA	1,62	abA	53,76	54,35	54,05 b	
Média					56,13	a	54,79	b
CV (%)	3,78				3,10			
CV (%)	2,94				2,20			

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula entre linhas na mesma coluna e maiúsculas entre colunas na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel; AP= altura do pseudocaule, DP= diâmetro do pseudocaule, CF= comprimento da folha, LF= largura da folha.

Os tratamentos fertilizantes não influenciaram o parâmetro AP, da mesma forma não se observou mudanças significativas dos tratamentos na presença do lodo, contudo, na presença deste resíduo se observou um aumento da média de AP no tratamento F, já no tratamento Controle a média diminuiu. O DP foi estatisticamente maior sob a influência das doses do fertilizante biológico na ausência do lodo (11,85 cm no FB 1.0 e 12,35 cm no FB 1.5), se sobressaindo ao tratamento F, mas ao avaliar os tratamentos em interação com o lodo, os tratamentos FB 1.0, Controle e F foram estatisticamente iguais, e o tratamento FB 1.5 foi estatisticamente menor na presença do lodo (10,57 cm).

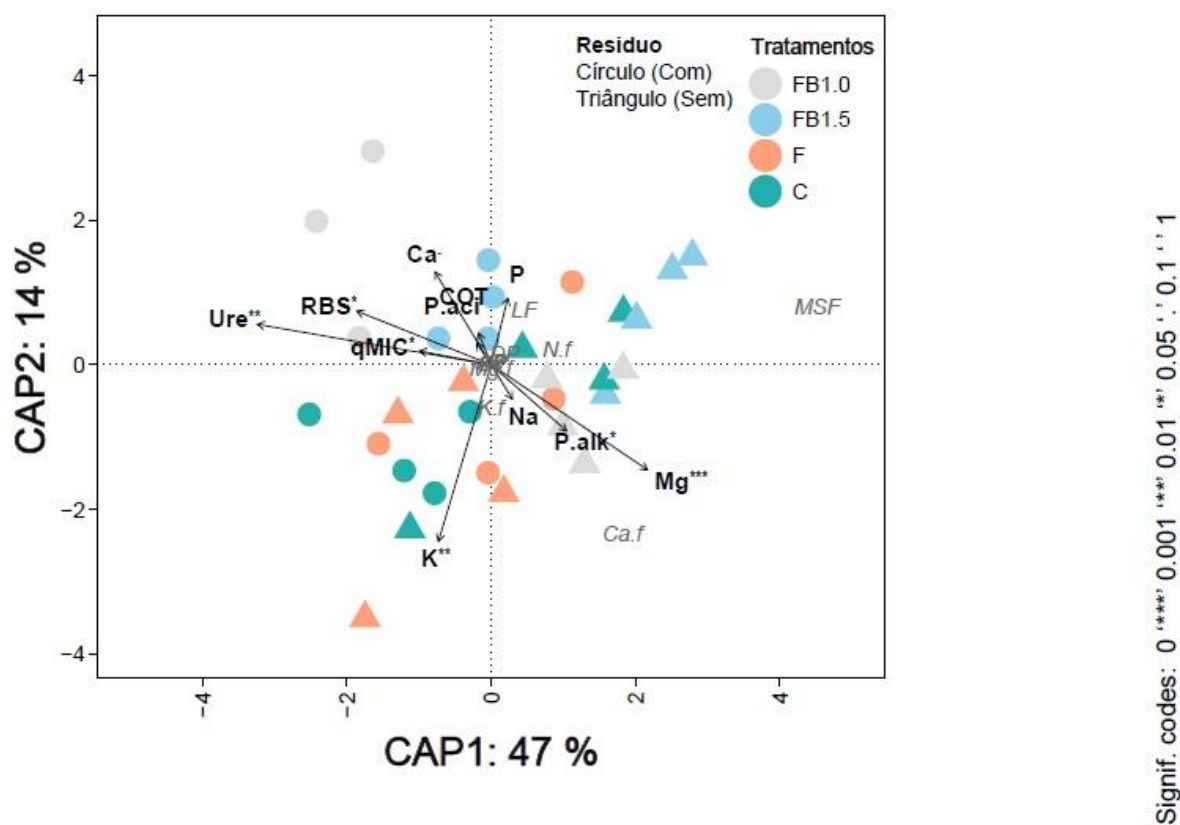
Também se observou diferença estatística ( $p < 0,05$ ) ao avaliar o parâmetro CF, tanto na presença do lodo quanto na ausência deste, as médias do CF nas doses do fertilizante biológico foram iguais às médias do tratamento F, no entanto, o CF sob a influência do FB 1.5 foi maior na presença do lodo (1,72 m). Diferente dos outros parâmetros, os dados de LF

não apresentaram interação significativa no teste F, por isso foram feitas análises simples dos dados através da média geral dos tratamentos e se observou que na ausência do lodo a média da largura da folha foi maior (56,13 cm) (Figura 14).

#### 4.4 Análise de redundância e Correlação de Pearson

Foi realizada uma análise multivariada para melhor explicar o efeito da interação dos tratamentos fertilizantes e do lodo de esgoto sob as propriedades químicas e microbiológica do solo e a nutrição da planta. Para tal, as variáveis redundantes foram removidas do modelo da db-RDA (Análise de Redundância baseada em distância), evitando erros nas interpretações (Figura 4).

**Figura 4.** Análise de redundância baseada em distância (db-RDA) entre as variáveis do solo e da planta de banana Pacovan tratada com fertilizante biológico e lodo de esgoto (dados referentes ao final do primeiro ciclo de cultivo)



FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; C= controle; F= fertilizante solúvel; Ure= urease; RBS= respiração basal do solo; COT= carbono orgânico total; P. aci= fosfatase ácida; qMIC= quociente microbiano.

Observou-se que as duas componentes principais explicaram 61 % das informações dos resultados, sendo a primeira componente responsável por 47 % e a segunda componente por 14% (Figura 4). A db-RDA demonstrou nitidamente que houve uma separação devido à

presença e ausência do resíduo, ficando as variáveis influenciadas pelo lodo de esgoto do lado esquerdo, as do lado direito as variáveis indiferentes a presença deste. Assim, o eixo horizontal (CAP1) explica a ação do fator resíduo.

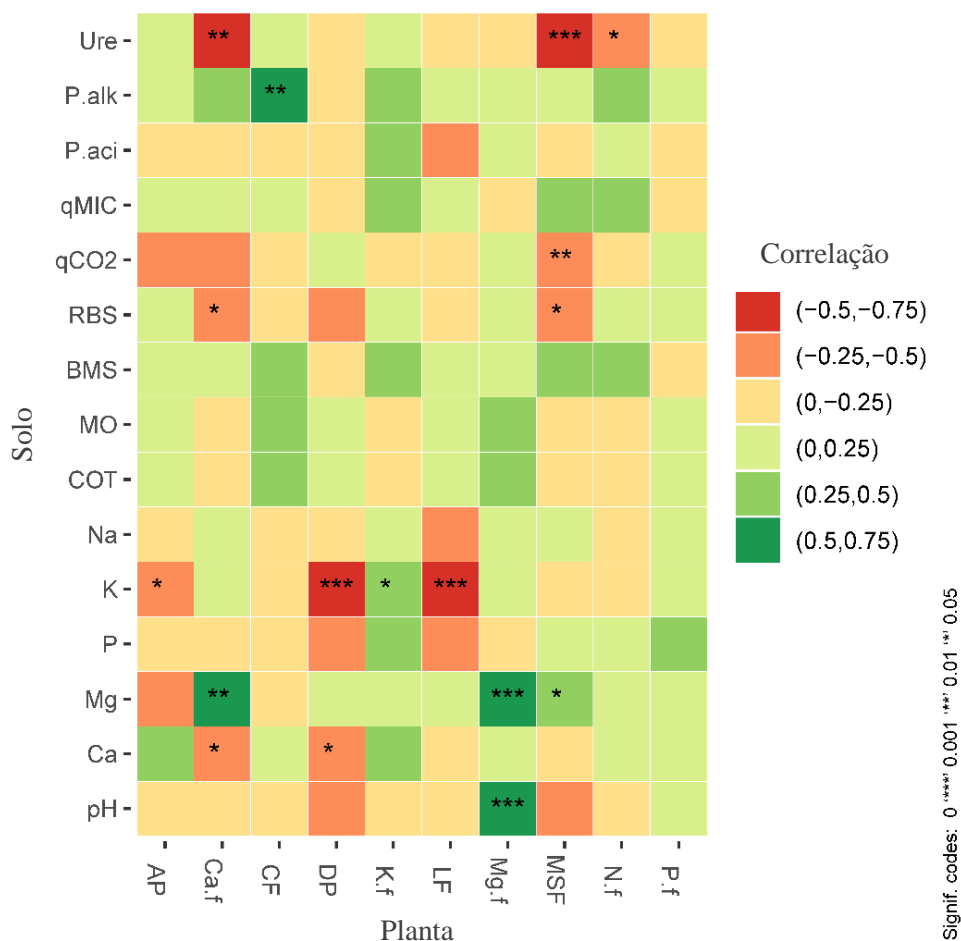
A adição do lodo mostrou fortes correlações com os incrementos de K, Ca e as atividades da urease ( $p < 0,01$ ), P.aci, RBS, COT e  $qMIC$  ( $p < 0,05$ ). Enquanto que as concentrações de Mg, atividade da P.alk e Na se correlacionaram com os tratamentos sem o resíduo. As doses do fertilizante biológico (FB 1.0 e FB 1.5) foram responsáveis pelo aumento da urease, RBS, Ca, P, COT, fosfatase ácida, Mg, fosfatase alcalina e  $qMIC$ . Enquanto que o teor de K foi influenciado pelo fertilizante solúvel e pelo tratamento Controle (Figura 4).

A aproximação da RBS com a urease e o  $qMIC$  demonstrou uma forte correlação positiva entre elas e essas atividades se correlacionaram fortemente com presença do lodo. É importante salientar também que as setas em direção opostas se correlacionaram negativamente. Assim, o K apresentou correlação negativa com as variáveis do lado direito (Na, P.alk e Mg).

Os dados da Figura 5 apresentam uma análise de Correlação de Pearson com teste de significância das correlações entre as variáveis do solo e as análises nutricionais e biométricas da planta. O teor de Mg na folha apresentou uma forte correlação positiva (0,5; 0,75) significativa ( $p < 0,001$ ) com o teor de Mg e pH do solo. Da mesma forma que o CF se correlacionou positivamente com a atividade da fosfatase alcalina (P.alk).

O teor de K no solo se correlacionou positivamente (0,25; 0,5) com o teor de K na folha, apresentando uma significância de ( $p < 0,05$ ), no entanto, apresentou uma forte correlação negativa com o diâmetro do pseudocaule ( $p < 0,001$ ), a largura da folha ( $p < 0,001$ ) e altura do pseudocaule ( $p < 0,05$ ). Também se observou que a atividade da urease do solo se correlacionou negativamente (-0,25, -0,5) com o teor de N na folha e a matéria seca da folha, já a fosfatase alcalina se correlacionou positivamente com o comprimento da folha (CF). Constatou-se também que o  $qCO_2$  e a RBS apresentaram uma correlação significativa negativa com a matéria seca das folhas (MSF).

**Figura 5.** Análise de Correlação de Pearson entre as variáveis do solo e da planta de banana Pacovan tratada com fertilizante biológico e lodo de esgoto (dados referentes ao final do primeiro ciclo de cultivo)



Ure= urease; P. alk= fosfatase alcalina; P. aci= fosfatase ácida; qMIC= quociente microbiano; qCO2= quociente metabólico; RBS= respiração basal do solo; BMS= biomassa microbiana do solo; MO= matéria orgânica; COT= carbono orgânico total; AP= altura do pseudocaule; Ca.f= Ca na folha; CF= comprimento da folha; DP= diâmetro do pseudocaule; K.f= K na folha; LF= largura da folha; Mg.f= Mg na folha; MSF= massa seca da folha, N.f= N na folha; P.f= P na folha.



## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Atributos químicos do solo

A maior dose do fertilizante biológico (FB 1.5) se mostrou tão eficiente quanto o fertilizante solúvel na disponibilização de P no solo, proporcionando até maiores concentrações deste nutriente ao longo do tempo de cultivo, como se observou na segunda coleta. Isso demonstrou que, devido as suas características, o fertilizante biológico disponibiliza o P gradativamente, inicialmente pela ação da *Acidithiobacillus thiooxidans* e após sua incorporação no solo pode ocorrer a ação de bactérias solubilizadoras de fosfatos nativas, que também agem sobre o pó de rocha disponibilizando o P para as plantas. Diferente do fertilizante biológico, os fertilizantes convencionais solubilizam rapidamente em contato com a água, podendo ser perdido ou adsorvido, além disso, a adubação contínua do solo pode diminuir sua capacidade de retenção de P (YAN et al. 2018), contribuindo com a contaminação das águas subterrâneas, problema esse que vem sendo abordado em muitas pesquisas, como as realizadas por Zhang et al. (2003); Carpenter (2008); Abdelwaheb et al. (2019); Caen, Latour e Mathias (2019).

A utilização do lodo de esgoto contribuiu com o aumento significativo das concentrações do P no solo, principalmente quando foi aplicado junto a menor dose do fertilizante biológico. Essa interação foi responsável pelas maiores concentrações de P no solo na primeira e segunda coleta. Isto se deve ao fato de o lodo de esgoto ser um produto com um potencial relevante na nutrição de algumas culturas, devido os vários benefícios que este traz ao solo, como a incorporação de macronutrientes, principalmente P e N (PEDROSA et al., 2017). Assim como neste estudo, Bittencourt et al. (2012) também constataram aumentos nos teores de P ao avaliar a aplicação de lodo de esgoto aliado ao lodo de tratamento de água em solo degradado.

A alta concentração de P na primeira coleta, quando se avaliou o tratamento Controle foi resultado da incorporação do húmus de minhoca, um composto rico em nutrientes facilmente disponíveis, no entanto, diferente do fertilizante biológico, ocorreu uma diminuição dos valores de P relacionados a esse tratamento na segunda coleta, provavelmente devido a sua imobilização pelos microrganismos do solo ou pela absorção da planta. Santos et al. (2010) utilizando vermicomposto na produção de mudas de pimentão observaram que o substrato com 100 % do vermicomposto apresentou maiores concentrações dos macronutrientes (N, P, K e Mg). Armond et al. (2016) também observaram que o húmus de

minhoca favoreceu o desenvolvimento de plantas de abobrinha após aplicar 1000 g deste composto.

Quanto a disponibilização de K no solo, foi constatado que nos primeiros meses de cultivo (1.<sup>a</sup> coleta), os tratamentos se apresentaram similares, ocorrendo diferenças significativas apenas na segunda coleta, no entanto, a maior concentração deste nutriente foi observada no período residual (3.<sup>a</sup> coleta), um resultado extemporâneo, já que se esperava um decréscimo da sua concentração com o tempo de cultivo, devido sua absorção pela planta, visto que este é o nutriente mais requisitado pela cultura da banana (HOFFMANN et al., 2010a), ou pelas perdas por lixiviação. Diante disto, é provável que à falta de água durante os meses de setembro a dezembro de 2018, observada na figura 2 (Gráfico de precipitação pluviométrica), resultou num acúmulo deste nutriente no solo, uma vez que a água é essencial para absorção dos nutrientes e por ser o veículo no processo de lixiviação dos nutrientes do solo.

Respostas mais significativas foram obtidas por Stamford et al. (2017) quanto a disponibilização de K por fertilizante biológico produzido com pó de rocha no cultivo de banana. Entretanto, muitos fatores podem ter contribuído para este resultado, dentre eles a rocha utilizada como fonte de K na produção do fertilizante, que nesta pesquisa foi utilizada a rocha Relinktum, e no trabalho de Stamford et al. (2017) foi usada a Biotita, a cultivar estudada e as condições abióticas durante o desenvolvimento da pesquisa.

Com relação à disponibilização de K pelo lodo de esgoto, este não se mostrou tão eficiente quanto o verificado para o P, já que o lodo utilizado possuía baixas concentrações de K ( $0,34 \text{ g kg}^{-1}$ ), e mesmo assim, a interação do lodo com os tratamentos fertilizantes demonstraram resultados positivos. O lodo de esgoto não apresenta alta concentração de todos os macronutrientes e a maioria exibe valores baixos de K, o que está relacionado com a perda deste nutriente no processo de obtenção do lodo de esgoto tratado (GARCIA et al., 2009). Ao passar pela prensa desaguadora, o lodo utilizado neste estudo, deve ter perdido grande parte do K na água descartada, apresentando com isso, baixa concentração deste nutriente no resíduo final.

Assim como o K, o Na exibiu maiores valores no período residual, havendo aumento da sua concentração no solo ao longo do período experimental, contudo, nas três coletas avaliadas a concentração de Na estava maior que a de K, apresentando uma baixa relação K/Na, que para a maioria dos tratamentos estava abaixo de 0,5. De acordo com Sathiamoorthy e Jeyabaskaran (2001), Borges et al. (2002) e Borges (2004) a relação K/Na considerada ótima

para a bananeira é de 2,5, pois valores altos de Na prejudica a absorção de K pela planta, causando redução da produção quando a porcentagem de Na em relação à soma dos cátions trocáveis for maior que 8%. Neste trabalho a maioria dos tratamentos fertilizantes apresentaram uma porcentagem de Na menor que 8% na primeira e na segunda coleta, porém, na terceira coleta esse valor ultrapassou os 10%, chegando a 14% quando se utilizou o fertilizante solúvel, no entanto, vale salientar que como estava sendo avaliado o período residual a última adubação tinha sido realizada há um ano do dia desta coleta, com isto, os cátions trocáveis ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ) que existia no solo foram absorvidos ou perdidos neste período, resultando em uma maior porcentagem de Na em relação aos outros cátions trocáveis.

A aplicação do lodo de esgoto influenciou positivamente a concentração de Ca no solo (Tabela 5), aumentando sua concentração em todos os tratamentos fertilizantes na segunda coleta. Na caracterização química do lodo de esgoto (Tabela 1) se observou alta concentração de Ca ( $146,78 \text{ g kg}^{-1}$ ), comprovando assim a capacidade deste resíduo na disponibilização de Ca. Essa alta concentração de Ca nos resíduos de lodo de esgoto se deve a aplicação de Cal virgem no processo de higienização do mesmo.

Com relação aos tratamentos fertilizantes, o fertilizante biológico se sobressaiu ao fertilizante solúvel quando aplicado combinado com lodo de esgoto, evidenciando a eficácia dessa interação na disponibilização de nutrientes ao solo, tanto para o P quanto para Ca. A utilização de fontes orgânicas e inorgânicas para a disponibilização de nutrientes além de suprir a necessidade das culturas agrícolas obtendo altos rendimentos, ainda promove melhorias nas propriedades do solo, sendo essa prática uma das diretrizes de um gerenciamento integrado da fertilidade do solo (AGEGNEHU; AMEDE, 2017).

No que se refere a influência do lodo na disponibilização de Mg este não foi eficiente, sendo observado redução na concentração deste nutriente no solo quando foi aplicado o lodo, tanto na primeira, quanto na terceira coleta. Este comportamento pode ser explicado pela elevada concentração de Ca no lodo, apresentando uma alta relação  $Ca/Mg = 56/1$  (Tabela 1), causando um desbalanço desses nutrientes, já que a faixa ótima dessa relação no solo para o cultivo de bananeira fica entre 1,5/1 a 3/1 (BORGES et al., 2002; MORAIS; OLIVEIRA; MAIA, 2014). Devido à aplicação do lodo os tratamentos que apresentaram uma redução da concentração de Mg estavam com uma relação  $Ca/Mg$  maior que 4/1 chegando a 7,5/1 quando foi aplicado o lodo junto ao FB 1.0 na primeira coleta, diante disto, pressupõe-se que houve um antagonismo entre esses elementos no solo, visto que a elevada concentração de um pode

prejudicar a adsorção e a absorção do outro devido suas características químicas próximas (MEDEIROS et al., 2008).

Apesar das concentrações de Ca e Mg nas rochas utilizadas para produção do fertilizante biológico serem baixas em relação aos teores de P e K, estas disponibilizaram quantidades relativas destes nutrientes no solo. Corroborando com os trabalhos de Stamford et al. (2017) no cultivo de banana e Stamford et al. (2016) no cultivo de cana-de-açúcar, evidenciando que o fertilizante biológico pode ser uma fonte alternativa aos fertilizantes solúveis convencionais.

Quanto ao efeito dos tratamentos sob o pH do solo, na primeira coleta os valores se apresentaram ácidos, principalmente na presença do fertilizante solúvel (pH= 4,72), diferente deste, as doses do fertilizante biológico influenciaram na ocorrência de valores mais altos e isto se deve a presença da matéria orgânica utilizada para neutralizar a acidez do fertilizante biológico após ação da *A. thiooxidans* durante a solubilização do pó das rochas (Tabela 6). Shen et al. (2015) também observaram aumentos nos valores de pH após aplicação de doses altas e baixas de fertilizante biológico na cultura da banana. Contudo, a aplicação do lodo de esgoto junto ao tratamento FB 1.0 aumentou a acidez do solo, provavelmente devido ao processo de mineralização pela biomassa microbiana do solo (BREDA et al., 2020), que libera ácidos orgânicos durante o processo.

Ficou evidente que a aplicação do fertilizante solúvel acidificou a solução do solo e que a incorporação do lodo de esgoto influenciou no aumento dos valores de pH, essa diminuição da acidez do solo com a utilização do lodo se deu pelo aumento dos cátions na solução do solo, principalmente  $\text{Ca}^{2+}$  já que o lodo utilizado apresentou uma alta concentração desse cátion. Cerne et al. (2019) observaram um pH elevado e uma alta concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  em lodo de esgoto municipal estabilizado com CaO, e ressaltaram o cuidado que se deve ter para que sua aplicação não cause a alcalinidade do solo. Uma vez que, o pH tem grande importância na disponibilização dos nutrientes, podendo influenciar no processo de fixação de P e na disponibilização dos cátions (AGEGNEHU; AMEDE, 2017).

Quanto ao teor do carbono orgânico total e da matéria orgânica do solo (Tabela 7), observou-se que a interação entre os tratamentos fertilizantes e o lodo de esgoto foi responsável pelas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) destas variáveis. Dentre as interações avaliadas, as doses do fertilizante biológico e o tratamento controle se sobressaíram ao fertilizante solúvel na presença do lodo. Tanto no tratamento controle quanto no fertilizante biológico foi adicionado húmus de minhoca, este junto ao lodo de esgoto promoveu o aumento

da MOS, e conseqüentemente o teor de COT. Certamente, o lodo de esgoto deve ter estimulado a biomassa microbiana que é o componente principal da matéria orgânica viva do solo (SILVA et al., 2012). Assim como neste trabalho, Bonini, Alves e Montanari (2015) também relataram que o lodo de esgoto proporcionou aumentos no teor de MOS em um solo degradado. Da mesma forma, Cerne et al. (2019) também observaram aumento da concentração de MOS após aplicação sucessiva de lodo durante 2 anos no cultivo de milho, e esse aumento foi proporcional à taxa de lodo aplicada.

Os dados obtidos evidenciaram que a aplicação do fertilizante solúvel não proporcionou aumentos significativos no teor de COT, mesmo que adicionado em interação com o lodo de esgoto. Foi verificado também que os maiores teores de MOS e COT ocorreram na primeira e terceira coleta. Na primeira coleta se deve ao fato da incorporação do lodo e dos tratamentos no solo tinha sido realizada há 6 meses, com isto, a atividade da biomassa microbiana ainda estava em alta, favorecendo os teores destas variáveis. Já na terceira coleta (Período residual), se observou que o lodo não influenciou essas variáveis, resultado esperado, já que o mesmo tinha sido aplicado há 2 anos, na implantação do cultivo, com isto, os teores de MOS e COT podem ter sido favorecidos pelo aporte significativo de material vegetal no solo pelo bananal ao longo dos dois anos de cultivo.

## **5.2 Atributos microbiológicos**

Os tratamentos fertilizantes e a incorporação do lodo de esgoto estimularam a BMS e, conseqüentemente, afetou a atividade metabólica expressa pela RBS (Tabela 8). O incremento de nutrientes a um solo com baixa fertilidade, por fontes orgânicas ou mineral, induz o aumento da BMS. Este aumento foi observado por Lopes et al. (2012) ao avaliar a MO e a BMS em um solo sob o cultivo de melão, em que o carbono da biomassa microbiana foi elevado nas camadas superficiais, devido a maior disponibilidade da matéria orgânica, água e nutrientes. Entretanto, a BMS responde mais rapidamente se as fontes forem mais facilmente decomponíveis, e isto foi observado no tratamento controle, em função da incorporação de húmus de minhoca e em todos os tratamentos após adição de lodo de esgoto. Corroborando Vieira, Castilhos e Castilhos (2011) que também observaram aumentos da BMS e da liberação de C-CO<sub>2</sub> ao aplicar doses de lodo de esgoto no cultivo de arroz.

Na ausência do lodo de esgoto, a BMS sob o efeito das doses do fertilizante biológico se sobressaiu ao fertilizante solúvel, e tendo em vista que além dos nutrientes presentes no pó das rochas o fertilizante biológico tem o húmus de minhoca que é uma fonte orgânica para a

BMS, sendo mais eficiente que o fertilizante solúvel. De acordo com Sun et al. (2010) e Zhu et al. (2020) a aplicação conjunta de fertilizante mineral com fertilizante orgânico aumenta a qualidade da comunidade microbiana do solo, dado que a interação dessas duas formas de fertilizantes pode aumentar a taxa de utilização de fontes de carbono pelos microrganismos do solo.

Nesta pesquisa, observou-se que a incorporação dos tratamentos ao solo estimulou a atividade metabólica, sendo observados os valores mais expressivos na primeira coleta. Na segunda e na terceira coleta constatou-se redução da RBS, contudo, os valores foram sempre maiores quando os tratamentos estavam em interação com o lodo de esgoto. A redução na atividade metabólica se deu pela diminuição dos resíduos aplicados, uma vez que a RBS representa a emissão de CO<sub>2</sub> gerado pela decomposição da matéria orgânica do solo (QIN et al., 2019). Da mesma forma, Colodro et al. (2007), analisando atividade microbiana em um Latossolo degradado tratado com lodo de esgoto, observaram que o lodo promoveu aumento na atividade microbiana ao quantificar a RBS. Heck, Ghini e Bettiol (2019) também observaram aumentos na atividade microbiana (liberação de CO<sub>2</sub>) com aplicação de lodo de esgoto em maiores doses no cultivo de banana maçã (AAB). A aplicação de fontes orgânicas promove benefícios nas propriedades biológicas do solo como aqui expressados, e isto se deve a composição do lodo de esgoto, que apresenta uma baixa relação C/N e alta concentração de MO e nutrientes, como pode ser observado na caracterização do lodo aplicado neste trabalho (Tabela 1).

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi estatisticamente menor na primeira coleta, tanto na presença como ausência do lodo de esgoto, aumentando significativamente nas outras coletas (Tabela 20 no apêndice). Visto que altos valores de  $qCO_2$  são sinônimos de microrganismos sob estresse (ARMENTA et al., 2012), o aporte de nutrientes ao solo tanto pelos tratamentos fertilizantes quanto pelo lodo beneficiou os microrganismos do solo. Xue e Huang (2013) ao avaliarem o impacto do composto de lodo de esgoto no crescimento de peônia e nas propriedades microbiológicas e bioquímicas do solo observaram que o  $qCO_2$  diminuiu com o aumento da dosagem de lodo na faixa de 15 - 45%.

No presente trabalho, o fertilizante solúvel junto ao lodo de esgoto na segunda coleta apresentou o maior valor de  $qCO_2$ , e uma vez que a fonte de energia facilmente decomponível do lodo tinha sido mineralizada, restando apenas o material mais recalcitrante, os microrganismos tiveram que aumentar sua atividade metabólica, aumentando a RBS como observado na Tabela 8, resultando assim num alto  $qCO_2$ . Esse resultado condiz com o fato de

o  $q\text{CO}_2$  pode ser considerado como um índice de eficiência microbiana, já que reflete a energia necessária que o microrganismo gasta para manter a atividade metabólica em relação à energia utilizada para síntese de biomassa (ARMENTA et al., 2012).

Solos com valores de  $q\text{MIC}$  menores que 1% demonstram que a atividade da biomassa microbiana está sendo afetada, evidenciando, que uma pequena parte do COT está sendo representada pelo C-BMS, na qual, em condições normais o C-BMS constituiria de 1 a 4% do COT do solo (SILVA et al., 2012). As altas percentagens de  $q\text{MIC}$  aqui observadas, demonstraram que a incorporação dos tratamentos fertilizantes e do lodo de esgoto estimulou a BMS, principalmente na presença do lodo, que apresentou percentuais entre 8,83 a 12,65%. Valores de  $q\text{MIC}$  abaixo de 1% só foram observados após um ano de cultivo (no tratamento F + lodo= 0,65%) e no período residual (3ª Coleta), e isto se deve ao fato de que nos períodos destas coletas, grande parte do lodo já tinha sido mineralizado e os nutrientes absorvidos ou perdidos, tornando-se um ambiente limitante para a BMS.

Foram observados valores baixos na quantificação da atividade das enzimas fosfatase ácida, fosfatase alcalina e urease, contudo, se sabe que a aplicação de fertilizantes, principalmente os solúveis convencionais em altas concentrações, reduzem a atividade enzimática e, além disto, a presença de elementos-traços em alguns fertilizantes, como o Cd nos fertilizantes fosfatados, podem causar a inibição de enzimas do solo (BALOTA et al., 2013). Entretanto, a presença de compostos orgânicos estimula a atividade enzimática no solo, sendo observado este comportamento em todas as enzimas avaliadas, com destaque para a urease que aumentou na presença do lodo de esgoto (Tabela 10). Siebielec, Siebielec e Lipski (2018), ao avaliarem o impacto a longo prazo do lodo de esgoto, fertilizantes digeridos e minerais no rendimento das plantas e na atividade biológica do solo, observaram aumentos nas atividades das fosfatases ácida e alcalina devido à aplicação de lodo, principalmente quando aplicadas doses mais altas do resíduo. Da mesma forma, Hamdi et al. (2019) avaliando a aplicação repetitiva de lodo de esgoto urbano no solo, também encontraram respostas positivas da aplicação de lodo sob a atividade das enzimas desidrogenase, protease e fosfatase.

A maior atividade das fosfatases nos tratamentos FB 1.0 e FB 1.5 em relação aos tratamentos Controle e F, mesmo na ausência do lodo, se deve a presença de compostos orgânicos nos fertilizantes usados, que podem ter estimulado a atividade enzimática dos microrganismos. De acordo com Balota et al. (2013), normalmente ocorre aumento da atividade da fosfatase, após a aplicação de baixas doses de fertilizantes, porém, em altas adubações a produção desta enzima decresce. Assim, deduz-se que, como o P do fertilizante

biológico foi liberado gradualmente pelo processo de solubilização da rocha, promoveu um estímulo para a produção da fosfatase, já a utilização do fertilizante solúvel liberou altas concentrações de P no solo causando o decréscimo na atividade da enzima. Resultados semelhantes foram observados por Shi et al. (2020) ao avaliarem a BMS, atividade enzimática e estrutura das comunidades microbianas afetadas pela fertilização com fósforo mineral em pastagens, concluindo que a mineralização do P orgânico e as associações micorrízicas não são vias importantes para o suprimento de P no solo quando o P não é limitado.

### 5.3 Análise nutricional e fitotécnica da planta

A interação entre os tratamentos fertilizantes e o lodo de esgoto influenciou nas concentrações dos macronutrientes na folha de bananeira (Tabelas 11 e 12). As plantas que se desenvolveram sob a influência das doses do fertilizante biológico foram beneficiadas quanto a disponibilização de N, tanto na primeira coleta, como no período residual sem adição do lodo. A incorporação do lodo de esgoto não teve atuação significativa quanto aos valores de N, sendo este um resultado compreensível já que o lodo de esgoto aplicado apresentava baixa concentração de N, sendo uma fonte pobre em relação a este nutriente, como se observou na caracterização, que expôs apenas  $0,68 \text{ g kg}^{-1}$  de N (Tabela 1). Resultados mais expressivos foram encontrados por Coelho et al. (2011), que observaram concentrações mais altas de N nas folhas de bananeiras ( $24 \text{ g kg}^{-1}$ ) após aplicação de uma dose de 125% de lodo de esgoto, no entanto, o lodo utilizado apresentou uma concentração de N muito maior ( $31,8 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação ao lodo deste trabalho. Além disso, a dose de lodo aplicada por estes autores foi de acordo com a necessidade da cultura, já que a única fonte de N seria suprida pelo lodo, e nesta pesquisa, o lodo foi aplicado como um suplemento, tendo a FBN como a fonte principal de N, processo esse realizado pela bactéria diazotrófica de vida livre (*B. indica*) presente no fertilizante biológico.

A maior dose do fertilizante biológico foi mais eficiente que o fertilizante solúvel quanto a disponibilização de N a bananeira, contudo, a concentração estava abaixo da faixa adequada para a cultura que é em torno de  $27 - 36 \text{ g kg}^{-1}$  de N (EMBRAPA, 2009). Tendo em vista que a disponibilização de N pelo fertilizante biológico é promovida pelo processo de FBN, e pela presença de húmus aplicado durante a produção do mesmo, deve-se considerar que fatores bióticos e abióticos podem afetar a FBN, dentre eles estresses hídricos, permeabilidade ao oxigênio, pH baixo ou alto e desequilíbrio dos nutrientes no solo (TORABIAN; FARHANGI-ABRIZ; DENTON, 2019). Durante o período experimental desta



pesquisa foram observados mais de um desses fatores limitantes para a FBN, como o estresse hídrico e o desequilíbrio nutricional, prejudicando assim a disponibilização de N para as bananeiras.

A eficiência do fertilizante biológico na disponibilização de P refletiu nas altas concentrações deste nutriente nas folhas (FB 1.0 - 3,65 g kg<sup>-1</sup> e FB 1.5 - 4,03 g kg<sup>-1</sup> de P sem aplicação do lodo), sendo esses valores superiores aos teores adequados a bananeira que ficam entre 1,8 – 2,7 g kg<sup>-1</sup> de P, de acordo com Embrapa (2009). Ao avaliar o período residual dos fertilizantes, observou-se que, mesmo após 1 ano da adubação, os valores se encontravam próximos aos teores adequados de P. Stamford et al. (2017) também encontraram resultados significativos nas concentrações de N e P na folha de bananeira ao aplicar o fertilizante biológico a base de rochas, obtendo concentrações de 2001 mg folha<sup>-1</sup> de N e 398 mg folha<sup>-1</sup> de P, sendo tão eficiente quanto o fertilizante solúvel.

Hoffmann et al. (2010b) avaliando o acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada, observaram que as cultivares Pacovan e Pacova-Apodi foram as que mais acumularam P na planta, com valores de 29 e 23,4 kg ha<sup>-1</sup> de P, respectivamente. Destes valores, as folhas foram responsáveis por acumular 4,1 kg ha<sup>-1</sup> de P na cultivar Pacovan e 4,5 kg ha<sup>-1</sup> na cultivar Pacovan-Apodi, e isto refletiu em maiores produções em relação as outras cultivares avaliadas. Diante disto, os altos valores de P absorvidos pela bananeira Pacovan adubadas com o fertilizante biológico, demonstram a capacidade deste fertilizante em substituir o fertilizante solúvel convencional na nutrição de bananeiras, tanto por sua eficiência como por não solubilizar rapidamente podendo ser perdido causando danos aos corpos de água como os fertilizantes convencionais.

O desequilíbrio das concentrações das bases trocáveis (K + Ca + Mg) no solo refletiu no teor destes nutrientes nas folhas de bananeira, principalmente quanto a concentração de K nas folhas que foi bastante afetada em vista da baixa relação K/Ca, K/Mg e K/Na no solo. De acordo com Embrapa (2009), os teores adequados de K na folha de bananeira está entre 35 a 54 g kg<sup>-1</sup>, valores esses que só foram alcançados neste trabalho devido a interação dos tratamentos FB 1.0 e F com o lodo de esgoto (36,32 e 37,50 g kg<sup>-1</sup> de K, respectivamente). Na ausência do lodo, nenhum dos tratamentos se enquadrou na faixa adequada de K, demonstrando assim os benefícios do lodo na nutrição da bananeira. No período residual as médias de K estavam mais baixas, demonstrando uma deficiência na disponibilização de K para as bananeiras ao longo do cultivo. Normura et al. (2019) testou diferentes adubações nitrogenadas e potássicas no cultivo de banana prata, e observaram que os teores de K na folha

não chegaram na faixa adequada, obtendo uma média de 25 g kg<sup>-1</sup>, bem menor que a encontrada no presente trabalho.

Dentre as bases trocáveis, o Ca foi o que apresentou as maiores concentrações na folha, chegando a ser o triplo do teor adequado (3 – 12 g kg<sup>-1</sup>) para a bananeira (EMBRAPA, 2009). Este resultado foi reflexo das altas concentrações de Ca encontradas no solo, em virtude dos altos teores deste nutriente nos fertilizantes e no lodo aplicado. As doses do fertilizante biológico também foram muito eficientes na disponibilização de Mg para nutrição da bananeira, sobressaindo ao fertilizante solúvel, contudo, se apresentaram iguais na presença do lodo. Mesmo no período residual as concentrações deste nutriente ficaram na faixa adequada (3 - 6 g kg<sup>-1</sup>) para a cultura da bananeira (EMBRAPA, 2009). Os dados desta pesquisa corroboram com o trabalho de Oliveira et al. (2017) que também obtiveram respostas positivas para concentração de Ca e Mg na folha de cana-de-açúcar ao aplicar fertilizante biológico a base de rochas fosfáticas e potássicas junto a torta de filtro.

Efeitos benéficos da utilização de lodo de esgoto no cultivo de banana foram relatados por Heck, Ghini e Bettiol (2019), demonstrando o aumento no desenvolvimento da bananeira e diminuição de doenças graças a disponibilização de K, S, P, Ca e Mg ao aplicar percentagens mais altas do lodo. As altas concentrações de Ca e Mg observadas no solo mostraram forte influência na baixa concentração de K na folha, já que estes nutrientes podem se comportar como antagonistas quando a concentração de um se sobressai a do outro. De acordo com Benites et al. (2010), uma alta relação (Ca+Mg):K acarreta baixa absorção de K pela planta, principalmente quando o K se encontra num teor menor que 0,20 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, e como observado na Tabela 4, em todos os tratamentos as concentrações de K no solo estavam abaixo desse valor.

Barroso et al. (2011), avaliando teores de macronutrientes em folhas de bananeira cv. Pacovan Apodi, sob lâminas de irrigação e doses de potássio, observaram que o aumento da dose de K decresceu o teor de Mg na folha, e isto ocorreu linearmente com o aumento da dose de K, e quando o Mg se encontrava em maior concentração no solo, o teor de K na folha era menor, e isto resultou em equações lineares crescentes e decrescentes para os teores de K e Mg, respectivamente.

Foram observados aumentos da MSF das plantas sob o efeito do fertilizante biológico denotando o potencial deste, na nutrição e desenvolvimento de bananas pacovan, sendo tão eficiente quanto o fertilizante solúvel (Tabela 13). Ao observar o período residual dos tratamentos, as doses do fertilizante biológico se sobressaíram ao fertilizante solúvel,

apresentando maior produção de MSF. Estes resultados reafirmam o fato dos nutrientes presentes no fertilizante biológico serem disponibilizados gradativamente, podendo manter a nutrição do bananal por um período maior que os fertilizantes solúveis, já que estes são perdidos rapidamente por lixiviação ou por volatilização, devido às características químicas e físicas dos adubos industrializados. Souza et al. (2017) também observaram incremento da massa seca da parte aérea de mudas micropropagadas de bananeira ao avaliarem fertilizante biológico com bactérias fixadoras de N, solubilizadoras de P e produtoras de IAA, concluindo que as bactérias foram capazes de incrementar o crescimento e melhorar a qualidade de mudas de bananeira Prata Anã. A incorporação do lodo também promoveu incrementos na MSF de bananeiras na primeira coleta, apresentando diferenças significativas, sendo este um resultado esperado devido a lodo disponibilizar nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas.

Quanto aos parâmetros biométricos altura e diâmetro do pseudocaule, comprimento e largura das folhas foram observadas apenas diferenças significativas entre os tratamentos fertilizantes em relação ao diâmetro do pseudocaule e comprimento das folhas, sendo o fertilizante biológico o tratamento que apresentou as maiores médias, no entanto, em nenhum dos tratamentos foi obtida a média ideal da cultivar avaliada. Como a bananeira é uma cultura que apresenta um rápido crescimento vegetativo, e produz grandes quantidades de matéria seca com acúmulo expressivo de nutrientes (HOFFMANN et al., 2010a), o desequilíbrio das bases trocáveis no solo, principalmente de K, refletiu negativamente nos parâmetros biométricos da planta. Aliado a isto, os défices hídricos ocorridos durante o período experimental podem ter agravado o desenvolvimento da planta, uma vez que os tecidos das bananeiras necessitam de um consumo elevado e contínuo de água. De acordo com Costa et al. (2009) a ocorrência de déficit hídrico durante o crescimento vegetativo da bananeira afetará o desenvolvimento da folha e isto influenciará no número de flores e conseqüentemente a produção.

Resultados diferentes foram encontrados por Arantes et al. (2017) ao realizarem a avaliação agrônômica de bananeiras em três ciclos de produção sob adubação convencional no Sudoeste da Bahia, e observaram que as plantas apresentaram altura e diâmetros maiores, bem como, folhas mais desenvolvidas, chegando ao porte normal da cv pacovan, reduzindo apenas no terceiro ciclo. Da mesma forma, Nomura et al. (2013) realizaram adubação recomendada, conforme a análise de solo e também obtiveram valores maiores de alturas e diâmetro do pseudocaule da cv pacovan ao avaliar genótipos de bananeiras, no Vale do Ribeira.

#### 5.4 Análise de redundância e Correlação de Pearson

A análise de redundância (Figura 3) demonstrou a eficiência do fertilizante biológico em disponibilizar P ao solo, sendo essa disponibilização proporcional ao nível de fertilizante aplicado. Assim, quanto maior a dose (FB 1.5), maior será a quantidade de P cedida ao solo, e conseqüentemente, haverá uma resposta positiva na nutrição da planta. A análise foliar (Tabela 11) reafirma este resultado, sendo observado, que a maior concentração de P na folha foi alcançada quando o solo recebeu a dose mais alta do fertilizante biológico (FB 1.5 - 4,03 g kg<sup>-1</sup>).

Além da disponibilização de nutrientes, o fertilizante biológico combinado ao lodo, proporcionou uma maior atividade microbiana, sendo isto validado pela RDA a qual mostrou uma forte correlação entre a atividade da enzima urease, a RBS e o qMIC na presença destes tratamentos. Isto se deve pela existência de materiais orgânicos tanto no fertilizante biológico quanto no lodo, estimulando assim a atividade microbiana que produziu a enzima urease durante o processo de mineralização deste material, disponibilizando N para a planta. A enzima urease está intimamente ligada ao ciclo biogeoquímico do N, já que promove a hidrólise da ureia, formando amônia e ácido carbônico e pode ser produzida por fungos, bactérias, algas, plantas e invertebrados (PACHECO; COLLA, 2019). Evangelista et al. (2012) também observaram que os maiores níveis de atividade enzimática do solo foram observados no sistema de produção orgânica, indicando maior ciclagem da MO quando comparado ao cultivo convencional de cana-de-açúcar.

A forte correlação negativa entre K, Ca e Mg observada na análise de redundância, reafirma a ação antagônica que ocorreu entre estes nutrientes. O antagonismo entre Ca e Mg ocorre pelo fato destes nutrientes apresentarem propriedades químicas próximas, principalmente a valência (Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>), e isto leva a uma competição pelo sítio de adsorção no solo e na absorção pelas plantas (MEDEIROS et al., 2008; BENITES et al., 2010).

A análise de Correlação de Pearson demonstrou que a concentração de Mg e K na planta estava intimamente relacionada com a presença desses nutrientes no solo. No entanto, assim como observado nas Tabelas 4 e 5, havia uma maior concentração de Mg do que de K no solo, por isto, houve correlação mais forte. O menor teor de K no solo influenciou negativamente o desenvolvimento da planta, afetando assim os parâmetros biométricos de diâmetro e altura do pseudocaule bem como a largura da folha, que diferiram das medidas normais para a cv pacovan.

A atividade das enzimas fosfatase alcalina e urease apresentaram fortes correlações significativas com o comprimento, massa seca e N da folha. A influência positiva da fosfatase alcalina no comprimento foliar deve-se ao fato desta enzima disponibilizar P para o desenvolvimento das plantas, e a presença do lodo de esgoto e do húmus de minhoca no fertilizante biológico estimulou a mineralização desse material pela ação dos microrganismos do solo. Da mesma forma, Armenta et al. (2012) também observaram aumento significativo nas atividades de urease e fosfatases ácidas e alcalinas do solo, por realizarem a mineralização de P orgânico e a hidrólise de compostos ricos em N, após a incorporação de lodo no solo. Diferente da fosfatase, a correlação entre urease e as variáveis da folha foram negativas e, como se constatou na tabela 10, a concentração dessa enzima no solo foi baixa. Além disso, nenhum dos tratamentos fertilizantes influenciaram a produção de urease. De acordo com Balota et al. (2013), a baixa atividade da urease no solo proporciona menor produção de N-amoniacal, levando a uma concentração de N menor que a exigida pelas plantas.

## 6 CONCLUSÕES

1. O fertilizante biológico a base rocha fosfática e potássica aumentou a concentração de macronutrientes no solo, principalmente os teores de P, se mostrando tão eficiente quanto os fertilizantes solúveis na disponibilização de P, N e Mg as folhas. Contudo, a rocha Relinktum apresentou baixa concentração de K;
2. O lodo de esgoto promoveu o incremento de P e Ca no solo, estimulou a BMS refletindo positivamente na atividade enzimática e nos valores de RBS,  $qCO_2$ , e  $qMIC$ , no entanto, a alta concentração de Ca causou um desequilíbrio das bases trocáveis na solução do solo;
3. A interação entre o lodo de esgoto e os fertilizantes biológico e convencional apresentaram as melhores respostas das características microbiológicas e químicas do solo e da planta, confirmando os benefícios da adubação conjunto de fontes orgânicas e minerais ao invés da adução convencional;
4. Todos os tratamentos fertilizantes apresentaram baixo poder residual após 2 anos de cultivo, ocorrendo uma diminuição gradativa a cada coleta, entretanto, o fertilizante biológico apresentou um aumento da disponibilização de P, mesmo após um ano de sua incorporação ao solo, sobressaindo ao fertilizante solúvel convencional;
5. Diante dos resultados encontrados a recomendação do fertilizante biológico em interação com o lodo de esgoto pode ser uma alternativa eficiente e sustentável aos fertilizantes solúveis convencionais para o cultivo de banana Pacovan, sendo necessária uma caracterização química prévia do lodo já que este pode apresentar alta concentração de Ca caso tenha sido tratado com CaO, tomando-se o cuidado para que a quantidade aplicada não cause o desequilíbrio das bases trocáveis na solução do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELWAHEB, M.; JEBALI, K.; DHAOUADI, H.; DRIDI-DHAOUADI, S. Adsorption of nitrate, phosphate, nickel and lead on soils: Risk of groundwater contamination. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Plymouth, v. 179, p. 182-187, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.040>.

AGEGNEHU, G.; AMEDE, T. Integrated Soil Fertility and Plant Nutrient Management in Tropical Agro-Ecosystems: A Review. **Pedosphere**, Nanjing, v. 27, p. 662-680, 2017. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60382-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60382-5).

AGHBASHLO, M.; TABATABAEI, M.; SOLTANIAN, S.; GHANAVATI, H. Biopower and biofertilizer production from organic municipal solid waste: An exergoenvironmental analysis. **Renewable Energy**, Lemesos, v. 143, p. 64-76, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.109>.

AHMAD, T.; DANISH, M. Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. **Journal of Environmental Management**, Berkeley, v. 206, p. 330-348, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.061>.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. **Biology Fertility Soils**, Florence, v.1, p.81-89, 1985.

ANDERSON, T.H.; 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 & Biochemistry**, Nottingham, v. 25, p. 393-395, 1993.

ARANTES, A. M.; DONATO, S. L. R.; SILVA, T. S.; RODRIGUES FILHO, W. A.; AMORIM, E. P. Avaliação agronômica de bananeiras em três ciclos de produção no sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 39, p. 1-12, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452017990>.

ARMENTA, R.; VACA, R.; LUGO, J.; AGUILA, P. D. Microbiological and biochemical properties of an agricultural Mexican soil amended with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1646-1655, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500029>.

ARMOND, C; OLIVEIRA, VC; GONZALEZ, SDP; OLIVEIRA, FER; SILVA, RM; LEAL, TTB; REIS, AS; SILVA, F. Desenvolvimento inicial de plantas de abobrinha italiana cultivada com húmus de minhoca. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 34, p. 439-442, 2016. DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362016003022>.

AULAR, A.; NATALE, W. Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, mangueira, bananeira e mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, p. 1214-1231, 2013.

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. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. In: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. **Tópicos em Ciência do Solo** - Volume VIII. 1. Ed. Viçosa: SBCS, 2013. cap. 8, p. 221-278.

BARROSO, A.A.F.; VIANA, T.V.A.; MARINHO, A. B.; SANTOS, L. M. L.; BARROSO, C.R.O.; GOMES FILHO, R. R. Avaliação nutricional da bananeira em função de diferentes doses de adubação potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 6, p. 89-96, 2012.

BARROSO, A.A.F.; VIANA, T.V.A.; MARINHO, A. B.; COSTA, S. C.; AZEVEDO, B. M. Teores de macronutrientes em folhas de bananeira cv. Pacovan Apodi, sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 3, p. 529-538, 2011.

BARTLETT, R. J.; ROSS, D. S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 52, p. 191-192, 1988.

BEHERA, B. C.; SINGDEVSACHAN, S. K.; MISHRA, R. R.; DUTTA, S. K.; THATOI, H. N. Diversity, mechanism and biotechnology of phosphate solubilizing Microorganism in mangrove - A review. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Illinois, v. 3, p. 97-110, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2013.09.008>>.

BENITES, V. M.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, F. A. O potássio, o cálcio e o magnésio na agricultura brasileira. In: **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**, v. 2, Piracicaba: INPI – Brasil, 2010. Cap. 3, p. 137-191.

BERGER, L. R. R.; STAMFORD, N. P.; WILADINO, L. G.; LARANJEIRA, D.; LIMA, M. A. B.; MALHEIROS, S. M. M.; OLIVEIRA, W. J.; STAMFORD, T. C. M. Cowpea resistance induced against *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum* by crustaceous chitosan and by biomass and chitosan obtained from *Cunninghamella elegans*. **Biological Control**, Amsterdam, v. 92, p. 45-54, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.09.006>>.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; MARIN, L. M. K. S.; SIMÃO, C. C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, p. 315-324, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522012000300008>>.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 10, p. 34 - 42, 2015. Disponível em: <<https://doi:10.5039/agraria.v10i1a4513>>.

BORGES, A. L.; RAIJ, B. V.; MAGALHÃES, A. F. de J.; BERNARDI, A. C. de C. **Nutrição e adubação da bananeira irrigada**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. 8p. (EMBRAPA-CNPMF. Comunicado Técnico, 48).



BORGES, A. L. **Interação entre Nutrientes em Bananeira**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 2p. (EMBRAPA-CNPMF. Comunicado Técnico, 55).

BRASIL. Lei. 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 dez. 1980. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacoes>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

BREDA, C. C.; SOARES, M. B.; TAVANI, R. F. R.; VIANA, D. G.; FREDDI, O. S.; PIEDADE, A. R.; MAHL, D.; TRABALLI, R. C.; GUERRINI, I. A. Successive sewage sludge fertilization: Recycling for sustainable agriculture. **Waste Management**, Hamburgo, v. 109, p. 38-50, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.045>.

BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; BEBÉ, F. V.; RAMOS, A. G. O.; SILVA, G. B. Production, decomposition and chemical characteristics of Banana litterfall. **Caatinga**, Mossoró, v. 30, p. 45-52, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n105rc>>.

CAEN, A.; LATOUR, D.; MATHIAS, J.D. Dynamical effects of retention structures on the mitigation of lake eutrophication. **Environmental Modelling and Software**, v. 119, p. 309–326, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.06.012>.

CARPENTER, R. S. Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication. **PNAS**, United States of America, v. 105, p. 11039–11040, 2008. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/105/32/11039>.

CERNE, M.; PALCIC, I.; PASKOVIC, I.; MAJOR, N.; ROMIC, M.; FILIPOVIC, V.; IGRC, M. D.; PERCIN, A.; BAN, S. G.; ZORKO, B.; VODENIK, B.; CINDRO, D. G.; MILACIC, R.; HEATH, D. J.; BAN, D. The effect of stabilization on the utilization of municipal sewage sludge as a soil amendment. **Waste Management**, Hamburgo, v. 94, p. 27–38, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.032>.

CHANG, Z.; LONG, G.; ZHOUA, J. L.; MA, C. Valorization of sewage sludge in the fabrication of construction and building materials: A review. **Resources, Conservation & Recycling**, Michigan, v. 154, p. 1-14, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104606>>.

CHOU, Y-M.; SHEN, F-T.; CHIANG, S-C.; CHANG, C-M. Functional diversity and dominant populations of bacteria in banana plantation soils as influenced by long-term organic and conventional farming. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.110, p. 21-33, 2017.

COELHO, H. A.; GRASSI FILHO, H.; ROMEIRO, J. C. T.; POMPERMAYER, G. V.; BARBOSA, R. D.; LOBO, T. F. Desempenho agrônômico do lodo de esgoto como fonte de nitrogênio em bananeiras. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, p. 172-181, 2011.

COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C. R.; CASSIOLATO, A. M. R.; ALVES, M. C. Atividade microbiana em um Latossolo degradado tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, p.195-198, 2007.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE 2006. Resolução 375/2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codleg.506>>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

COSTA, S. C.; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C.; VIANA, T. V. A.; MOREIRA, F. V. O. Comportamento dos parâmetros indicativos de produção de bananeira pacovan submetida a diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio na Chapada do Apodi-Limoeiro do Norte-CE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, p. 46-52, 2009.

DÍAZ DE ASTARLOA, D. A.; PENGUE, W. A. Nutrients Metabolism of Agricultural Production in Argentina: NPK Input and Output Flows from 1961 to 2015. **Ecological Economics**, Manchester, v.147, p.74-83, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.01.001>.

DI SALVO, L.; CELLUCCI, G. C.; CARLINO, M. E.; SALAMONE, I. E. G. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation and nitrogen fertilization increase maize (*Zea mays* L.) grain yield and modified rhizosphere microbial communities. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 126, p. 113–120, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.010>>.

DUBEY, A.; MALLA, M. A.; KHAN, F.; CHOWDHARY, K.; YADAV, S.; KUMAR, A.; SHARMA, S.; KHARE, P. K.; KHAN, M. L. Soil microbiome: a key player for conservation of soil health under changing climate. **Biodiversity and Conservation**, Berlim, v. 28, p. 2405–2429, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01760-5>.

EVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and Galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 20 p. 601-606, 1988.

EVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Phosphatases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.9, p.167-172, 1977.

EL FELS, L.; HAFIDI, M.; SILVESTRE, J.; KALLERHOFF, J.; MERLINA, G.; PINELLI, E. Efficiency of co-composting process to remove genotoxicity from sewage sludge contaminated with hexavalent chromium. **Ecological Engineering**, Prague, v. 82, p. 355-360, 2015.

ELMER, W. H.; DATNOFF, L. E. Mineral Nutrition and Suppression of Plant Disease. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, California, v. 4, p. 231-244, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00251-5>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, Embrapa Solos, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. 2ed. Rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 672p. 2009.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, E. P. 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**, Londrina, v. 33, p. 1251-1262, 2012. Disponível em: DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33n4p1251

FLORI, J. E.; RESENDE, G. M. Soil chemical attributes and leaf nutrients of ‘pacovan’ banana under two cover crops. **Caatinga**, Mossoró, v. 29, p. 290 – 295, 2016.

FU, L.; PENTON, C.R.; RUAN, Y.; SHEN, Z.; XUE, C.; SHEN, Q. Inducing the rhizosphere microbiome by biofertilizer application to suppress banana Fusarium wilt disease. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 104, p. 39-48, 2017.

GABRA, F. A.; ABD-ALLA, M. H.; DANIAL, A. W.; ABDEL-BASSET, R.; ABDEL-WAHAB, A. M. Production of biofuel from sugarcane molasses by diazotrophic *Bacillus* and recycle of spent bacterial biomass as biofertilizer inoculants for oil crops. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Illinois, v. 19, p. 1-11, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101112>>.

GARCIA, G. O.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C.; NAZÁRIO, A. A.; BRAGANÇA, H. N. Características químicas de um solo degradado após aplicação de lodo de esgoto doméstico. **Revista Verde**, Mossoró, v. 4, p. 01-12, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/277810554\\_CHARACTERISTICAS\\_QUIMICAS\\_DE\\_UM\\_SOLO\\_DEGRADADO\\_APOS\\_APLICACAO\\_DE\\_LODO\\_DE\\_ESGOTO\\_DOMESTICO](https://www.researchgate.net/publication/277810554_CHARACTERISTICAS_QUIMICAS_DE_UM_SOLO_DEGRADADO_APOS_APLICACAO_DE_LODO_DE_ESGOTO_DOMESTICO).

GUARESCHI, R. F.; BODDEY, R. M.; RODRIGUES ALVES, B. J.; SARKIS, F. L.; MARTINS, M. R.; JANTALIA, C. P.; CABRIALES, J. J. P.; NÚÑEZ, A. V.; URQUIAGA, S. Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agricultura da América Latina e o Caribe. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 37, p. 105-119, 2019. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.423>.

HA, N.; FEIKE, H.; BACK, H.; XIAO, H.; BAHRS, E. The effect of simple nitrogen fertilizer recommendation strategies on product carbon footprint and gross margin of wheat and maize production in the North China Plain. **Journal of Environmental Management**, Berkeley, v. 163, p. 146-154, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.014>.

HAMDI, H.; HECHMI, S.; KHELIL, M. N.; ZOGHLAMI, I. R.; BENZARTI, S.; MOKNITLILI, S.; HASSEN, A.; JEDIDI, N. Repetitive land application of urban sewage sludge: Effect of amendment rates and soil texture on fertility and degradation parameters. **Catena**, Amsterdam, v. 172, p. 11–20, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.015>>.

HAMIM, A.; BOUKESKASSE, A.; OUHDOUCH, Y.; FARROUKI, A.; BARRIJAL, S.; MICHÉ, L.; MRABET, R.; DUPONNOIS, R.; HAFIDI, M. Phosphate solubilizing and PGR activities of ericaceous shrubs microorganisms isolated from Mediterranean forest soil.

**Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Illinois, v. 19, p. 1-8, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101128>

HANSSON, K.; LACLAU, J. P.; SAINT-ANDRÉ, L.; MARESCHAL, L.; HEIJDEN, G. V. D.; NYS, C.; NICOLAS, M.; RANGER, J.; LEGOUT, A. Chemical fertility of forest ecosystems. Part 1: Common soil chemical analyses were poor predictors of stand productivity across a wide range of acidic forest soils. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 461, p. 1-13, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117843>>.

HECK, D. W.; GHINI, R. BETTIOL, W. Deciphering the suppressiveness of banana Fusarium wilt with organic residues. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 138, p. 47–60, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.021>

HOFFMANN, R. B.; OLIVEIRA, F. H. T.; GHEYI, H. R.; SOUZA, A. P.; ARRUDA, J. A. Acúmulo de matéria seca, absorção e exportação de micronutrientes em variedades de bananeira sob irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 536-544, 2010a.

HOFFMANN, R. B.; OLIVEIRA, F. H. T.; SOUZA, A. P.; GHEYI, H. R.; SOUZA JÚNIOR, R. F. Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, p. 268-275, 2010b.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - Estatística da Produção Agrícola. p. 34-36, 2019. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resultados e informações sobre o censo agropecuário 2017. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017>>. Acesso em: 16 de março de 2020.

IPA - Instituto Pernambucano de Pesquisa Agropecuária. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**: 2ª aproximação. 3 eds. revisado/coordenado por Francisco José de Albuquerque Cavalcanti. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. 2008. p. 212.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biology Fertility Soils**, Germany, v. 6, p. 68-72, 1988.

KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; VILLAS BÔAS, R. L. Influência de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 287-291, 2010.

KE, X.; FENG, S.; WANG, J.; LU, W.; ZHANG, W.; CHEN, M.; LIN, M. Effect of inoculation with nitrogen-fixing bacterium *Pseudomonas stutzeri* A1501 on maize plant growth and the microbiome indigenous to the rhizosphere. **Systematic and Applied Microbiology**, Germany, v. 42, p. 248–260, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.syapm.2018.10.010>>.

KIBOI, M. N.; NGETICH, K. F.; MUGENDI, D. N.; MURIUKI, A.; ADAMTEY, N.; FLIESSBACH, A. Microbial biomass and acid phosphomonoesterase activity in soils of the Central Highlands of Kenya. **Geoderma regional**, Madison, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00193>>.

KOUR, D., RANA, K.L., YADAV, A.N., YADAV, N., KUMAR, M., KUMAR, V., VYAS, P., DHALIWAL, H.S., SAXENA, A.K., Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Illinois, In Press, Journal Pre-proof. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101487>>.

LAVELLE, P.; MOREIRA, F.; SPAIN, A. Biodiversity: Conserving Biodiversity in Agroecosystems. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, California, v. 2, p. 41-60, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00019-X>>.

LI, J.; SHANGGUAN, Z.; DENG, L. Dynamics of soil microbial metabolic activity during grassland succession after farmland abandonment. **Geoderma**, Madison, v. 363, p. 1-9, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114167>>.

LIMA, F. S., STAMFORD, N.P., SOUSA, C. S., LIRA JUNIOR, M.A., MALHEIROS, S.M.M., VAN STRAATEN, P. Earthworm compound and rock biofertilizer enriched in nitrogen by inoculation with free living diazotrophic bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. Heidelberg, v. 26, p. 1769-1775, (2010). Disponível em: <DOI 10.1007/s11274-010-0357-z>.

LOPES, H. S. S.; MEDEIROS, M. G.; 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**, Viçosa, v. 59, p. 565-570, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000400020>.

MA, L.; DUAN, T.; HU, J. Application of a universal soil extractant for determining the available NPK: A case study of crop planting zones in central China. **Science of the Total Environment**, Barcelona, v. 704, p. 135253, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135253>.

MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v.12, p. 250-258, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003>>.

MAHECHA-VÁSQUEZ, G.; SIERRA, S.; POSADA, R. Diversity indices using arbuscular mycorrhizal fungi to evaluate the soil state in banana crops in Colombia. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 109, p. 32-39, 2017.

MARTINS, M. N. C.; SOUZA, V. V.; SOUZA, T. S. Genotoxic and mutagenic effects of sewage sludge on higher plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, United States v. 124, p. 489-496, 2016.

MATTANA, S.; PETROVICOVÁ, B.; LANDI, L.; GELSOMINO, A.; ORTIZ, O.; RENELLA, G. Sewage sludge processing determines its impact on soil microbial community structure and function. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 75, p.150-161, 2014.

Mc GRATH, J. M.; SPARGO, J.; PENN, C. J. Soil fertility and plant nutrition. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, California, v. 5, p. 166-184, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00249-7>.

MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P.; SANTOS, L. A. R.; LIMA, J. R. S.; ALMEIDA-CORTÊZ, J. S.; HAMMECKER, C.; LARDY, L.; COURNAC, L. Soil organic carbon, microbial biomass and enzyme activities responses to natural regeneration in a tropical dry region in Northeast Brazil. **Catena**, Amsterdam, v. 151, p. 137-146, 2017.

MEDEIROS, E.V.; NOTARO, K.A.; BARROS, J.A.; MORAES, W.S.; SILVA, A.O.; MOREIRA, K.A. Absolute and specific enzymatic activities of sandy entisol from tropical dry forest, monoculture and intercropping areas. **Soil & Tillage research**, Amsterdam, v. 145, p.208 - 215, 2015.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; ROSA, J. D.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, p. 799-806, 2008.

MENDONÇA, E. S; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. Viçosa: UFV, p.86-92, 2005.

MESQUITA, C. B.; GARCIA, E. L.; BOLFARINI, A. C. B.; LEONEL, S.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, M. Phosphate fertilization changes the characteristics of ‘Maçã’ banana starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 112, p. 1138-1145, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.065>.

MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, A. S.; MAIA, C. E. Qualidade do solo cultivado com banana irrigada e sua relação com áreas de caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, p. 887–891, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p887-891>.

NORMURA, E. S.; CUQUEL, F. L.; DAMATTO JUNIOR, E. R.; BEZERRA, D. P.; BORGES, A. L. Post-harvest characterization of ‘Prata’ banana cultivar grown under different nitrogen and potassium fertilization. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.41, p. 1-10, 2019. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452019416>.

NORMURA, E. S.; CUQUEL, F. L.; DAMATTO JUNIOR, E. R.; FUZITANI, E. J.; BORGES, A. L.; SAES, L. A. Nitrogen and potassium fertilization on 'Caipira' and 'BRS Princesa' bananas in the Ribeira Valley. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, p.702-708, 2016.

NOMURA, E. S.; DAMATTO JUNIOR, E. R.; FUZITANI, E. J.; AMORIM, E. P.; SILVA, S. O. Avaliação agrônômica de genótipos de bananeiras em condições subtropicais, Vale do Ribeira, São Paulo – Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.35, p. 112 - 122, 2013.

NUNES, E. N.; FERNANDES, Y. T. D.; MONTENEGRO, I. N. A.; ALVES, C. A. B.; SOUTO, J. S. Eficiência da translocação de nutrientes em plantas. **Revista Verde**, Pombal, v. 8, n. 5, p. 90 - 95, 2013.

OHKAMA-OHTSU, N.; WASAKI, J. Recent Progress in Plant Nutrition Research: Cross-Talk Between Nutrients, Plant Physiology and Soil Microorganisms. **Plant Cell Physiol**, Kyoto, v. 51, p. 1255–1264, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/pcp/pcq095>>.

OLIVEIRA, F. L. N.; OLIVEIRA, W. S.; STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S. Effectiveness of biofertilizer enriched in N by *Beijerinckia indica* on sugarcane grown on an Ultisol and the interactive effects between biofertilizer and sugarcane filter cake. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 17, n. 4, p. 1040-1057, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400015>>.

OLIVEIRA, W. S. **Eficiência do Fertilizante Biológico com quitosana fúngica no controle de nematoides, indução de resistência e nutrição na cana-de-açúcar**. 2019. 178 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

OWAMAH, H.I.; DAHUNSI, S.O.; ORANUSI, U.S.; ALFA, M.I. Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta. **Waste Management**, Hamburgo, v. 34, p. 747-752, 2014.

PACHECO, V. L.; COLLA, L. M. A enzima urease e suas aplicações na agricultura e engenharia. **Revista de Ciências Exatas Aplicadas e Tecnológicas**, Passo Fundo, v.11, p.1-21, 2019.

PALIYA, S.; MANDPE, A.; KUMAR, S.; KUMAR, M. S. Enhanced nodulation and higher germination using sludge ash as a carrier for biofertilizer production. **Journal of Environmental Management**, Berkeley, v. 250, p. 1-10, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109523>>.

PEDROSA, M. V. B.; LIMA, W. L.; AMARAL, A. A.; CARVALHO, A. H. O. Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, p. 125-142, 2017. Disponível em: DOI:<<http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n42017999>>.

PEREIRA, A.; MARASCHIN, M. Banana (*Musa spp*) from peel to pulp: Ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. **Journal of Ethnopharmacology**, Pretoria, v. 160, p. 149-163, 2015.

QIN, K.; DONG, X.; JIFON, J.; LESKOVAN, D. I. Rhizosphere microbial biomass is affected by soil type, organic and water inputs in a bell pepper system. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 138, p. 80-87, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.024>.

RATKE, R. F.; SANTOS, S. C.; PEREIRA, H. S.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C. Desenvolvimento e produção de bananeiras Thap Maeo e Prata-Anã com diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, p. 277-288, 2012.

SANTOS, J. J.; MARANHO, L. T. Rhizospheric microorganisms as a solution for the recovery of soils contaminated by petroleum: A review. **Journal of Environmental Management**, Berkeley, v. 210, p. 104-113, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.015>

SANTOS, M. R.; SEDIYAMA, M. A. N.; SALGADO, L. T.; VIDIGAL, S. M.; REIGADO, F. R. Produção de mudas de pimentão em substratos à base de Vermicomposto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, p. 572-578, 2010. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7147>.

SATHIAMOORTHY, S.; JEYABASKARAN, K.J. **Potassium Management of Banana**. In: IPI/NARCTT Regional Workshop: Potassium and Water Management in West Asia and North Africa, Amman (JOR), 2001.

SCARPARE FILHO, J. A.; SILVA, S. R.; SANTOS, C. B. C.; NOVOLETTI, G. **Cultivo e produção de banana**. 1ª Edição, ESALQ-USP, Piracicaba, 84 p. 2016.

SCHNEIDER, U. A.; HAVLÍK, P.; SCHMID, E.; VALIN, H.; MOSNIER, A.; OBERSTEINER, M.; BOTTCHE, H.; SKALSKY, R.; BALKOVIC, J.; SAUER, T.; FRITZ, S.; Impacts of population growth, economic development, and technical change on global food production and consumption. **Agricultural Systems**, New Zealand, v. 104, p. 204-215, 2011. Disponível em: doi: 10.1016/j.agsy.2010.11.003.

SHEN, M.; ZENG, G.; ZHANG, Y.; WEN, X.; SONG, B.; TANG, W. Can biotechnology strategies effectively manage environmental (micro)plastics?. **Science of the Total Environment**, Barcelona, v. 697, p. 1-5, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134200>.

SHEN, Z.; RUAN, Y.; WANG, B.; ZHONG, S.; LI, R.; SU, L.; SHEN, O. Effect of biofertilizer for suppressing Fusarium wilt disease of banana as well as enhancing microbial and chemical properties of soil under greenhouse trial. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 93, p. 111-119, 2015.

SHEN, Z.; ZHONG, S.; WANG, Y.; WANG, B.; LI, R.; RUAN, Y.; SHEN, Q. Induced soil microbial suppression of banana fusarium wilt disease using compost and biofertilizers to improve yield and quality. **European Journal of Soil Biology**, Westerham, v. 57, p. 1-8, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.03.006>.



SHI, Y.; ZIADI, N.; HAMEL, C.; BÉLANGER, G.; ABDI, D.; LAJEUNESSE, J.; LAFOND, J.; LALANDE, R.; SHANG, J. Soil microbial biomass, activity and community structure as affected by mineral phosphorus fertilization in grasslands. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 146, n. 103391, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103391>

SIEBIELEC, G.; SIEBIELEC, S.; LIPSKI, D. Long-term impact of sewage sludge, digestate and mineral fertilizers on plant yield and soil biological activity. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 187, p. 372-379, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.245>.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FEITORA, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1680-1689, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000600002>

SILVA JÚNIOR, J. F.; LÉDO, A. S.; AMORIM, E. P.; RODRIGUES, R. F. A.; FIGUEIROA, J. G. **Avaliação participativa de variedades de bananeira em áreas de agricultura de base familiar na zona da mata de Pernambuco** – Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 51 p. 2014.

SILVA JÚNIOR, F.; LOPES, G. B. M.; FERRAZ, L. G. B. **Sistema de produção de banana para a Zona da Mata de Pernambuco** - Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Recife: IPA, 140 p. 2010. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/index.php?idpagina=artigos&artigo=4523>

SILVA, W. O.; STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D.; SILVA, M. V. The impact of biofertilizers with diazotrophic bacteria and fungi chitosan on melon characteristics and nutrient uptake as an alternative for convention alfertilizers. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 209, 236-240, 2016.

SOARES, T. L.; SOUZA, E. H.; COSTA, M. A. P. C.; SILVA, S. O.; SANTOS-SEREJO, J. A. In vivo fertilization of banana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, p.37-42, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013005000146>

SOUZA, G. L. O. D.; SILVA, D. F.; NIETSCH, S.; XAVIER, A. A.; PEREIRA, M. C. T. Endophytic bacteria used as bioinoculants in micropropagated banana seedlings. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 39, p. 1-10, 2017. Disponível em: DOI 10.1590/0100-29452017324.

SOUZA, D. M.; MADARI, B. E.; SENA, M. M. Aplicação de métodos quimiométricos na otimização da extração de Ca, Mg, K, Fe, Zn, Cu e Mn em folhas de braquiária. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, p. 175-179, 2012.

STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N.; OLIVEIRA, W. S.; SILVA, M. C. F.; MARTINS, M. S.; SILVA, V. S. G. Organic matter inoculated with diazotrophic bacterium *Beijerinckia indica* and *Cunninghamella elegans* fungus containing chitosan on banana “Williams” in field. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 39, n. 1, p. 33-41, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v39i1.30857>.

STAMFORD, N. P.; NETO, D. E. S.; FREITAS, A. D. S.; OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, W. S.; CRUZ, L. Rock biofertilizer and earthworm compost on sugarcane performance and soil attributes in two consecutive years. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 73, n. 1, p. 29-33, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0005>>.

STAMFORD, T. C. M.; STAMFORD, T. L. M.; FRANCO, L. O. Produção, propriedades e aplicações da quitosana na agricultura e no ambiente. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S. **Microorganismos e Agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. 1ª edição, Guaíba: Agrolivros, 568 p., 2008.

SUN, F.; ZHANG, W.; XU, M.; ZHANG, W.; LI, Z.; ZHANG, J. Effects of long-term fertilization on microbial biomass carbon and nitrogen and on carbon source utilization of microbes in a red soil. **Chinese Journal of Applied Ecology**, China, v. 21, p. 2792-2798, 2010.

TAVARES, S. C. C. H.; BATISTA, D. C.; BATISTA, R. A. N. Determinação da intensidade da sigatoka amarela, flutuação e controle do moleque da bananeira da cultura da banana em São Vicente Férré. XXIV Congresso Brasileiro de Fruticultura – Fruteiras Nativas e Sustentabilidade. São Luís- Maranhão, 2016.

TEXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>

TORABIAN, S.; FARHANGI-ABRIZ, S.; DENTON, M. D. Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 185, p. 113–121, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.006>.

VIEIRA, G. D' A.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V. Atributos microbianos do solo após a adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 35, p. 543 – 550, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200023>.

VILAR, C. C.; VILAR, F. C. M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Revista Campo Digital: Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, Ponta Grossa, v. 8, n. 2, p. 37 - 44, 2013.

WANG, C.; HE, S.; ZOU, Y.; LIU, J.; ZHAO R.; YIN, X.; ZHANG, H.; LI, Y. Quantitative evaluation of in-situ bioremediation of compound pollution of oil and heavy metal in sediments from the Bohai Sea, China. **Marine Pollution Bulletin**, Australia, v. 150, p. 2-7, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110787>>.

XUE, D.; HUANG, X. The impact of sewage sludge compost on tree peony growth and soil microbiological, and biochemical properties. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 93, p. 583–589, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.05.065>.

YAN, Z.; CHEN, S.; DARI, B.; SIHIC, D.; CHEN, Q. Phosphorus transformation response to soil properties changes induced by manure application in a calcareous soil. **Geoderma**, v. 322, p. 163–171, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.035>

ZHANG, H.C.; CAO, Z.H.; SHEN, Q.R. WONG, M.H. Effect of phosphate fertilizer application on phosphorus (P) losses from paddy soils in Taihu Lake Region I. Effect of phosphate fertilizer rate on P losses from paddy soil. **Chemosphere**, v. 50, p. 695–701, 2003.

ZHONG S, ZENG H C, JIN Z Q. Soil microbiological and biochemical properties as affected by different long-term banana-based rotations in the tropics. **Pedosphere**, Nanjing, v. 25, p. 868-877, 2015. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30067-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30067-9)>.

ZHU, Z.; BAI, Y.; LV, M.; TIAN, G.; ZHANG, X.; LI, L.; JIANG, Y.; GE, S. Soil Fertility, Microbial Biomass, and Microbial Functional Diversity Responses to Four Years Fertilization in an Apple Orchard in North China. **Horticultural Plant Journal**, China, v. 6, p. 223-230, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.06.003>.

## APÊNDICES

### Tabelas dos resultados a níveis de coleta dentro de níveis de tratamentos com e sem lodo de esgoto

**Tabela 15.** Teores de P, K e Na no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta

Tratamentos	Sem resíduo			Com resíduo		
	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta
	P mg kg <sup>-1</sup>					
FB 1.0	18,17 a	20,59 a	12,23 b	30,24 b	39,57 a	16,47 c
FB 1.5	25,50 a	25,95 a	21,51 b	24,96 a	25,71 a	22,42 a
Controle	26,62 a	15,45 b	17,38 b	28,11 a	15,06 b	17,28 b
F	21,35 a	19,30 a	19,76 a	25,72 a	16,60 b	19,80 b
CV (%)	10,7					
	k cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					
FB 1.0	0,10 b	0,08 c	0,14 a	0,11 b	0,09 c	0,13 a
FB 1.5	0,09 b	0,08 b	0,15 a	0,10 b	0,08 c	0,16 a
Controle	0,10 b	0,07 c	0,15 a	0,12 b	0,08 c	0,16 a
F	0,10 b	0,10 b	0,19 a	0,13 b	0,10 c	0,15 a
CV (%)	9,1					
	Na cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					
FB 1.0	0,16 c	0,21 b	0,40 a	0,17 b	0,19 b	0,44 a
FB 1.5	0,17 b	0,16 b	0,46 a	0,18 b	0,16 b	0,45 a
Controle	0,15 b	0,17 b	0,46 a	0,17 b	0,16 b	0,41 a
F	0,23 b	0,16 c	0,49 a	0,17 b	0,15 b	0,47 a
CV (%)	8,7					

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula na mesma linha sem aplicação de resíduo não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%, o mesmo ocorre para os tratamentos com aplicação de resíduo. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

**Tabela 16.** Teores de Ca e Mg no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta

Tratamento	Sem resíduo			Com resíduo		
	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta
Ca cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						
FB 1.0	2,26 a	2,60 a	2,27 a	2,56 b	4,05 a	2,33 b
FB 1.5	2,15 a	2,01 a	2,20 a	3,16 ab	2,62 b	3,29 a
Controle	1,95 a	2,07 a	2,04 a	2,72 a	3,08 a	2,71 a
F	2,00 a	1,96 a	2,14 a	2,43 a	2,71 a	2,36 a
CV (%)	13					
Mg cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						
FB 1.0	0,81 b	1,78 a	0,67 b	0,34 b	1,75 a	0,49 b
FB 1.5	0,86 b	1,82 a	0,82 b	0,71 b	1,85 a	0,60 b
Controle	0,62 c	1,79 a	0,82 c	0,65 b	1,94 a	0,68 b
F	0,65 b	1,76 a	0,70 b	0,63 b	1,82 a	0,48 b
CV (%)	8,1					

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula na mesma linha sem aplicação de resíduo não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%, o mesmo ocorre para os tratamentos com aplicação de resíduo. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

**Tabela 17.** Valores de pH no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta

Tratamentos	Sem resíduo			Com resíduo		
	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta
pH H <sub>2</sub> O						
FB 1.0	5,42 b	6,26 a	6,08 a	4,97 c	7,03 a	6,01 b
FB 1.5	5,28 b	5,40 ab	5,90 a	5,62 c	6,41 b	6,96 a
Controle	5,06 b	5,58 b	6,58 a	5,59 c	6,23 b	7,64 a
F	4,72 c	5,39 b	6,04 a	5,43 b	6,03 a	5,67 ab
CV (%)	4,2					

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula na mesma linha sem aplicação de resíduo não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%, o mesmo ocorre para os tratamentos com aplicação de resíduo. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

**Tabela 18.** Concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica no solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta

Tratamentos	Sem resíduo			Com resíduo		
	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta
	COT g kg <sup>-1</sup>					
FB 1.0	6,58 a	5,71 a	6,49 a	7,50 a	5,74 b	6,25 b
FB 1.5	6,43 a	6,04 a	6,24 a	6,74 a	5,85 a	5,89 a
Controle	6,09 a	5,58 a	5,61 a	6,88 a	6,75 a	6,15 a
F	6,18 a	5,67 a	6,51 a	6,46 a	5,46 a	5,79 a
CV (%)	9,1					
	MO g kg <sup>-1</sup>					
BP 1.0	11,34 a	9,85 a	11,19 a	12,93 a	9,90 b	10,78 b
BP 1.5	11,09 a	10,41 a	10,75 a	11,62 a	10,08 a	10,15 a
Controle	10,50 a	9,63 a	9,67 a	11,87 a	11,63 a	10,61 a
F	10,65 a	9,78 a	11,22 a	11,13 a	9,41 a	9,99 a
CV (%)	9,1					

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula na mesma linha sem aplicação de resíduo não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%, o mesmo ocorre para os tratamentos com aplicação de resíduo. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

**Tabela 19.** Carbono da biomassa microbiana e respiração basal de solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta

Tratamentos	Sem resíduo			Com resíduo		
	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta
	BMS-C mg C kg <sup>-1</sup> solo					
FB 1.0	270,37 a	63,07 b	68,60 b	658,44 a	67,53 b	55,97 b
FB 1.5	272,20 a	96,04 b	63,41 b	609,80 a	125,42 b	70,82 b
Controle	430,57 a	86,58 b	77,40 b	581,75 a	83,63 b	72,52 b
F	149,31 a	79,02 a	78,77 a	674,02 a	39,03 b	60,89 b
CV (%)	25,5					
	RBS mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup>					
FB 1.0	1,56 a	0,71 b	0,56 b	1,45 a	0,82 b	0,69 b
FB 1.5	1,03 a	0,82 b	0,54 c	1,44 a	1,20 b	0,81 c
Controle	1,14 a	0,54 b	0,53 b	1,25 a	0,66 b	0,81 b
F	1,37 a	0,70 b	0,51 b	1,23 a	1,01 b	0,61 c
CV (%)	12,4					

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula na mesma linha sem aplicação de resíduo não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%, o mesmo ocorre para os tratamentos com aplicação de resíduo. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

**Tabela 20.** Valores do  $qCO_2$  e do  $qMIC$  de solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto no cultivo da banana Pacovan em diferentes períodos de coleta

Tratamentos	Sem resíduo			Com resíduo		
	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta
$qCO_2$ (mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> BMS-C h <sup>-1</sup> )						
FB 1.0	0,08 c	0,26 a	0,17 b	0,05 b	0,28 a	0,24 a
FB 1.5	0,07 b	0,21 a	0,21 a	0,05 b	0,23 a	0,24 a
Controle	0,07 b	0,16 a	0,13 a	0,05 c	0,17 b	0,23 a
F	0,07 c	0,28 a	0,17 b	0,04 c	0,65 a	0,27 b
CV (%)	17,1					
$qMIC$ %						
FB 1.0	3,42 a	1,31 b	0,88 b	8,89 a	1,23 b	0,92 b
FB 1.5	5,06 a	1,57 b	1,02 b	8,83 a	2,43 b	1,65 b
Controle	7,69 a	1,56 b	0,98 b	9,77 a	1,52 b	1,17 b
F	4,54 a	1,46 b	1,21 b	12,65 a	0,63 b	0,76 b
CV (%)	19,3					

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula na mesma linha sem aplicação de resíduo não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%, o mesmo ocorre para os tratamentos com aplicação de resíduo. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); 2ª coleta (ciclo completo da planta mãe); 3ª coleta (2 anos após o plantio).

**Tabela 21.** Concentrações de N, P e K na folha (Limbo foliar) de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto em diferentes períodos de coleta

Tratamentos	Sem resíduo		Com resíduo	
	1ª coleta	Período residual	1ª coleta	Período residual
$N-NH_4$ g kg <sup>-1</sup>				
FB 1.0	16,03 b	18,18 a	13,16 a	15,16 a
FB 1.5	16,78 a	18,31 a	17,62 a	18,08 a
Controle	13,86 b	17,36 a	15,40 a	15,56 a
F	13,13 a	15,03 a	12,74 b	17,22 a
CV (%)	9,6			
$P$ g kg <sup>-1</sup>				
FB 1.0	3,65 a	1,50 b	3,62 a	1,50 b
FB 1.5	4,03 a	1,55 b	2,63 a	1,55 b
Controle	2,79 a	1,53 b	2,45 a	1,50 b
F	2,75 a	1,62 b	2,50 a	1,50 b
CV (%)	14,9			
$K$ g kg <sup>-1</sup>				
FB 1.0	29,67 a	10,72 b	36,32 a	8,40 b
FB 1.5	29,03 a	11,65 b	28,82 a	12,63 b
Controle	28,07 a	8,63 b	28,39 a	11,54 b
F	32,89 a	12,55 b	37,50 a	12,81 b
CV (%)	7,8			

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula na mesma linha sem aplicação de resíduo não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%, o mesmo ocorre para os tratamentos com aplicação de resíduo. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); Período residual (2 anos após o plantio).

**Tabela 22.** Concentrações de Ca e Mg na folha (Limbo foliar) de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto em diferentes períodos de coleta

Tratamentos	Sem resíduo		Com resíduo	
	1ª coleta	Período residual	1ª coleta	Período residual
	Ca g kg <sup>-1</sup>			
FB 1.0	31,03 b	48,62 a	38,78 a	34,52 b
FB 1.5	34,60 b	45,96 a	41,57 a	41,05 a
Controle	38,38 b	47,23 a	43,43 a	44,87 a
F	36,57 b	46,13 a	42,15 b	44,97 a
CV (%)	5,2			
	Mg g kg <sup>-1</sup>			
FB 1.0	4,46 a	4,07 a	4,16 a	3,84 a
FB 1.5	4,38 a	4,23 a	4,65 a	4,16 a
Controle	4,39 a	4,51 a	4,19 a	4,54 a
F	3,68 b	4,22 a	4,46 a	3,45 b
CV (%)	8,3			

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula na mesma linha sem aplicação de resíduo não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%, o mesmo ocorre para os tratamentos com aplicação de resíduo. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); Período residual (2 anos após o plantio).

**Tabela 23.** Massa seca da folha de banana Pacovan cultivada em solo tratado com fertilizante biológico e lodo de esgoto em diferentes períodos de coleta

Tratamentos	Sem resíduo		Com resíduo	
	1ª coleta	Período residual	1ª coleta	Período residual
	MSF g			
FB 1.0	65,87 b	91,36 a	75,39 a	80,08 a
FB 1.5	66,13 b	98,04 a	71,33 b	87,08 a
Controle	48,27 b	89,20 a	75,43 a	80,46 a
F	64,47 b	82,30 a	64,26 b	87,21 a
CV (%)	7,2			

Para cada coleta os tratamentos com a mesma letra minúscula na mesma linha sem aplicação de resíduo não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5%, o mesmo ocorre para os tratamentos com aplicação de resíduo. FB1.0= fertilizante biológico na dose 100%; FB1.5= fertilizante biológico na dose 150%; F= fertilizante solúvel. 1ª coleta (6 meses após o plantio); Período residual (2 anos após o plantio).