

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – *CAMPUS* CASCAVEL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**BIOINDICADORES DE SOLO CULTIVADO COM PINHÃO-MANSO SUBMETIDO A  
APLICAÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUÍNOS (ARS)**

**LUANA PATRICIA PINTO**

**CASCAVEL – PARANÁ – BRASIL**

**2019**

**LUANA PATRÍCIA PINTO**

**BIOINDICADORES DE SOLO CULTIVADO COM PINHÃO-MANSO SUBMETIDO A  
APLICAÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUÍNOS (ARS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Elisandro Pires Frigo

Coorientador: Profa. Dra. Luciana Grange

CASCADEL – PARANÁ – BRASIL

2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Pinto, Luana Patrícia

Bioindicadores de solo cultivado com pinhão-manso submetido a aplicações de água residuária de suínos (ARS) / Luana Patrícia Pinto; orientador(a), Elisandro Pires Frigo; coorientador(a), Luciana Grange, 2019.

72 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2019.

1. adubação orgânica. 2. biomassa. 3. carbono. 4. rizobactérias. I. Frigo, Elisandro Pires. II. Grange, Luciana. III. Título.

**LUANA PATRÍCIA PINTO**

Bioindicadores de solo cultivado com pinhão-manso submetido a aplicações de Água Residuária de Suínos (ARS)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, linha de pesquisa Recursos Hídricos, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



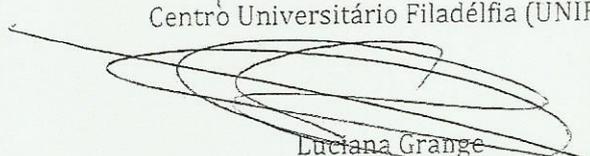
Orientador(a) - Elisandro Pires Frigo

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



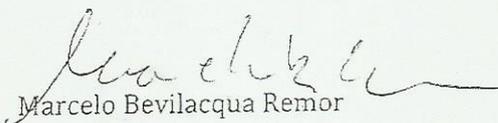
Higo Ferlan Amaral

Centro Universitário Filadélfia (UNIFIL)



Luciana Grange

Universidade Federal do Paraná (UFPR)



Marcelo Bevilacqua Remor

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Marcio Antonio Vilas Boas

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 18 de fevereiro de 2019.

## **BIOGRAFIA**

Luana Patrícia Pinto nasceu em 01 de julho de 1994, na cidade de Quedas do Iguaçu, Paraná, Brasil. Formou-se em Ciências Biológicas – Bacharelado pela Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, tendo cursado no período de 2013 a 2017. Estagiou no laboratório avícola da Cooperativa CVale no ano de 2015, auxiliando nas análises microbiológicas de controle de carne de aves. Estagiou no laboratório de biotecnologia vegetal e de solos da Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, sob orientação da Profa. Dra. Luciana Grange, onde adquiriu experiências com práticas de preparo de meios de cultivo, isolamento bacteriano, métodos de inoculação, obtenção de atributos biológicos do solo, estudos de BPCV e biocontrole de fitopatógenos. Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI) na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Campus Cascavel, no primeiro semestre de 2017 como aluna regular do mestrado na área de concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, sob orientação do Professor Dr. Elisandro Pires Frigo, com bolsa de estudos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

*“A vida começa a cada manhã”.*

*Joel Olsteen*

*Este trabalho é dedicado à minha família, que sempre me apoiou e foi meu alicerce: meu pai, Claudedir, minha mãe, Nelci, meu irmão, Lucas, e meu companheiro, Ângelo.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por permitir com que eu desempenhasse este trabalho da melhor maneira possível com fé, foco e determinação;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES;

Aos meus pais, Nelci e Claudécir, por terem me dado o melhor deles: a vida. Por todo o ensinamento que serviu de base para enfrentar todas as adversidades da vida;

Ao meu companheiro, Ângelo, por toda a paciência e o suporte;

À minha companheira de residência, Jhéssica, por toda a reflexão nas madrugadas de insônia, o suporte e a paciência ao longo de toda a criação de ideias “micro-botânica”;

Ao meu professor e orientador Prof. Elisandro Pires Frigo, a quem admiro pela pessoa e profissional que é, que me recebeu de braços abertos, dando todo o suporte e o apoio nas adversidades ao longo desses dois anos, agradeço pela amizade e pelo auxílio;

À minha professora e coorientadora Profa. Luciana Grange, a mulher mais extraordinária, compreensiva e amiga, agradeço por ter me adotado e aceitado essa jornada, agradeço por ter cedido não só o laboratório para o desenvolvimento da pesquisa, mas também todas as tardes que “perdemos” refletindo e viajando em todas as possibilidades que este trabalho nos propôs, minha “mãe acadêmica”;

Aos professores Marco Antônio Bacellar Barreiros e Higo Forlan Amaral, pelo auxílio com a estatística e as correções;

Aos meus colegas do Fixtec e do Labhea, por todo o apoio principalmente a campo, o qual foi imprescindível para a conclusão deste trabalho;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* Cascavel;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola;

À Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO GERAL.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT GERAL.....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
3.1. Produção suinícola no Brasil.....	4
3.2. Adubação orgânica.....	5
3.3. Pinhão-manso.....	8
3.4. Bioindicadores da qualidade do solo.....	10
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>15</b>
<b>5. ARTIGO (S).....</b>	<b>22</b>
5.1. ARTIGO 1. - ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DE UM SOLO CULTIVADO COM PINHÃO-MANSO SUBMETIDO A APLICAÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUÍNOS (ARS).....	22
5.2. ARTIGO 2. - PERFIL DA COMUNIDADE MICROBIANA DE UM SOLO AO LONGO DE SUCESSIVAS APLICAÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUÍNOS (ARS).....	40
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

Tabela 1	Caracterização química das águas residuárias utilizadas na primeira (ARS 1), segunda (ARS 2) e terceira (ARS 3) aplicação sob a área experimental cultivada com pinhão-manso, Palotina/PR.....	26
Tabela 2	Atributos microbianos de Latossolo vermelho sob cultivo de pinhão-manso e aplicação de diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS).....	27

### ARTIGO 2

Tabela 1	Agrupamentos morfológicos obtidos após a caracterização baseada na tipagem morfológica estabelecida pela análise por categoria através do algoritmo UPGMA utilizando o Programa Bionumerics 7.5.....	47
Tabela 2	Efeito da aplicação das diferentes dosagens de AR de suínos (ARS) na hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA).....	51
Tabela 3	Permanova dos atributos biológicos estudados em relação aos diferentes períodos de coletas.....	52

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

- Figura 1 Localização da área experimental situado no Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo (CAEAAC), Palotina/PR.....25
- Figura 2 (2a) Análise de regressão para o carbono da biomassa microbiana (CBM), (2b) respiração basal do solo (RBS), (2c) quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e (2d) quociente microbiano (D) de Latossolo vermelho sob cultivo de pinhão-manso e aplicação de diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS).....29
- Figura 3 Análise de componentes principais (ACP) para atributos microbiológicos do solo obtidos de uma área experimental sob o cultivo de pinhão-manso na região Oeste do Paraná o qual foi submetido a sucessivas aplicações com diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS), sendo T1 (Testemunha), T2 ( $40\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ), T3 ( $80\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ), T4 ( $120\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ), T5 ( $160\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ) e T6 ( $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ).....31
- Figura 4 Relação do carbono da biomassa microbiana (CBM) e teores de matéria orgânica (MO) de Latossolo vermelho sob cultivo de pinhão-manso e aplicação de diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS).....32

### ARTIGO 2

- Figura 1 Gráfico de precipitação e temperatura da região de Palotina/PR do período de 2017 a 2018.....44
- Figura 2 Diagrama dos períodos de coleta na área experimental com o cultivo de pinhão-manso, Palotina/PR. Onde: C1 a C5 refere-se as coletas realizadas; ARS 1 e ARS 2 referem-se as distintas aplicações feitas.....45
- Figura 3 Dendograma de similaridade obtido pela distância euclidiana através do algoritmo UPGMA com 0,9166 de correlação cofenética pelo método de bootstrap com 1000 repetições, representando a relação dos agrupamentos morfológicos entre si.....48
- Figura 4 Índice de Shannon e de Dominância obtidos para os tempos de coleta de solo submetido a duas aplicações sucessivas e programadas de ARS na cultura do pinhão-manso (C = coletas).....49
- Figura 5 Análise de componentes principais (ACP) para atributos biológicos do solo obtidos de uma área experimental sob o cultivo de pinhão-manso na região Oeste do Paraná o qual foi submetido a sucessivas aplicações com diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS), sendo C1 (Coleta 1 no tempo 0), C2 (Coleta 2 10 dias após ARS 1), C4 (Coleta 3 50 dias após ARS 1), C4 (Coleta 4 10 dias após ARS 2) e C5 (Coleta 5 50 dias após ARS 2).....53

# BIOINDICADORES DE SOLO CULTIVADO COM PINHÃO-MANSO SUBMETIDO A APLICAÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUÍNOS (ARS)

## RESUMO

A produção agrícola no Oeste do Paraná é uma das mais importantes no Brasil, aliando produção animal e vegetal altamente produtiva e exportadora de commodities como soja e carne suína; dessa maneira, é emergente o constante monitoramento e aperfeiçoamento do manejo e qualidade dos solos. O aproveitamento das águas residuárias (AR) como composto é uma alternativa importante para seu reaproveitamento, sendo ambientalmente correta, evitando danos ambientais, melhorando custos de cadeia produtiva e, principalmente, podendo favorecer o produtor agrícola na reciclagem de nutrientes do solo. No entanto, há necessidade de adequação e mensuração da dinâmica dessa reciclagem. Para isso, a aferição da comunidade microbiana do solo e seus atributos contribui relevantemente para identificar quais alterações dos nutrientes ocorrem, pois correspondem à última etapa da decomposição orgânica no solo. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi definir, por meio de atributos microbiológicos como densidade, diversidade e atividade metabólica da microbiota do solo, uma dose de AR adequada. Também objetivou-se verificar as alterações na comunidade microbiana para possíveis parâmetros de manejo de nutrientes no solo e sua capacidade de suporte da carga orgânica desses tipos de resíduo. A classe do solo deste estudo foi Latossolo vermelho da região Oeste do Paraná, município de Palotina, cultivado há 12 anos com pinhão-manso, submetidos a adubação bianual com AR suínos (ARS). O delineamento experimental foi de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições com diferentes doses de aplicação de AR (0, 40, 80, 120, 160 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), sendo feitas três aplicações ao longo do ano de 2018. Os atributos microbiológicos do solo avaliados foram: contagem das unidades formadoras de colônias (UFC) de bactérias, tipagem morfológica bacteriana, carbono da biomassa microbiana (CBM), RB do solo (RBS), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), quociente microbiano (qMIC) e atividade enzimática por metodologia de FDA. Alterações foram detectadas no perfil e nos atributos funcionais da comunidade microbiológica dos solos submetidos a ARS. De maneira geral, até a dose 160 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a CBM, o qMIC e a FDA apresentaram valores crescentes, os valores de RBS se alteram, mas discretamente, enquanto o qCO<sub>2</sub> demonstrou alto estresse ambiental na dose 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Tal fato foi reforçado pelos índices de Shannon e de dominância, em que foi constatada redução de H' na dose 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. O perfil dos valores de densidade, diversidade e funcionalidade enzimática bacterianas obtidos para as distintas coletas ao longo de um período escolhido durante o processo de sucessivas aplicações de ARS demonstram que houve a introdução de novos indivíduos e que estes reforçaram os grupos dos resilientes do solo. Os valores de qCO<sub>2</sub>, conseguiram revelar que a alteração estrutural promovida pelas aplicações das ARS ainda não está prejudicando as atividades metabólicas, pelo menos dos grupos funcionais envolvidos nas atividades de decomposição e conversão de carbono. Os atributos microbiológicos apontam que a dose ideal da ARS testadas para uso como adubo agrícola é a de 110 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; no entanto, ganhos agronômicos positivos com manutenção ecológica foram alcançados em outras concentrações até 160 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, sendo esta a dose limite para a capacidade suporte do solo. Os valores obtidos ao longo das coletas apontam que, com o tempo, os solos submetidos à dose mais adequada tendem a estabelecer um novo perfil, reequilibrando as atividades metabólicas da comunidade. Sugere-se, portanto, que estes estudos sejam extrapolados e continuamente aplicados em outros tipos de solos e cultivos, para que seja inserido em recomendações agronômicas para produção vegetal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adubação orgânica, biomassa, carbono, rizobactérias.

## SOIL BIOINDICATORS CULTIVATED WITH *JATROPHA* sp. SUBMITTED TO APPLICATION OF WASTEWATER SWINE (SW)

### ABSTRACT

Agricultural production in the West of Paraná is one of the most important in Brazil, combining highly productive animal and vegetable production, as well as exportation of commodities such as soybean and pork. Thus, the constant monitoring and improvement of soil management and quality is increasing. The utilization of wastewater as a fertigation compound is an important alternative for its reuse, being environmentally correct, preventing environmental damage, improving production chain costs, and, mainly, allowing the agricultural producer to recycle soil nutrients. However, there is a need for adequacy and measurement of this recycling dynamics and, for that, assessment of the soil microbial community and its attributes contributes significantly to identify which nutrient changes, since they correspond to the last stage of organic decomposition in soil. In this context, the aim of this study was to define, through microbiological attributes such as density, diversity, and metabolic activity of the soil microbiota, an adequate dosage of AR. In addition, the goal was verify the changes in the microbial community for possible nutrient management parameters in soil and their capacity to support the organic load of these types of residue. The soil class was Red Latosol of the Western region of Paraná, municipality of Palotina, cultivated for 12 years with *Jatropha* sp., submitted to biannual adubation with swine wastewater (ARS). The experimental design was a randomized block with six treatments and four repetitions with different doses of AR (0, 40, 80, 120, 160, and 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), three applications were carried out during 2018. The microbiological attributes of the soil were: counting of bacterial colony forming units (UFC), bacterial morphological typing, microbial biomass carbon (CBM), soil RB (RBS), metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>), microbial quotient (qMIC), and enzymatic activity by FDA methodology. Changes were detected in the profile and functional properties of the microbiological community of soils submitted to ARS. In general, up to the dose of 160 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, CBM, qMIC, and FDA shows increasing values, RBS values change, but discretely while qCO<sub>2</sub> showed high environmental stress at dose 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. This fact was reinforced by the Shannon and dominances indices, where it was observed a reduction of H' in the dose 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. The profile of the values of bacterial density, diversity and enzymatic functionality obtained for the different samplings during a chosen period along the process of successive applications of ARS, showed that the introduction of new individuals and that these reinforced the groups of soil resilient. The values of qCO<sub>2</sub> were able to reveal that the structural alteration promoted by the applications of the ARS, still not harming the metabolic activities, at least not for the functional groups involved in the activities of decomposition and conversion of carbon. The microbiological attributes indicate that the ideal tested ARS dose for use as agricultural fertilizer is 110 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; however, positive agronomic gains with ecological maintenance were achieved in other concentrations up to 160 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, which is the limiting dose for soil support capacity. The values obtained during the samplings indicate that, over time, the soils submitted to the most adequate dose tend to establish a new profile, rebalancing the metabolic activities of the community. It is suggested, therefore, that these studies be extrapolated and continuously applied in other types of soils and crops, so that it is inserted in agronomic recommendations for plant production.

**KEY WORDS:** Organic fertilizers, biomass, carbon, rhizobacteria.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é considerado o terceiro maior produtor de carne do mundo. A cadeia suinícola se destaca no Sul do país, sendo o Paraná (PR) o detentor do maior rebanho nacional. A principal região produtora é o Oeste do estado, tendo como principais núcleos as cidades de Cascavel e Toledo, que juntas detêm cerca de 65% do valor bruto de toda a produção paranaense.

A busca pelo aumento da produção de carne tem levado o agronegócio a estabelecer manejos intensivos de produção baseados no confinamento de animais. O manejo intensivo de suínos tem se tornado não só uma alternativa para o aumento da produção em quilos de carne por animal, mas também para a obtenção de um produto de melhor qualidade nutricional sob condições de sanidade mais seguras. Neste tipo de sistema, a água não é só importante para o consumo direto do animal, mas também para a manutenção da limpeza dos locais de criação.

O ônus ambiental deste tipo de manejo, é creditado ao produtor ao longo da cadeia produtiva. Portanto, manejos agrícolas que favorecem o uso adequado e planejado de compostos orgânicos, por exemplo, como adubo, vêm corroborando com a destinação correta de águas residuárias (AR), mitigando o impacto da produção confinada de animais, que se apresenta como uma solução para ambos os problemas, pois visa a reutilização da água e o aproveitamento do resíduo como nutrientes.

A adubação orgânica permite a entrada dos compostos essenciais à rizosfera de forma mais rápida, pois estes já se encontram dissolvidos, sendo facilmente incorporados na solução do solo. A AR é considerada um componente duas vezes mais vantajoso do que qualquer outro resíduo orgânico – biofertilizante, que possa ser adicionado ao solo, por fornecer nutrientes e água.

A AR da produção suinícola, se direcionada ao ambiente sem nenhum monitoramento, pode ocasionar contaminação microbiológica dos produtos agrícolas, do solo e do lençol freático, acumulação de elementos tóxicos, desequilíbrio de nutrientes, salinização e impermeabilização do solo. Sendo assim, a obtenção de valores que consigam refletir, de forma preventiva, alterações positivas e negativas deste manejo de adubação no solo, têm se tornado fundamental para melhorar a eficiência dos sistemas do ponto de vista agrônomo e ambiental.

A biota do solo (micro, meso e macrorganismos) e as raízes das plantas, constituem a fração viva e mais ativa da MO (MO) do solo. Os microrganismos edáficos estão diretamente implicados com o funcionamento físico e nutricional do solo e são os responsáveis por todas as transformações biogeoquímicas que nele acontecem. Devido à atividade microbiana

concentrar-se nas camadas mais superficiais do solo, estes seres são os primeiros a terem sua estrutura e atividade metabólica modificada quando este sofre uma interferência.

Estas práticas, combinadas com outros atributos como o carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico ( $qCO_2$ ), permitem o embasamento da elaboração de medidas preventivas a fim de promover práticas sustentáveis com base no manejo conservacionista. O emprego destes parâmetros de solo se faz importante diante da necessidade de se comprovar a segurança ecológica de um resíduo, composto ou produto orgânico/biológico empregado para uso em sistemas produtivos.

A aplicação de água residuária de suínos tem sido um manejo bastante recomendado em sistemas de baixa exigência nutricional e/ou conduzidos em solos pobres em água e nutrientes. Também tem sido uma boa opção econômica no uso como adubos em culturas de baixa tecnologia, mas que precisam alcançar performances agrícolas para competirem nos diferentes mercados. Neste contexto, a escolha da cultura do pinhão-manso [*Jatropha curcas* (L.)] como modelo de estudo se faz pertinente devido a sua capacidade de capturar carbono (C) e acumular na forma de biomassa e uma cultura de interesse na produção alternativa de energia (biodiesel).

Diante do panorama exposto, a aplicação de ARS em culturas perenes, como o pinhão-manso, reduz dos custos de produção dentro de uma premissa sustentável. O monitoramento da qualidade e do manejo da AR a partir de bioindicadores se faz necessário e constante para acompanhar se a AR e seus subprodutos interferem, de forma positiva ou negativa, na estrutura da microbiota do solo e suas atividades biológicas. Sendo assim, hipotetiza-se que a aplicação de ARS seja uma fonte de nutrientes altamente recomendada para culturas captadoras de C, porém seu manejo precisa adequar-se quanto à capacidade suporte química e biológica do solo para que esta proposta não somente seja para obter ganhos econômicos do descarte de resíduo, mas para que, de fato, permita alcançar a sustentabilidade do agroecossistema como um todo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O presente trabalho definiu, por meio de atributos microbiológicos como densidade, diversidade e atividade metabólica da microbiota do solo, uma dose de água residuária de suínos adequada para adubação orgânica de uma área cultivada há 12 anos com pinhão-manso. Também verificou as alterações na comunidade microbiana para possíveis parâmetros de manejo de nutrientes no solo e sua capacidade de suporte da carga orgânica desses tipos de resíduo.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar os atributos microbiológicos de solo submetido a diferentes doses de água residuária de suínos (ARS), a fim de identificar a dose agrônômica e ecológica viável para recomendação de aplicação com água residuária;
- Investigar a densidade e a diversidade da comunidade bacteriana em relação aos atributos biológicos de solo sob cultivo de pinhão-manso e diferentes doses de água residuária de suínos (ARS).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Produção suinícola no Brasil

Assim como outras cadeias produtivas, a suinocultura está em constante expansão, alcançando níveis produtivos recordes e liderando pesquisas de produtividade. Atualmente, dentro do panorama mundial, a China é a maior produtora de carne de suína (48%), creditando ao Brasil a quinta posição (USDA, 2017). Dentro do mercado brasileiro, o estado do Paraná se destaca com cerca de 17,7% de todo o rebanho nacional, ultrapassando Santa Catarina (16,8%) e Rio Grande do Sul (14,7%) (TURRA, 2017). De acordo com relatórios da Gervásio (2017), em 2016, no Paraná, foram abatidos cerca de 21% de toda a produção nacional.

A produção no estado está concentrada na região Oeste, onde a soma do valor bruto dos principais núcleos (municípios de Toledo e Cascavel) corresponde a 65%. Nas regiões produtoras, o crescimento do mercado tem refletido diretamente no aumento de empregos onde, só no estado do Paraná, são promovidos mais de 200.000 empregos diretos e 300.00 indiretos, que na sua maioria estão concentrados em pequenas e médias propriedades (GERVÁSIO, 2017).

Carvalho e Viana (2011) destacam que os sistemas de criação de suínos se diferenciam quanto ao manejo e podem ser classificados em: sistema extensivo ou à solta; sistema semiextensivo; sistema intensivo de suínos criados ao ar livre (Siscal) e sistema intensivo de suínos confinados (Siscon). Além disso, eles podem ser classificados como convencionais ou orgânicos.

Atualmente, para atender um mercado cada vez mais dinâmico e exigente, a cadeia brasileira produtora de suínos tem se organizado de forma integrada, a fim de oferecer produtos com maior padrão de qualidade. Neste contexto, para a etapa de criação, a grande preocupação é produzir de forma a garantir segurança sanitária, bem-estar animal e destino adequado dos rejeitos (DIONE et al., 2014).

O Siscon tem sido o sistema mais adotado pela maioria dos produtores, pois o aumento do ganho de peso dos suínos ocorre em menor tempo. Para tanto, os animais são confinados em espaço reduzido e são mantidos com rações adequadas a cada fase. O manejo sanitário é exercido com mais rigor e cada atividade é previamente planejada. Nesse sistema, conta-se com assistência técnica, mão de obra especializada e melhoramento genético com a finalidade de otimizar a produção. As desvantagens desse tipo de criação são os altos custos – maior custo fixo e capital imobilizado –, os impactos ambientais e o bem-estar animal (CARVALHO; VIANA, 2011).

A criação deste sistema de confinamento foi baseada na disponibilidade brasileira de recursos como a extensão de terras disponíveis, a oferta de água, a capacidade de produção de grãos e principalmente devido ao avanço tecnológico na área do melhoramento genético.

Portanto, é graças a este sistema que a cada ano que passa a produção de carnes aumenta consideravelmente (SEIDEL et al., 2010). Contudo, segundo Frigo et al. (2015), com o aumento da produção animal por unidade área em escala industrial, ocorre uma intensa produção de dejetos nas propriedades rurais, resultando em um acúmulo de resíduos, sendo este ônus de responsabilidade dos produtores.

Devido a esse grande volume de dejetos gerados, a suinocultura é considerada uma atividade de alta capacidade poluidora ambiental, graças à quantidade de contaminantes que, se destinados sem nenhum tipo de tratamento prévio, pode ocasionar consequências graves ao ambiente (REZANIA et al., 2015). Geralmente esses animais não têm capacidade de metabolizar todos os nutrientes que são fornecidos em sua alimentação, sendo então descartados através das fezes e urina (NOOROLLAHI et al., 2015).

Segundo Konzen (2003), a quantidade de dejetos produzidos depende diretamente do porte dos animais, fase reprodutiva e manejo, o que inclui fatores como: acomodação dos animais, tipo de bebedouros, inclinação do terreno, nutrição animal, métodos de limpeza da instalação além das características edafoclimáticas da região. Estes rejeitos têm como constituintes, basicamente: fezes, urina, água usada na higienização, resto de ração, pelos, poeira e outros materiais utilizados no manejo das baias (NOOROLLAHI et al., 2015).

Considerando estas informações, é necessário destinar corretamente os resíduos gerados na suinocultura pois seu acúmulo resulta na exaustão de muitos recursos naturais e na necessidade de rever o modelo implementado (PLEISSNER; RUMPOLD, 2017). Dessa maneira, discussões em relação ao tema desenvolvimento sustentável só aumentam, buscando alternativas viáveis para o destino correto. Um uso comum é nas lavouras, uma vez que geralmente produtores de carne suína são também produtores de grãos e realizam o descarte desses resíduos nas plantações, devido a sua alta carga de nutrientes.

### **3.2 Adubação orgânica**

A adubação orgânica é basicamente a utilização de resíduos de origem vegetal, animal e/ou agroindustrial que tem como meta o aumento da produtividade (ZANDONADI et al., 2014). Do ponto de vista ambiental, a utilização de produtos oriundos de resíduos orgânicos previamente tratados tem grande contribuição para o saneamento ambiental, pois estimula a conservação e a biodiversidade do solo, promovendo o seu equilíbrio, além de reduzir o acúmulo de rejeitos tóxicos no ambiente (COUTO et al., 2013).

O resíduo orgânico é classificado a partir da sua consistência, que pode ser sólido, semissólido e líquido. Devido ao manejo confinado, empregado na maioria das instalações suinícolas brasileiras, o rejeito é gerado na forma líquida, conhecido como água residuária. A produção deste tipo de composto orgânico vem ocasionando grandes problemas ambientais,

devido a maior capacidade de atingir os leitos dos rios por causa da sua mobilidade causando eutrofização dos mananciais (URBANO et al., 2015).

Por outro lado, a AR é uma ótima fonte de nutrientes e minerais como nitrogênio, cálcio, fósforo, potássio, magnésio, dentre outros componentes essenciais para as atividades metabólicas, fato que estimula a adesão de muitos produtores, não só pelas vantagens nutricionais, mas principalmente econômicas devido ao aumento significativo na produtividade em diversas culturas (SEIDEL et al., 2010; CAPAZ; NOGUEIRA, 2014; SILVA et al., 2014).

As plantas incorporam os nutrientes advindos da aplicação de ARS com maior facilidade devido, basicamente, a dois fatores: a presença de elementos de menor complexidade, sendo, portanto, assimilados mais rapidamente através das paredes dos tecidos radiculares; e o estado líquido, que, auxilia na mobilidade dos elementos menos complexos e propicia a condição soluta para que os compostos mais complexados sejam decompostos enzimaticamente para se tornarem disponíveis (SHAER-BARBOSA; SANTOS; MEDEIROS, 2014; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Segundo Figueiredo e Tamanati (2010) e Reznik et al. (2017), o uso de AR como adubo orgânico é ecologicamente e economicamente mais sustentável a médio e longo prazos diante de outros métodos de descarte desses resíduos, como incineração e transporte até lixões. Vários exemplos podem ser observados em relação aos benefícios da adubação orgânica para o solo. Lourenzi et al. (2013) observaram um aumento crescente de N de até 88% nas camadas superficiais após sucessivas aplicações de dejetos suínos, assim como em Adeli et al. (2008), que constataram aumento de N em sua pesquisa após 15 anos de aplicações.

Além de proporcionar vantagens econômicas no quesito produtividade, a AR também apresenta benefícios quando se trata sobre uso e desuso consciente da água. Frente aos problemas de escassez de água doce no mundo, o reaproveitamento desse bem é essencial para promover a manutenção da disponibilidade aquífera nos próximos anos.

Conceitualmente, entende-se por reuso de água como o reaproveitamento das águas já utilizadas previamente em alguma outra atividade como na higienização de instalações de confinamento de suínos, visando, assim, suprir necessidades posteriores, como a demanda nutricional pelas culturas (DING, 2017).

O uso de água residuária de suínos (ARS) como adubo orgânico permite a inserção de nutrientes no solo para uso da planta, disponibilizando macro e micronutrientes antecipados, fato que ocorre pela dissolução prévia dos minerais em solução aquosa permitindo a chegada antecipada na rizosfera. É uma prática que aumenta a eficiência dos nutrientes aplicados, reduz a mão de obra e custos com maquinários, além de permitir uma maior flexibilidade em relação ao tempo de aplicação, pois não há necessidade de esperar pelas condições edafoclimáticas ideais (KUMAR et al., 2017).

Outra vantagem da utilização das águas residuárias na agricultura é evitar a descarga de efluentes em corpos hídricos, como rios e lagos, próximos às propriedades, que geralmente são destinos usuais, promovendo a manutenção da qualidade ambiental e evitando os principais problemas gerados pelo descarte incorreto desses resíduos (SINGH; DESHBHRATAR; RAMTEKE, 2012; URBANO et al., 2015).

Portanto, a água residuária de suínos (ARS), quando utilizada de maneira equilibrada, na dosagem e na quantidade ideais, traz muitos benefícios. Primavesi (1992), há 25 anos, já identificou a melhora das propriedades do solo e do ambiente para a macro e microfauna. Outros trabalhos, como os de Scheffer-Basso et al. (2008) e Cunha et al. (2011), relatam que após a realização do manejo do solo com aplicação de água residuária (ARS) houve um aumento significativo na matéria orgânica, assim como uma melhora na estrutura do solo como na infiltração da água, capacidade de troca catiônica, umidade e solubilização de compostos como ferro e zinco.

Notaro et al. (2012), Sousa et al. (2014), Moura et al. (2016) e Balota (2017) confirmaram em seus trabalhos que a adição de AR em áreas cultivadas tem efeito direto na comunidade microbiana, ocasionando, após um período, o restabelecimento da microbiota do solo. Em Capaz e Nogueira (2014), foi observado um aumento da resistência das plantas, permitindo melhora nos mecanismos de defesas contra patógenos.

Para evitar complicações referentes ao mal manejo, pesquisas devem ser desenvolvidas a fim de identificar como, quando e quanto dessa AR deve ser aplicada (SOUZA et al., 2015). Além disso, a identificação das melhores doses para cada cultura especificamente é essencial para evitar contaminação e lixiviação do solo.

Neste contexto, Lourenzi et al. (2013) ressaltam que todo o resíduo orgânico utilizado, inclusive diluído, deve ser avaliado em parâmetros qualitativos. Quando efetuado o uso incorreto, podem ocorrer consequências desastrosas, como a diminuição de macroporos do solo devido ao selamento superficial ocasionado pelo excesso de rejeito, dificultando a infiltração e as trocas gasosas do solo; além de promover a salinização do solo devido à alta concentração de alguns minerais (MATOS et al., 1997).

O seu potencial poluidor encontra-se na alta DBO (demanda bioquímica de carbono), isto é, resíduos advindos da suinocultura, principalmente, têm alta carga de matéria orgânica (MO) devido a sua origem, sendo que essa alta concentração de compostos pode ocasionar a eutrofização de rios e lençóis freáticos pelo processo de lixiviação do solo (SAMPAIO et al., 2010). O trabalho de Lourenzi et al. (2013) constatou contaminação de potássio (K) e fósforo (P) em uma profundidade de até 60 cm, o que reforça a necessidade de estudos referente a melhor dosagem, período e tempo de aplicação.

A adubação com ARS é uma prática bastante difundida em algumas culturas perenes devido à praticidade na instalação e ao beneficiamento hídrico e nutricional. Silva et al. (2011) realizaram um trabalho com pinhão-manso e identificaram o incremento no número e na área

foliar, aumento do diâmetro do caule e na altura das plantas. Outro trabalho com a mesma cultura verificou o aumento na massa de 100 sementes após o uso de ARS, refletindo diretamente no aumento do óleo extraído (SOUSA et al., 2011).

Ribeiro et al. (2012) também identificaram um incremento na altura e no diâmetro do caule da mamoneira quando irrigada com ARs oriundas de esgoto doméstico, tornando-a mais resistente a pragas. Portanto, é possível destacar que o uso de ARS é uma prática extremamente vantajosa do ponto de vista nutricional e aquícola; contudo, assim como qualquer outro tipo de adubação orgânica, medidas preventivas devem ser tomadas para evitar a contaminação do meio ambiente.

Desta forma, antes da execução de qualquer manejo, é necessário o tratamento prévio desses dejetos suínos, pois são compostos que podem conter metais pesados, alta carga de nutrientes e agentes patogênicos para a saúde humana e animal. Quando utilizado em pastagens, neste caso, há normativas específicas, como a SDA nº 25 de 23 de julho de 2009, que proíbe o pastejo de ruminantes em até 40 dias após a aplicação de qualquer composto orgânico animal. Para se evitar esse tipo de problema, todo resíduo deve passar por um tratamento antes do descarte nas lavouras. Existem vários processos, dentre os mais comuns estão a biodigestão, a compostagem e as lagoas de estabilização (SAHKIR; ZAHRAW; AI-OBAIDY, 2017).

A OMS (Organização Mundial da Saúde – WHO, World Health Organization) destaca que é importante a qualidade desses efluentes utilizados na irrigação, não só químicos (metais pesados), mas também biológicos para evitar a propagação de patógenos. Segundo WHO (2006), recomenda-se que esses resíduos tenham em sua composição menos de  $10^3$  NMP (Número Mais Provável) por 100 mL de coliformes termo-tolerantes e menos que 1 ovo de nematoide por litro.

Para Pereira (2011), para realizar recomendações de adubação orgânica, as pesquisas devem ser regionais, pois o tipo de solo, precipitações do local, época de plantio e quantidade de resíduos alteram todas as características do rejeito, interferindo diretamente na sua dose. Assim, denota-se que o uso de ARS no sistema solo-planta deve ser feito a partir de critérios agronômicos e ambientais, pois quando executados sem nenhum planejamento, a contaminação do solo, das águas superficiais e das plantas é inerente; todavia, se bem delineado os benefícios são extremamente significativos (FUESS; GARCIA, 2014).

### **3.3 Pinhão-Manso**

O pinhão-manso é uma planta pertencente à família Euphorbiaceae, considerada bastante rústica e de ampla distribuição geográfica, podendo ser encontrada do sul da América do Sul até a América Central. Também é altamente adaptável a todas as condições

climáticas, desde regiões secas a extremamente úmidas (SATURNINO et al., 2005; LAVIOLA et al., 2013).

É uma oleaginosa similar à mamona e à seringueira, que faz parte do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) do Brasil, pois ela tem alta viabilidade de produzir biodiesel a partir do óleo das suas sementes. Além disso, é uma planta precoce que tem capacidade de entrar em fase produtiva com 10 meses de plantio, estendendo-se a até 40 anos, dependendo da cultivar utilizada (DURÃES; LAVIOLA; ALVES, 2011).

No entanto, é uma planta que ainda tem poucos estudos científicos e o seu conhecimento é limitado; por exemplo, ainda é incerta a sua origem, apesar de ser utilizada desde a época pré-colombiana, estando atualmente em fase de domesticação (LAVIOLA et al., 2013). Para alcançar altas produtividades, é necessário o desenvolvimento do melhoramento genético de espécies, porém estes estudos encontram-se em fase inicial no Brasil e no mundo e pouquíssimo se conhece da interação entre genótipos e ambiente desta planta (BAHADUR; SUJATHA; CARELS, 2013).

Em muitos países, o seu valor econômico é inestimável, como no arquipélago de Cabo Verde, onde equipara-se a outras culturas importantes e que já foram um dos maiores exportadores de sementes mundiais. No Brasil, a cultura se apresenta em todas as localidades, adaptando as diversas condições edafoclimáticas do país, alcançando produtores da região sudeste, que já atingiram produção anual de 1.100 a 1.700 litros de óleo por hectare (RESENDE; LONDE; NEVES, 2013).

O uso do óleo do pinhão-mansinho depende de sua domesticação, desenvolvimento de tecnologias, adubação, variedade e homogeneização. A partir disso, a Índia há 20 anos vem desenvolvendo pesquisas com a cultura a fim de desenvolver variedades e tecnologias para produção em larga escala do pinhão-mansinho (ÍNDIA, 2005). A cada dia, mais cresce o interesse econômico na cultura, devido também ao aproveitamento de todas as partes da planta. Além das sementes, suas flores são utilizadas para fins medicinais na contenção de hemorragias.

O látex da planta também vem sendo bastante estudado: ele em sua essência é bastante tóxico; no entanto, tem grande potencial para a formulação de extratos para o controle de doenças e pragas agrícolas (DRUMOND; ARRUDA; ANJOS, 2008). Além disso, também pode ser usada na recuperação de áreas degradadas, devido a sua capacidade de se estabelecer em qualquer ambiente, a forma de sua raiz pivotante, que se fixa bem ao solo, e a característica caducifolia da planta, que perde as suas folhas durante a estação seca, promovendo e incorporando a matéria orgânica ao solo (BONFIM-SILVA et al., 2011).

Na região Sul, o pinhão-mansinho adapta-se bem, perdendo suas folhas no inverno e estação seca, quando geralmente entra em estado de dormência devido às temperaturas baixas; contudo, com o aumento da temperatura em meados de outubro e com a aproximação da estação chuvosa, ela floresce e alcança altas produtividades (FACT, 2006).

Resende, Londe e Neves (2013) recomendam regiões com alta fertilidade para o estabelecimento da cultura, a fim de alcançar o potencial produtivo da planta, visando a produção de sementes para posterior fabricação do óleo diesel. Apesar de ser uma planta perene, o pinhão-mansão alcança seu potencial de produção em solos argilosos não arenosos quando bem manejados devido à maior profundidade e a retenção de água no solo. Assim, o pinhão-mansão tem uma exigência fértil necessitando de adubação com compostos equilibrados.

A partir disso, Saturnino et al. (2005) realizaram estudos do pinhão-mansão com ARS e constataram que a produtividade foi alta, devido à adubação orgânica em grande quantidade. Mantovani, Espíndula Neto e Simão (2003) notaram um aumento da produção quando feita a aplicação de resíduos orgânicos, ato que foi capaz de suprir a demanda nutritiva e hídrica da cultura.

Além das vantagens econômicas, o plantio do pinhão-mansão também apresenta benefícios ambientais. Segundo Toledo et al. (2012), ele tem grande capacidade de estocar carbono em suas folhas, se apresentando com forte potencial de absorção de CO<sub>2</sub> atmosférico, possibilitando a aquisição de créditos de carbono para amenizar o efeito estufa (GEE) como parte do programa de Desenvolvimento de Mecanismo Limpo (MDL), conhecido mundialmente. Este projeto MDL visa contribuir com os países em desenvolvimento, tendo como premissas o que foi discutido e aceito no Protocolo de Kyoto, isto é, as metas de redução de GEE, prestando assistência aos países do Anexo I, ou seja, os países desenvolvidos. Esse cálculo de culturas com potencial de estoques de carbono é feito a partir de variáveis dendrométricas que utilizam modelos matemáticos (UNFCCC, 2011).

Há quatro fatores principais para essa atribuição à cultura; o primeiro é a aptidão em absorver CO<sub>2</sub>, componente importante para a formação do fruto; o segundo é em relação à alta capacidade de gerar energia através da biomassa, após a extração do óleo, o resíduo que sobra tem grandes concentrações de nutrientes que podem ser dispostos nas lavouras a fim de realizar o retorno do carbono ao solo, sendo esta a terceira vantagem; e a quarta é a possibilidade de ser um substituto para os combustíveis fósseis, devido ao alto potencial de produção de óleo (RESENDE; LONDE; NEVES., 2013).

### **3.4 Bioindicadores da qualidade do solo**

O solo é um recurso renovável que dá suporte para todas as atividades humanas, sendo resultante do processo de intemperismo e decomposição das rochas (LEPSCH, 2016). Basicamente, o solo é formado por características bióticas e abióticas, como clima, relevo, organismos, material de origem e tempo, que propiciaram transformações físicas e químicas. Dentre os fatores abióticos, o clima e a temperatura têm papel relevante, pois quanto mais úmido e quente uma região, maior a prospecção de sofrer a ação do intemperismo.

Em relação aos componentes bióticos que interferem diretamente na formação dos solos, os organismos da macro e microfauna são distribuídos de acordo com o clima e a adaptação nos ambientes; eles desempenham papel essencial na superfície e interior do solo, formando canais que permitem a entrada de água, que pode acelerar o processo de intemperismo através da liberação de ácidos orgânicos proveniente da decomposição da MO (POLETO, 2008).

Dessa forma, a formação dos solos depende de fatores químicos, físicos e biológicos, como também a sua manutenção depende da relação de equilíbrio entre esses três fatores (LOPES et al., 2013). Todavia, parte essencial do sistema solos são os organismos que o habitam, os quais têm funções extremamente importantes, com grande potencial biotecnológico, sendo considerado o futuro da agricultura.

Os microrganismos procarióticos são seres muito abundantes, segundo Borges Filho e Machado (2013): têm uma população estimada de  $10^8$  a  $10^9$  unidades por grama de solo, residentes nas camadas superficiais da litosfera e responsáveis por inúmeras atividades imprescindíveis para a manutenção do sistema-solo; são seres capazes de atuar na degradação de compostos orgânicos e na ciclagem de nutrientes como carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S); podem se especializar em atividades menos heterogêneas, como a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e até mesmo auxiliar as plantas na absorção de nutrientes, estimulando seu crescimento (BPCVs) (CHAGNON et al., 2013; MIRANSARI, 2013).

Além deles, na fração viva do solo, existem outros seres responsáveis por outros serviços ecossistêmicos, como os fungos, insetos, nematoides, algas, protozoários e minhocas, sendo que estas têm um papel importante na produção de húmus através da vermicompostagem (BRADY; WEIL, 2013). Contudo, esses grupos são separados para melhor estudo, pois cada um tem sua especificidade e adaptabilidade no ambiente, blocados em macro (organismos maiores), meso (organismos intermediários) e microfauna (organismos menores). O objeto deste estudo encontra-se neste último grupo.

Como já citado, os microrganismos têm diversas funções no ambiente principalmente em relação à decomposição da matéria orgânica, sendo os principais agentes transformadores do sistema-solo (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Esta capacidade degradadora deve-se à grande diversidade de seres existentes, os quais adaptaram-se ao longo de toda a escala evolutiva, adquirindo e transmitindo genes principalmente pela troca de plasmídeos (MADIGAN, 2016). Dessa maneira, compreender a organização e o funcionamento da comunidade microbiana específica de cada região é fundamental para identificar as necessidades locais.

De acordo com Cardoso e Andreote (2016), muitos microrganismos diferentes podem desempenhar a mesma função no ambiente, como no trabalho de Rodrigues et al. (2013), que demonstraram a homogeneização da microbiota em áreas de fragmentos de florestas

amazônicas devido à conversão das áreas em pastagens, porém ainda desempenhando suas atividades.

Chen et al. (2017) também observaram a homogeneização da microbiota em campos de cultivo de arroz; no entanto, não só a cultura escolhida exerceu influência na composição edáfica, mas também a localização geográfica, enfatizando, assim, a necessidade de pesquisas *in loco*, de região para região. Ainda, em Moura et al. (2016), os autores constataram a redução da diversidade biológica e resiliência de alguns grupos específicos após anos de aplicações sucessivas com AR.

Portanto, o mal manejo de áreas tem a capacidade de selecionar determinados grupos microbianos, o que acarreta redução na diversidade dos solos, possivelmente comprometendo os serviços ambientais desempenhados por esses seres. Segundo Parron et al. (2015), esses serviços são caracterizados pelas funções que os microrganismos realizam e dos recursos biotecnológicos supridos pela microbiota, ou seja, um gasto que o ser humano não tem pois há alguém fazendo no ambiente.

Deste modo, estudos específicos dos atributos biológicos são importantes do ponto de vista ambiental, para tentar minimizar a perda da diversidade e funcionalidade, como também do ponto de vista econômico, pois com a inatividade dos microrganismos muitas atividades desempenhadas por eles são comprometidas, aumentando os custos de produção e até tornando áreas agrícolas impróprias para cultivo.

Os indicadores biológicos são muito utilizados para mensurar o grau de impacto de uma região, embora muitos trabalhos utilizam indicadores independentes, a combinação de alguns é essencial para se determinar a qualidade de um solo, pois só assim é possível obter respostas relacionadas com os seus processos e funcionalidade (VAN LEEUWEN et al., 2015). Qualquer alteração reflete diretamente na estrutura e na atividade biológica no solo; assim sendo, é necessário utilizar um conjunto mínimo de indicadores ambientais que sejam fáceis de aplicar, avaliar e sensíveis aos diferentes tipos de manejo (CHAVES et al., 2012).

Doran e Parkin (1994) definem a qualidade do solo (QS) como sendo a capacidade do ecossistema de funcionar e sustentar todas as atividades biológicas, manter a produtividade e a sanidade vegetal e animal. Deste modo, os indicadores devem ser rápidos, de baixo custo, sensíveis porém robustos para não fornecer informações equivocadas. Países como Alemanha, República Tcheca, Reino Unido e Áustria utilizam um número mínimo de indicadores no monitoramento de qualidade do solo na comunidade europeia, sendo esses: biomassa microbiana (BM), respiração basal (RB) e a atividade enzimática do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; BALOTA et al., 2014; DROBNIK et al., 2018; BUNEMANN et al., 2018).

A biomassa microbiana (BM) é um parâmetro que tem sido utilizado como um indicador sensível às mudanças na MO devido à resposta rápida em relação aos atributos físicos e químicos (NOGUEIRA et al., 2015) – também graças à interação com a dinâmica da ciclagem de nutrientes, sendo capaz de diagnosticar qualquer flutuação na microbiota, pois segundo

Hungria et al. (2009), a biomassa em solos agricultáveis é composta por aproximadamente 25 a 30% de seres vivos e, juntamente com os fungos, são responsáveis por controlar os processos de respiração e ciclagem de nutrientes no solo (MENDES et al., 2011; FERREIRA et al., 2017).

No trabalho de Fernandes et al. (2013), foi observado um aumento na biomassa microbiana (BM) e na matéria orgânica (MO) em áreas recuperadas com o plantio de pinhão-manso consorciado e não consorciado com uma gramínea. No entanto, no trabalho de Santana et al. (2017), foi realizado um estudo comparando áreas de cultivo com banana, pastagem e mata nativa. A menor BM foi identificada na área de plantio de banana, demonstrando a necessidade de estudos voltados para culturas perenes para prática de um manejo sustentável.

Já a importância da respiração basal (RB) do solo é definida como a avaliação da atividade metabólica associada ao estresse ambiental da comunidade microbiana, isto é, é possível quantificar a somatória total de todo o CO<sub>2</sub> sintetizado no solo. Geralmente tal fator ainda é influenciado por características abióticas como umidade, temperatura e estrutura física do solo (SILVA et al., 2010).

Em Almeida et al. (2016), foi observado um aumento da taxa de RB do solo e BM na cana-de-açúcar ao longo de nove anos, quando realizado o manejo adequado de AR. Em contrapartida, Braga et al. (2016) encontraram valores baixos em relação aos atributos biológicos RB e BM no plantio de eucalipto e pinus devido à ausência de um manejo conservacionista.

Nos estudos de Couto et al. (2013) e de Balota, Machineski e Truber (2011), foi possível identificar um incremento na biomassa microbiana, na respiração basal do solo e na atividade enzimática do solo após a aplicação de água residuária advinda da suinocultura, demonstrando que esse tipo de manejo beneficia os atributos biológicos. O trabalho de Fidelis et al. (2016) constatou que quando feito consórcio de pinhão-manso com o feijão, uma leguminosa, há incremento no atributo N da BM, demonstrando a importância da associação de culturas.

A atividade enzimática é outro fator extremamente importante como bioindicador do solo, pois nada mais é do que resposta da atividade microbiana, de maneira que permita a compreensão dos processos de mineralização do solo, monitoramento da degradação da matéria orgânica e intensidade do fluxo de energia (SCHMIDT et al., 2011; BALOTA, 2017). Há várias enzimas que podem ser quantificadas, como a ureáse, celulase, fosfatase, protease, amilase, lipase, esterases dentre outros importantes para os processos biogeoquímicos.

A atividade enzimática do solo tem relação direta com os demais atributos biológicos, pois depende da MO e da sua composição bioquímica, da BM e das características físicas, sendo um indicador sensível às alterações que possam ocorrer no solo (ARAÚJO;

MONTEIRO, 2007). Assim como os microrganismos, a atividade enzimática é alterada sob os diferentes sistemas de cultivo e inserção de carbono e nitrogênio, sendo possível identificar correlações significativas entre enzimas e BM (GRANDY et al., 2013; BALOTA, 2017).

As enzimas são divididas em diversas categorias como sendo hidrolíticas e oxidativas. Há um grupo no solo de enzimas não específicas que estão envolvidas diretamente na degradação de diversos compostos orgânicos, são as proteases, lipases e esterases, altamente sensíveis, e seus estudos amplamente aceitáveis como um indicador do solo através do método da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) (RIBEIRO; CUNHA; SILVA, 2015; NOGUEIRA et al., 2015).

Trabalhos como o de Silva et al. (2015) observaram maior aumento das taxas de FDA em áreas de pastagem que receberam adubação orgânica por 14 anos quando comparadas com valores obtidos de áreas adubadas por dois anos. Já em Santos et al. (2015), que avaliaram diversos manejos de cobertura associados ao cultivo da soja, constataram maiores valores de FDA  $\sim 690 \text{ mg kg solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$  na safra e  $\sim 320 \text{ mg kg solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$  na entressafra, na associação de soja com braquiária no sudoeste goiano. Também Souza et al. (2016) observaram que a hidrólise de FDA foi capaz de demonstrar a oscilação da diversidade e da atividade microbiana de solos da região de Rondônia em estágio de recuperação após exploração para mineração.

A busca pelo entendimento dos indicadores de qualidade do solo tem sido relatada como um dos principais focos de pesquisadores atuantes na área de ciência do solo (CARDOSO et al., 2013). É evidente que dentro da pesquisa os efeitos da irrigação com águas residuárias na microbiota do solo são negligenciados na maioria dos estudos, sendo de extrema importância, pois, apesar das inegáveis vantagens que essa prática traz, há impactos adversos que influenciam a produtividade e a sanidade do local (BECERRA-CASTRO et al., 2015).

Segundo Cherubin et al. (2015), a MO é um dos parâmetros mais sensíveis perturbados pela adição da adubação orgânica. Investigar as alterações biológicas do solo tem sido uma maneira preventiva de mitigar possíveis consequências futuras ocasionadas pelo mal manejo de agora dos solos, reduzindo impactos e praticando a agricultura sustentável. Assim, compreender as modificações que ocorrem em um solo adubado com AR por anos, em uma cultura de grande interesse econômico mundial é uma das premissas para desenvolver futuras tecnologias que potencializem a produção de óleo no pinhão-mansão como também estimule a redução de custos de implantação da cultura.

#### 4 REFERÊNCIAS

ADELI, A.; BOLSTER, C. H.; ROWE, D. E.; McLAUGHLIN, M. R.; BRINK, G. E. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. **Solo Science**, v.173, n.3, 223-235, 2008.

ALMEIDA, L. S. de; FERREIRA, V. A. S.; FERNANDES, L. A.; FRAZÃO, L. A.; OLIVEIRA, A. L. G.; SAMPAIO, R. A. Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1539-1547, 2016.

ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p.66-75, 2007.

BAHADUR, B.; SUJATHA, M.; CARELS, N. **Jatropha, challenges for a new energy crop**. Volume 2: genetic improvement and biotechnology. New York: Springer Verlag, p. 614, 2013.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Mecenias, 2017, 288 p.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of Total Environment**, v. 490, n.1, p. 397-404, 2014.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; TRUBER, P.V. Atividades da enzima do solo sob adubação de porco e diferentes sistemas de preparo do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, n.1, p. 729-737, 2011.

BECERRA-CASTRO, C.; LOPES, A. R.; VAZ-MOREIRA, I.; SILVA, E. F.; MANAIA, C. M.; NUNES, O. C. Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment International**, v. 75, p.117-135, fev. 2015.

BONFIM-SILVA, E. M.; ANICÉSIO, E. C. A.; SILVA, F. C. M. da; DOURADO, L. G. A.; AGUERO, N. F. Compactação do solo na cultura do trigo em Latossolo do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p.1-8, 2011.

BORGES FILHO, E. L.; MACHADO, E. C. Avaliação microbiana do solo e dos aspectos morfológicos de hortaliças após a adição de adubos orgânicos em hortas. **e-Scientia**, v. 6, n. 1, p. 8-15, 2013.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Artmed, p. 716, 2013.

BRAGA, R. M.; SOUSA, F. F. de; VENTURIN, N.; BRAGA, F. A. Biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. **Red de Revistas Científicas de América Latina y El Caribe**, Madri, v. 22, n. 2, p.137-144, 2016.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G. D.; GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MADER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; GOENIGEN, J. W. V.; BUSSAARD, L. Soil quality – A critical review, **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, n. 1, p. 105-125, 2018.

CAPAZ, R. S.; NOGUEIRA, H. **Ciências Ambientais para Engenharia**. São Paulo: Elsevier, p. 352, 2014.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L. PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: Looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agrícola**, v. 70, n. 1, p. 274-289, 2013.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do Solo**. 2. ed. Piracicaba: Esalq, 2016. 221 p.

CARVALHO, P. L. C.; VIANA, E. F. Suinocultura SISCAL e SISCON: análise e comparação dos custos de produção. **Custos e @gronegócios**, v. 7, n. 3, p. 1-19, 2011.

CHAGNON, P. L.; BRADLEY, R. L.; MAHERALI, H.; KLIRONIMOS, J. N. A trait-based framework to understand life history of mycorrhizas fungi. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 18, p. 484-491, 2013.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G.; JATO, E. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

CHEN, R.; ZHONG, L.; JING, Z.; GUO, Z.; LI, Z.; LIN, X.; FENG, Y. Fertilization decreases compositional variation of paddy bacterial community across geographical gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 114, p.181-188, 2017.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F. da; SILVA, V. R. da; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 615-625, jan. 2015.

COUTO, R. R.; COMIN, J. J.; SOARES, C. R. F. S.; BELLI FILHO, P.; BENEDET, L.; MORAES, M. P.; BRUNETTO, G.; BEBER, C. L. Microbiological and chemical attributes of a Hapludalf soil with swine manure fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 774-782, 2013.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1, p. 589- 602, 2011.

DING, G. K. C. Wastewater treatment and reuse – the future source of water supply. **Encyclopedia of sustainable technologies**, v. 1, n. 1, p. 43-52, 2017.

DIONE, M.; OUMA, E. A.; ROESEL, K.; KUNGU, J.; LULE, P.; PEZO, D. Participatory assessment of animal health and husbandry practices in smallholder pig production systems in three high poverty districts in Uganda. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 117, n.1, p. 565-576, 2014.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA, p. 1-20, 1994.

DROBNIK, T.; GREINER, L.; KELLER, A.; GRET-REGAMEY, A. Soil quality indicators – From soil functions to ecosystem services. **Ecological Indicators**, v. 94, n. 1, p. 151-169, 2018.

DRUMOND, M. A.; ARRUDA, F. P.; ANJOS, J. B. **Pinhão-manso – *Jatropha curcas* L. Petrolina: Embrapa Semi-Árido**, p. 15, 2008.

DURÃES, F. O. M.; LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A. Potential and challenges in making physic nut (*Jatropha curcas* L.) a viable biofuel crop: the Brazilian perspective, **Nutrition and Natural Resources**, v.6, n. 43, p. 1-08, 2011.

FACT Foundation. **Handbook on *Jatropha curcas* L. – First draft**. March, 2006, 45 p. Disponível em: <<http://www.fact-fuels.org>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

FERNANDES, M. M.; SILVA, M. D.; VELOSO, M. E. da C.; OLIVEIRA, T. M.; FERNANDES, M. R. de M.; SAMPAIO, F. M. T. Biomassa microbiana e matéria orgânica em áreas desertificadas revegetadas com pinhão-manso solteiro e consorciado com gramínea no Sul do Piauí. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 3, p. 464-469, dez. 2013.

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

FIDELIS, R. R.; ALEXANDRINO, C. M. dos S.; SILVA, D. B. da.; SUGAI, M. A. A.; SILVA, R. R. da. Indicadores biológicos de qualidade do solo em culturas intercalares ao pinhão manso. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v. 9, n. 3, p.87-95, 2016.

FIGUEIREDO, P.G.; TAMANATI, F.Y. Adubação orgânica e contaminação ambiental. **Revista Verde**, v. 3, n.3, p. 1-4, 2010.

FRIGO, E. P.; ALVES, H. J.; FRIGO, M. S.; ARAUJO, C. H. C.; BASTOS, R. K. Biomassa residual rural proveniente de diferentes atividades agropecuárias brasileiras. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 1, p. 21-26, 2015.

FUESS, L. T.; GARCIA, M. L. Implications of stillage land disposal: A critical review on the impacts of fertigation. **Journal of Environmental Management**, v. 145, n.1, p. 210-229, 2014.

GERVÁSIO, E. W. **Suinocultura Paranaense**. Londrina: SEAB - Secretaria do Estado da Agricultura e Abastecimento, 2017.

GRANDY, A. S.; SALAM, D. S.; WICKINGS, K.; Mc DANIEL, M. D. Soil respiration and litter decomposition responses to N fertilization rate in no-till corn systems. **Agriculture Ecosystems Environmental**, v.179, p.35-40, 2013.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.

INDIA. Ministry of Agriculture Department of Agriculture & Cooperation. **Integrated development of tree borne oilseeds by National oilseeds & vegetables oils development (NOVOD) Board**. New Delhi, 2005.

KONZEN, E. A. Fertilização de Lavoura e Pastagem com Dejetos de Suínos e Cama de Aves. **Circular Técnica - Embrapa Milho e Sorgo**, v. 31, p. 1-10, 2003.

KUMAR, M.; RAJPUT, T. B. S.; KUMAR, R.; PATEL, N. Water and nitrate dynamics in baby corn (*Zea mays* L.) under different fertigation frequencies and operating pressures in semi-arid region of India, **Agricultural Water Management**, v. 163, n.1, p. 263-274, 2017.

LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A.; ROCHA, R. B.; DRUMOND, M. A. **Jatropha, challenges for a new energy crop**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2013.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2016, 216p.

LOPES, A. A. de C.; SOUSA, D. M. G. de; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. de C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v.77, n.1, p.461-472, 2013.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. da; GIROTTI, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; CONTI, L. de; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 157-167, 2013.

MADIGAN, M. T. **Microbiologia de Brock**. 14. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2016.

MANTOVANI, E. C.; ESPINDULA NETO, D.; SIMAO, F. R. Irrigação de fruteiras tropicais: utilização do sistema "Irriga". In: ZAMBOLIM, L. **Produção integrada de fruteiras tropicais**. Viçosa, p. 331-379, 2003.

MATOS, A. T.; SEDIYAMA, M. A. N.; FREITAS, S. P.; VIDIGAL, S. M.; GARCIA, N. C. P. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquido suíno. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 44, n. 254, p. 399-410, 1997.

MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. Microbiologia do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: FALEIRO, A.; ANDRADE, S. R. M.; REIS JUNIOR, F. B. (Ed.). **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 219-244, 2011.

MIRANSARI, M. Soil microbes and the availability of soil nutrients. **Acta Physiologies Plantarum**, Paris, v. 35, p. 3075-3084, 2013.

MOURA, A. C.; SAMPAIO, S. C.; REMOR, M. B.; SILVA, A. P. da; PEREIRA, P. A. M. Long-term effects of swine wastewater and mineral fertilizer association on soil microbiota. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 318-328, 2016.

NOGUEIRA, M. A.; MIYAUCHI, M. Y. H.; BINI, D.; ANDRADE, G. Microrganismos e Processos Microbianos como Bioindicadores de Qualidade Ambiental. In: YAMADA-OGATTA, S. F.; NAKAZATO, G.; FURLANETO, M. C.; NOGUEIRA, M. A. **Tópicos Especiais em Microbiologia**. Londrina: Uel, 2015. Cap. 17. p. 262-281.

NOOROLLAHI, Y.; KHEIRROUZ, M.; ASL, H. F.; YOUSEFI, H.; HAJINEZHAD, A. Biogas production potential from livestock manure in Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 50, n. 1, p. 748-754, 2015.

NOTARO, K. A.; SOUZA, B. M.; SILVA, A. O.; SILVA, M. M.; MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P. População microbiana rizosférica, disponibilidade de nutrientes e crescimento de pinheira, em substratos com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n.1, p. 770-776, 2012.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, p. 374, 2015.

PEREIRA, D. **Decomposição e mineralização de adubos orgânicos acondicionados em cápsulas porosas**. 2011. 115f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.

PLEISSNER, D.; RUMPOLD, B. Utilization of organic residues using heterotrophic microalgae and insects. **Waste Management**, v. 72, n.1, p. 227-239, 2017.

POLETO, C. **Ambiente e sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2008, 404 p.

PRIMAVESI, A. **Agricultura Sustentável**. São Paulo: Nobel, 1992, 142 p.

RESENDE, J. C. F.; LONDE, L. N.; NEVES, W. S. **Pinhão-manso**. Nova Porteirinha: EPAMIG, p.524, 2013.

REZANIA, S.; PONRAJ, M.; TALAIEKHOZANI, A.; MOHAMAD, S. E.; DIN, M. F. M.; TAIB, S. M.; SABBAH, F.; SAIRAN, F. M. Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater. **Journal of Environmental Management**, v. 163, n. 1, p. 125-133, 2015.

REZNIK, A.; FEINERMAN, E.; FINKELSHTAIN, I.; FISHER, F.; HUBER-LEE, A.; JOYCE, B.; KAN, I. Economic implications of agricultural reuse of treated waste water in Israel: a statewide long-term perspective. **Ecological Economics**, v. 135, n. 1, p. 222-233, 2017.

RIBEIRO, M. C.; ROCHA, F. A.; SANTOS, A. C. dos; SILVA, J. O. da; PEIXOTO, M. F. S. P.; PAZ, V. P. da S. Crescimento e produtividade da mamoneira irrigada com diferentes diluições de esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 639-646, 2012.

RIBEIRO, T. S.; CUNHA, P. Ö.; SILVA, L. A. P. Avaliação do Potencial de Biorremediação de Solos Contaminados: Método de Hidrólise de Diacetato de Fluoresceína (FDA) como Indicador de Atividade Microbiana. **Revista Aquila**, v.1, n.13, p.105-120, 2015.

RODRIGUES, J. L. M.; PELLIZARI, V. H.; MUELLER, R.; BAEK, K.; JESUS, E. C.; PAULA, F. S.; MIRZA, B.; HAMAQUI, G. S.; TSAI, S. M.; FEIGL, B.; TIEDJE, J. M.; BOHANNAN, B. J. M.; NUSSLEIN, K. Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. **Proceedings of the National Academy of Science of United States of America**, New York, v. 110, p. 988-993, 2013.

SAHKIR, E.; ZAHRAW, Z.; AI-OBAIDY, A. H. M. J. Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 24, n. 1, p. 95-102, 2017.

SAMPAIO, S. C.; CAOVILO, F. A.; OPAZO, M. A. U.; NOBREGA, L. H. P. SUSZEK, M.; SMANHOTTO, A. Lixiviação de íons em colunas de solo deformado e indeformado. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 150-159, 2010.

SANTANA, A. S.; CHAVES, J. S.; SANTANA, A. S.; ABANTO-RODRIGUEZ, C.; MORAES, E. R. Biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo no sul do Estado de Roraima. **Revista Brasileira de Ciência da Amazônia**, Manaus, v. 6, n. 1, p.1-62, dez. 2017.

SANTOS, F. L. dos; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O.; BENITES, V. de M.; SOUZA, E. D. de. Atributos bioquímicos do solo sob diferentes sistemas de produção no sudoeste goiano. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 2, p.74-86, 2015.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*). **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SCHEFFER-BASSO, S. M.; ELLWANGER, M. F.; SCHERER, C. V.; FONTANELI, R. S. Resposta de pastagens perenes a adubação com chorume suíno: cultivar Tifton 85. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 11, p. 1940-1946, 2008.

SCHMIDT, M. W., TORN, M. S., ABIVEN, S., DITTMAR, T., GUGGENBERGER, G., JANSSENS, I. A., KLEBER, M., KOGEL-KNABNER, I., LEHMANN, J., MANNING, D. A. C., NANNIPIERI, P., RASSE, D. P., WEINER, S. TRUMBORE, S. E., Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v. 478, n. 7367, p. 49-56, 2011.

SEIDEL, E. P.; GONÇALVES JUNIOR, A. C.; VANIN, J. P.; STREY, L.; SCHWANTES, D.; NACKE, H. Aplicação de dejetos suínos na cultura do milho cultivado em Sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Maringá**, v. 32, n. 2, p. 113-117, 2010.

SHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente e Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17-32, 2014.

SILVA, D. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. O.; SILVA, D. A. A da.; RACHE, M. M.; PASSOS, V. H. G.; SILVA, B. R da. Indicadores microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p.1585-1594, fev. 2015.

SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; VIEGAS, R. A. Crescimento e produção do pinhão-manso irrigado com água residuária sob condições de estresse hídrico. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 621-629, 2011.

SILVA, R. F.; BASSO, C. J.; BERTOLLO, G. M.; CORASSA, G. M.; COCCO, L. B.; STEFFEN, R. B. Doses de dejetos líquidos de suínos na comunidade da fauna edáfica em sistema de plantio direto e cultivo mínimo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 418-424, 2014.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.1, p. 1585-1592, 2010.

SINGH, P. K.; DESHBHRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. **Agricultural Water Management**, v. 103, n. 1, p. 100-104, 2012.

SOUSA, A. E. C.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; MEDEIROS, E. P. de; NASCIMENTO, E. C. S. Teor de óleo no pinhão manso em função de lâminas de água residuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.1, p.108-111, 2011.

SOUSA, F. A.; SILVA, E. B.; CAMPOS, A. T.; GANDINI, A. M. M.; CORRÊA, J. M.; GRAZZIOTTI, P. H. Atividade microbiana e produção da lavoura cafeeira após adubação com dejetos líquidos de suínos. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 1041-1049, 2014.

SOUZA, C. F.; BASTOS, R. G.; GOMES, M. P. M.; PULSCHEN, A. A. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. **Revista Ambiente & Água**, v.10, n. 3, p. 598-597, 2015.

SOUZA, D. O.; ALVES, S. C. N.; DELARICA, D. L. D.; LAVEZZO, L. F.; MELO, W. J.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I. Atividade bioquímica em áreas degradadas por mineração na Floresta Nacional do Jamari, RO. **Ciência e Tecnologia FATEC**, v. 8, n. 1, p. 1-7, 2016.

TOLEDO, D. de P.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; SOARES, C. P. B. Equação de biomassa e estoque de carbono do pinhão manso, no município de Viçosa, MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1998-2004, 2012.

TURRA, Francisco. **Relatório Anual 2017**. Brasília: ABPA, 2017.

UNFCCC. **Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in AVR CDM project activities**. Methodological tools, 2011.

URBANO, V. R.; MENDONÇA, T. G.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Physical-chemical effects of irrigation with treated wastewater on Dusky Red Latosol soil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 737-747, 2015.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **China's Meat and Poultry Import Forecast 2018: Decline and Constrained Growth**. New York: Office of Global Analysis, 2017.

VAN LEEUWEN, J.P.; LEHTINEN, T.; LAIR, G.J.; BLOEM, J.; HEMERIK, L.; RAGNARSDÓTTIR, K.V.; GÍSLADÓTTIR, G.; NEWTON, J.S.; DE RUITER, P.C. An ecosystem approach to assess soil quality in organically and conventionally managed farms in Iceland and Austria. **Soil**, v.1, n. 1, p. 83-101, 2015.

WHO, WORLD HEALTH ORGANIZATION. Wastewater use in agriculture. In: **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Genebra, v. 2, n. 1, 2006.

ZANDONADI, D. B.; SANTOS, M. P.; MEDICI, L. O.; SILVA, J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 14-20, 2014.

## 5 ARTIGOS

### 5.1 ARTIGO 1 - ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DE UM SOLO CULTIVADO COM PINHÃO-MANSO SUBMETIDO A APLICAÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOS

#### Resumo

A adubação com água residuária de suínos (ARS) em sistemas agrícolas tem sido uma alternativa de manejo sustentável. Entretanto, necessita de monitoramento devido às interferências que pode provocar na funcionalidade do solo com a entrada de grandes volumes de carbono e microrganismos. Neste contexto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar os atributos microbiológicos de um latossolo vermelho submetido a diferentes doses de água residuária de suínos, a fim de identificar a dose agrônômica e ecológica viável para recomendação de aplicação com água residuária. O experimento foi conduzido em blocos casualizados em uma área sob o cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) com seis tratamentos e três repetições para diferentes dosagens de ARS, sendo 0, 40, 80, 120, 160 e 200 ARS em  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ . Os atributos avaliados foram o carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico ( $\text{qCO}_2$ ) e quociente microbiano (qMIC). Foi realizado teste de Kruskal-Wallis a 10% de significância com posterior realização da análise de regressão e análise multivariada de componentes principais (ACP) utilizando o Programa RStudio. A partir dos dados obtidos foi possível apontar que a dose ideal de ARS para a capacidade suporte da comunidade microbiana de um latossolo vermelho eutroférico cultivado com pinhão-manso foi a de  $105 \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ . No entanto, devido à tolerância e à plasticidade dos microrganismos que se estabelecerem no sistema, pode ser recomendado o uso do produto como adubo até o volume de  $160 \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ . Os dados também revelam que, acima disso, ocorreu redução da atividade microbiana (CBM) e do percentual de microrganismos na MO (qMIC). Na dose de  $200 \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , também ocorreu o aumento da taxa respiratória (RBS) e do estresse metabólico ( $\text{qCO}_2$ ), demonstrando redução da conversão e mineralização do carbono. Portanto, a adubação agrícola com ARS no manejo de plantas perenes pode ser fortemente recomendada, mas precisa ser monitorada para que haja manutenção da capacidade suporte do solo e ganhos que não sejam somente econômicos, mas também ambientais.

**Palavras-chave:** Bioindicadores, dose, monitoramento.

### BIOLOGICAL ATTRIBUTES OF A CULTIVATED SOIL WITH *JATROPHA* sp. SUBMITTED TO APPLICATIONS OF WASTEWATER SWINE (ARS)

#### Abstract

Fertilizer of wastewater swine (ARS) in agricultural systems has been an alternative of sustainable management. However, it needs to be monitored because of the interferences it can cause in soil functionality with the entry of large volumes of carbon and microorganisms. In this context, the present study had the objective of evaluating the microbiological attributes of a red latosol submitted to different doses of wastewater swine, in order to identify the agronomic and ecological dose feasible to recommend application. The experimental design was conducted in a randomized block in an area under *Jatropha curcas* L., with six treatments and three repetition at different ARS dosages of ARSm being 0, 40, 80, 120, 160, and  $200 \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ . The attributes evaluated were microbial biomass carbon (CBM), soil basal respiration (RBS), metabolic quotient ( $\text{qCO}_2$ ), and microbial quotient (qMIC). A Kruskal-Wallis test was performed at a significance level of 10% with subsequent regression analysis and Principal Components Analysis (PCA) using Program RStudio. From the obtained data it was possible to indicate that the ideal dose of ARS for the microbial community support capacity of a red eutrophic latosol cultivated with *Jatropha* sp. was  $110 \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ . However, due to the tolerance and plasticity of the microorganisms established in the system, the use of the product as a fertilizer until the volume of  $160 \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  can be recommended. The data also reveal that, above this, there was reduction of microbial activity (CBM) and percentage of microorganisms

in MO (qMIC). At a dose of 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respiratory rate (RBS) and metabolic stress (qCO<sub>2</sub>) also increased, demonstrating reduced conversion and carbon mineralization. Therefore, agricultural fertilization with ARS in the management of perennial plants can be strongly recommended, but it needs to be monitored to maintain soil support capacity and gains that aren't only economic but also environmental.

**Key words:** Bioindicators, dose, monitoring.

## 1 INTRODUÇÃO

O Paraná (PR) desempenha um papel importante na economia brasileira devido à predominância e a extensão do seu agronegócio. Segundo Turra (2017), só a microrregião de Toledo contribui com 12% do valor bruto de todo o PIB do estado. Um dos setores responsáveis por esta participação é a cadeia produtiva suinícola. Somando-se ao entorno de Cascavel, a região do oeste paranaense é detentora de 65% dos rendimentos do setor de carne suína (GERVÁSIO, 2017).

Este grande potencial produtivo se deve ao tipo de manejo empregado baseado na criação intensiva de animais em confinamento (Siscon). Este sistema, que tem como premissa a permanência de uma maior quantidade de animais em uma área pré-definida sob condição fitossanitária altamente controlada. No entanto, o ônus desta prática é a geração de uma grande quantidade de resíduos líquidos cujo tratamento e destinação adequados são tarefas delegadas ao produtor (SEIDEL et al., 2010).

Uma das formas de destinação final da água residuária de suínos (ARS) é a disposição em solos para aproveitamento agrícola. Demonstra-se que a adubação com ARS pode promover benefícios aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, pois tem sido considerado um composto rico em nutrientes como nitrogênio, fósforo e carbono, de efeito fungistático e bacteriostático (BALOTA; MACHINESKI; MATOS, 2012, CAPAZ; NOGUEIRA; 2014; MATOS et al., 2016).

Trabalhos têm apontado que a ARS também funciona como um condicionador de solo melhorando a capacidade de trocas catiônicas (CTC), propiciando às plantas cultivadas o aumento do crescimento radicular e a tolerância ao estresse hídrico (FAO, 2014; PAULETTI et al., 2014; SILVA et al., 2014; BALOTA, 2017). Segundo Reznik et al. (2017), o uso da ARS como adubo orgânico (biofertilizante) é ecologicamente e economicamente mais sustentável a médio e longo prazo, pois é um resíduo duas vezes mais vantajoso, já que, além de fornecer os nutrientes e ser capaz de modificar a estrutura do solo, também permite o reuso de água frente a escassez aquícola.

No entanto, quando adicionado em excesso ao solo, a ARS pode promover grandes problemas ambientais, como salinização, lixiviação, eutrofização, selamento superficial, contaminação por excesso de nutrientes como potássio (K), fósforo (P), zinco (Zn) e cobre (Cu) (MATOS et al., 1997; SAMPAIO et al., 2010; LOURENZI et al., 2013). Dessa forma, pesquisas precisam procurar soluções para o uso funcional e sustentável desta grande

quantidade de ARS em solos agrícolas na adubação de plantas cultivadas. A relevância deste tipo de estudo está em resolver um impasse econômico com uma solução ecológica (SINGH; PANDEY; SINGH, 2011; FAO, 2014; NOGUEIRA et al., 2015).

Bioindicadores são um dos melhores parâmetros para avaliar e monitorar esta proposta alternativa de manejo nutricional do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Os microrganismos são a fração viva do solo, altamente sensíveis e responsáveis por todos os principais processos de metabolização, conversão e mineralização dos nutrientes, que, quando são diretamente afetados, promovem perdas ambientais e econômicas (MENDES et al., 2011; CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Qualquer interferência no solo altera de forma direta sua estrutura e atividade biológica, principalmente quando há inserção de uma alta carga de matéria orgânica (MO) e microrganismos competidores provenientes da adubação orgânica (FRENK; HADAS; MINZ, 2018).

O uso de microrganismos como bioindicadores para mensurar a qualidade do solo são bem aceitos, visto que estão diretamente relacionadas com as ações metabólicas e funcionais de microrganismos do solo (GIACOMINI et al., 2014). Trabalhos como de Colodel et al. (2018), que combinaram alguns atributos biológicos como carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e quociente microbiano ( $qMIC$ ) a fim de mensurar distintos manejos no estado do Mato Grosso, detectaram perdas nos atributos físicos e biológicos do solo em plantio convencional.

Silva et al. (2015), que combinaram os mesmos atributos com algumas enzimas como hidrólise de FDA, uréase e  $\beta$ -glucosidase para determinar o efeito da adubação com ARS em diferentes áreas de pastagens por distintos tempos de adubação, constataram a melhora dos solos com maior período de adubação. Neste contexto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar os atributos microbiológicos de solos submetidos a diferentes doses de ARS, a fim de identificar a dose agrônômica e ecológica viável para recomendação de aplicação com ARS.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização e caracterização da área experimental**

Este estudo foi conduzido na região Oeste do Paraná, na cidade de Palotina – PR, na área experimental do Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo (CAEAAC), cujas coordenadas geográficas são de 24° 21' 04" latitude sul, de 53° 44' 80" longitude oeste (Greenwich), com altitude média de 332 m. A região tem como características um clima do tipo subtropical úmido (Cfa) com predomínio de verões quentes e invernos amenos, com pluviosidade média anual de 1800 mm (KOPPEN, 1999). O solo característico da região é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico de textura argilosa (SANTOS et al., 2018), sendo que a área tem um relevo suave ondulado e 5% de declividade.



Figura 1 Localização da área experimental situado no Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo (CAEAAC), Palotina/PR  
 Fonte: O autor (2019).

## 2.2 Delineamento experimental

A cultura modelo utilizada foi o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), uma planta arbustiva que foi instalada em uma área de 900 m<sup>2</sup> em 2006, subdivida em dezoito parcelas (3 x 4 m) onde foram instaladas quatro plantas. O experimento foi conduzido em blocos completos casualizados (DBC), com as parcelas divididas em seis tratamentos e três repetições, sendo: uma testemunha-T1 e mais cinco diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS): T2-40, T3-80, T4-120, T5-160 e T6-200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de ARS. A distribuição foi feita por sorteio respeitando o grau de liberdade e as dosagens definidas segundo Rezende et al. (2009) e reafirmadas por Balota (2017).

## 2.3 Caracterização química e aplicação da água residuária de suínos (ARS)

A primeira aplicação da ARS foi realizada antes do período de florescimento, no mês de dezembro de 2017. A segunda e a terceira das distintas dosagens foram aplicadas, respectivamente, nos meses de março e junho de 2018, época que corresponde aos períodos de maturação do fruto e desfolha do pinhão-manso. As aplicações foram feitas com o auxílio de regadores de PVC com capacidade de 10 L. O rejeito não recebeu tratamento prévio além do armazenamento em esterqueiras após o recolhimento diário das baias (Tabela 1).

Tabela 1 Caracterização química das águas residuárias utilizadas na primeira (ARS 1), segunda (ARS 2) e terceira (ARS 3) aplicação sob a área experimental cultivada com pinhão-manso, Palotina/PR

	pH	Cond.	ST	SF	SV	N total	N amon.	ALC tot.	ALC p.	Acidez
	----- mg. L <sup>-1</sup> -----									
ARS 1	7,18	9,81	22532,00	7850,00	14682,00	3294,20	2215,50	600,00	6600,00	291,00
ARS 2	8,12	8,08	15432,00	6006,00	9426,00	2373,00	1722,00	800,00	5200,00	281,30
ARS 3	7,50	7,26	10980,00	4188,00	6790,00	2154,60	1437,80	1300,00	3800,00	824,50
	DQO	P	Ca	Na	Mg	K	Mn	Zn	Cu	Fe
	----- mg. L <sup>-1</sup> -----									
ARS 1	5626,00	346,83	242,21	254,78	357,24	1356,92	13,71	32,24	33,74	85,6
ARS 2	2036,00	188,28	184,01	222,26	223,19	919,18	6,34	22,36	20,16	44,59
ARS 3	3711,00	109,85	58,06	261,5	126,19	8228,71	2,99	13,46	11,32	43,69

\*pH: potencial hidrogeniônico; Cond: condutividade elétrica; ST: sólidos totais; SF: sólidos fixos; SV: sólidos voláteis; N total: nitrogênio total; N amon.: nitrogênio amoniacal; ALC tot.: alcalinidade total; ALC p.: alcalinidade parcial; DQO: demanda bioquímica de oxigênio; P: fósforo; Ca: cálcio; Na: sódio; Mg: magnésio; K: potássio; Mn: manganês; Zn: zinco; Cu: cobre; Fe: ferro.

## 2.4 Coleta de solo

O solo foi coletado com o auxílio de trado holandês na profundidade de 10 – 15 cm, 20 dias após a última aplicação de ARS (ANDRADE; HAMAKAWA, 1994). Em cada parcela foram coletadas cinco sub-amostras, que compuseram uma amostra composta, totalizando 18 amostras. As amostras foram mantidas a temperatura de 4<sup>o</sup> C e direcionadas ao laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina.

## 2.5 Obtenção dos atributos biológicos do solo

Para a obtenção da atividade metabólica do solo foi inicialmente determinada a umidade pelo método gravimétrico segundo Embrapa (2011). O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi obtido pelo processo de fumigação-extração conforme o proposto por Vance, Brookes e Jenkinson (1987). A respiração basal do solo (RBS), foi determinada pelo método de Jenkinson e Polwison (1976). O quociente de carbono orgânico (qCO<sub>2</sub>) foi obtido pela razão entre a RBS por unidade de CBM e o quociente microbiano (qMIC) foi obtido pela razão da CBM com o carbono orgânico total (COT) pelo método de Walkley-Black (EMBRAPA, 1997).

## 2.5 Análises estatísticas

Todos os dados foram testados quanto à adequação dos resíduos, à distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk e a homocedasticidade pelo teste de Bartlett e Levene. Os valores de CBM, RBS, qCO<sub>2</sub> e qMIC foram submetidos à análise de variância de Kruskal-Wallis a 5% de significância pelo software RStudio (R CORE TEAM, 2018) utilizando o pacote stats. Posteriormente os atributos foram submetidos a análise de regressão pelo teste de

média F com base na ANOVA, para encontrar a dose ideal, as equações foram derivadas. A análise de componentes principais (ACP) foi realizada utilizando o pacote vegan (JARI OKSANEN et al., 2018). Todos os dados foram obtidos sobre a matriz de correlação de Pearson, com o critério de retenção de componentes principais (CPs) de “broken-stick”.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Atributos microbiológicos e respostas metabólicas

Por meio dos dados obtidos, foi possível verificar que todos tratamentos com as diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS) afetaram os atributos CBM e  $qCO_2$ . Já a RBS e  $qMIC$  não se alteraram diante das sucessivas aplicações de ARS durante o período em questão (Tabela 2).

Tabela 2 Atributos microbianos de Latossolo vermelho sob cultivo de pinhão-manso e aplicação de diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS)

DOSES	CBM***	RBS <sup>ns</sup>	$qCO_2$ ***	$qMIC$ <sup>ns</sup>
( $m^3 ha^{-1}$ )	( $mg C kg^{-1}$ solo)	( $mg C-CO_2 kg^{-1}$ solo $h^{-1}$ )	( $mg C-CO_2 g^{-1}$ C-CBM. $h^{-1}$ )	(%)
(T1) Testemunha	106,60	0,31	2,90	0,67
(T2) 40	128,38	0,24	2,11	0,74
(T3) 80	124,99	0,26	2,08	0,79
(T4) 120	117,06	0,24	2,02	0,74
(T5) 160	130,91	0,25	1,93	0,76
(T6) 200	98,73	0,27	2,78	0,66
Média	117,78	0,26	2,30	0,73
CV%*	13,04%	14,38%	21,44%	9,77%
p-valor	0,02	0,29	0,04	0,08

Sendo: carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), quociente microbiano ( $qMIC$ ). \* CV%: coeficiente de variação; \*\*\* Variáveis significativas ( $p < 0,05$ ) pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. ns: não significativo pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

Comparando a dose de 200 ( $m^3 ha^{-1}$ ) com todas as outras aplicações de ARS, ficam evidente menores valores médios de CBM e  $qMIC$  e maiores valores de RBS e  $qCO_2$ , (Tabela 2). Na dose 160 ( $m^3 ha^{-1}$ ) de ARS, houve maior valor de CBM, chegando a  $\sim 130,9$  ( $mg C kg^{-1}$  solo) e menor valor de  $qCO_2$ ,  $\sim 1,93$  ( $mg C-CO_2 g^{-1}$  C-CBM. $h^{-1}$ ), ambos os atributos, diferem significativamente (10%) em relação às demais doses (Tabela 2).

Os valores encontrados na dose (160  $m^3 ha^{-1}$ ), demonstra a maior eficiência na conversão do carbono, mesmo sob baixa quantidade de  $CO_2$  produzida por unidade de CBM. A equalização do valor da RBS em relação aos do CBM e do  $qCO_2$  reforça a afirmação anterior apontando que, nesta condição, pode estar havendo uma maior retenção do carbono da MO na composição dos tecidos microbianos (BALOTA; MACHINESKI; MATOS, 2012; NOGUEIRA et al., 2015). Isto é devido ao estímulo dado à multiplicação da biota natural do solo na busca

por manter seu perfil estrutural frente à introdução dos novos microrganismos presentes na ARS, competidores por espaço e alimentos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Com a entrada de uma grande quantidade de AR, ocorrem momentos de alteração na estrutura da comunidade bacteriana que podem ocasionar alto estresse biológico, levando a comunidade ao máximo das suas atividades metabólicas, em função do seu reajustamento (FRENK; HADAR; MINZ, 2018). Dessa forma, os microrganismos tendem a atingir sua capacidade limite de atividade após uma perturbação alcançando o seu platô quando se refere a serviços ecossistêmicos (PARRON et al., 2015). No entanto, essa pressão ambiental é válida em certos casos, para ativar certos processos bioquímicos e enzimáticos que promovem maior eficiência e tornam a comunidade resiliente (EPELDE et al., 2012).

A dose  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  foi a que apresentou os valores menos aceitáveis, demonstrados, principalmente, pela redução da CBM e pelo aumento do  $\text{qCO}_2$ . Por outro lado, os dados de CBM encontrados para a dose  $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ( $130,91 \text{ mg C kg}^{-1}$  solo) revelaram um ganho de biomassa significativo em relação à testemunha e às demais concentrações inferiores. Foi possível observar um  $\text{qCO}_2$  mais estável quando comparado à testemunha e à dose  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (Figura 2). Esta entrada excessiva de nutrientes como nitrogênio (N), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K) pode saturar e comprometer algumas atividades microbianas, promovendo queda do potencial redox, retardando a taxa de decomposição levando até a salinização temporária do solo e limitando a disponibilidade de nutrientes (HERNANDEZ; POLO; PLAZA, 2013; RATH; ROUSK, 2015).

A quantidade de cada elemento químico presente num adubo, orgânico ou não, pode influenciar na obtenção de um índice de qualidade do solo (IQS) adequado (BALOTA, 2017). Trabalhos como o de Balota et al. (2014) identificaram uma influência negativa de doses de ARS acima de  $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  na esporulação de fungos micorrízicos devido ao fornecimento de altos teores de fósforo (P) ao solo, apesar de promover ganhos químicos crescentes ao solo, como melhora do carbono orgânico. Souza, Rodrigues e Marques (2016) reforçam que mudanças significativas podem ocorrer na macrofauna do solo após um grande período de adubação orgânica devido ao fornecimento de um carbono orgânico de lenta decomposição quando comparado ao proveniente de fontes minerais.

### **3.2 Bioindicadores e a dose agrônômica e ecológica mais viável**

Para a análise de regressão dos valores de CBM houve resposta polinomial de 2ª ordem (côncava ou positiva) com  $R^2 = 0,6092$ , sendo significativo pelo teste F (Figura 2a). Para RBS houve resposta polinomial de 2ª ordem (convexa ou negativa) com  $R^2 = 0,7226$ , sendo não significativo pelo teste F (Figura 2b).

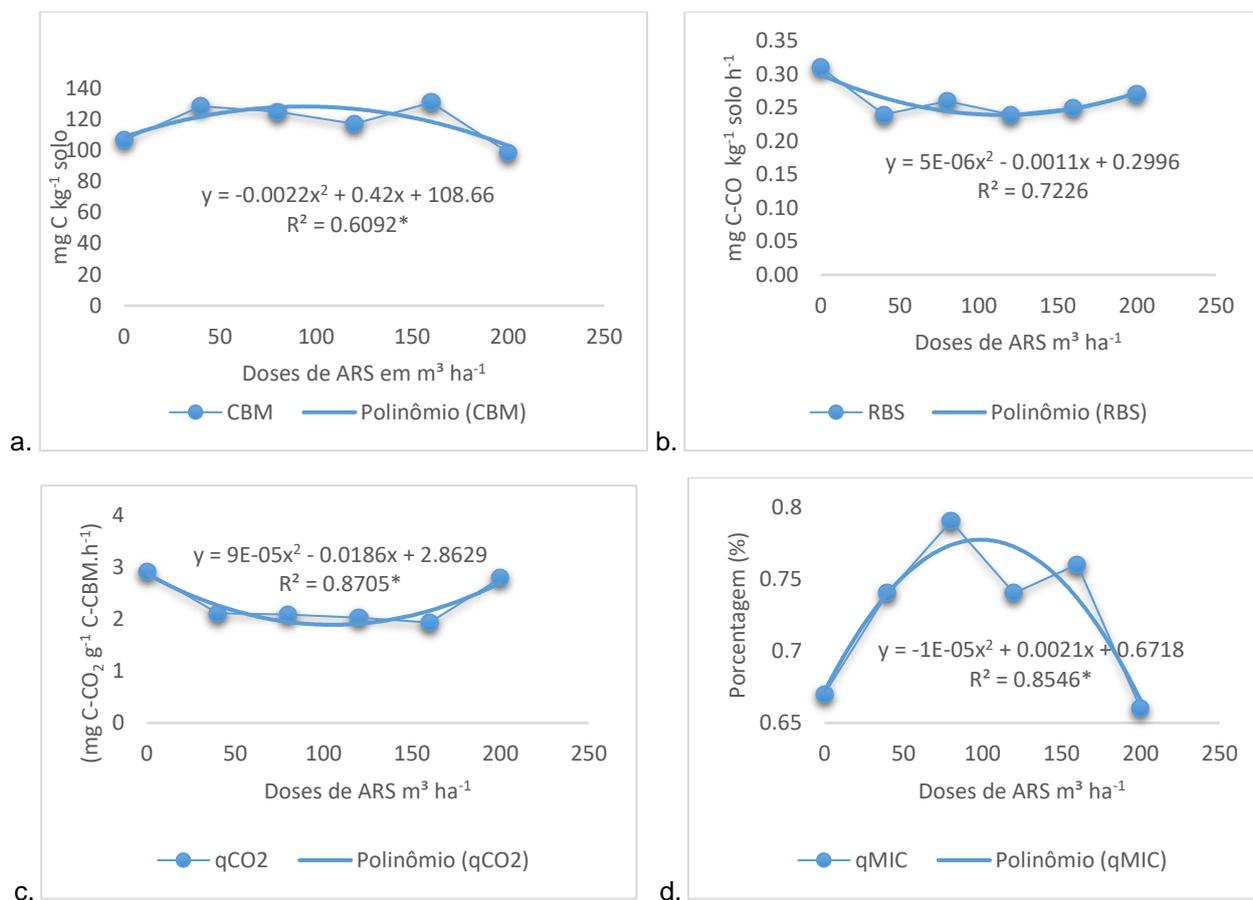


Figura 2 (2a) Análise de regressão para o carbono da biomassa microbiana (CBM), (2b) respiração basal do solo (RBS), (2c) quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e (2d) quociente microbiano (D) de Latossolo vermelho sob cultivo de pinhão-manso e aplicação de diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS)

Para qCO<sub>2</sub> houve resposta polinomial de 2ª ordem (convexa ou negativa) com  $R^2 = 0,8705$  sendo significativo pelo teste F (Figura 2c). Por fim, para qMIC houve resposta de 2ª ordem (côncava ou positiva) com  $R^2 = 0,8546$  sendo significativo pelo teste F (Figura 2d). Deste modo, foi possível estimar a dose ideal de ARS para cada variável observada, sendo, respectivamente, 100, 110, 103 e 100 m³ ha⁻¹ de ARS, correspondente à CBM, RBS, qCO<sub>2</sub> e qMIC (Figura 2). Resultados similares foram encontradas em trabalhos executados no mesmo tipo de Latossolo vermelho; por exemplo, foi possível quantificar uma ótima resposta dos atributos biológicos nas dosagens de 90 e 100 m³ ha⁻¹ na cultura do milho (BOLZANI; OLIVEIRA; LAUTENSCHLAGER, 2012; BALOTA et al., 2014; MOURA et al., 2016).

Segundo Balota, Machineski e Matos (2012), doses crescentes de ARS promovem o aumento gradual do CBM até 90 m³ ha⁻¹ ao ano em culturas com ciclo mais curto como soja. Para estes autores, doses muito altas de resíduos orgânicos tendem a promover a redução da CBM com consequente perda de carbono devido ao tipo de manejo realizado. Já para Plaza et al. (2004), na dosagem de até 150 m³ ha⁻¹ ao ano foi identificada incorporação do

carbono e do nitrogênio na BM no cultivo da soja, mas, acima disso, o manejo foi considerado prejudicial, pois demonstrou aumento da mineralização parcial do carbono orgânico pela RBS.

Os atributos biológicos variam de acordo com o tipo de solo, clima, temperatura, pH, aeração, textura do solo e, principalmente, em relação à fonte de MO fornecida à comunidade microbiana. A comunidade microbiana deve ser de qualidade para que haja a transformação e imobilização do carbono de forma eficiente, estando imediatamente disponível para a planta (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CARDOSO; ANDREOTE, 2016; BALOTA, 2017). Dessa forma, determinar o teor de MO do solo é imprescindível para a maior eficiência da decomposição, assim como a qualidade do carbono fornecido ao solo.

Os valores médios de MO foram diferentes (em p-valor <0,10) a saber: Testemunha: 4,99; dose 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>: 3,64; dose 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>: 3,58; dose 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>: 3,47; dose 160 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>: 3,32 e dose 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>: 4,79%. O modelo estatístico que melhor se ajustou para a obtenção deste parâmetro foi o polinomial de segunda ordem com coeficiente de determinação 0,87, o que permitiu observar um incremento da MO apenas no T6 (4,79%), sendo o valor mais próximo da testemunha T1 (4,99%).

Nos demais tratamentos foi observada uma queda quando comparado com a testemunha, assim como nos trabalhos de Scherer, Nesi e Massotti (2010) e Agne e Klein (2014), em que não constataram o incremento na MO do solo após uso prolongado de AR de suínos para o mesmo latossolo. No entanto, há uma estreita relação do teor de MO do solo com os atributos biológicos (Figura 3), principalmente com o qCO<sub>2</sub>, que apresentou uma correlação positiva absoluta. Estudos apontam que, na maioria das vezes, há grande eficiência metabólica da comunidade em converter o carbono a partir da MO acumulada no solo após aplicações sucessivas de AR, pois nessa fase inicial o carbono é mais rapidamente mineralizado e imobilizado pela presença de carbonados mais lábeis presentes na solução do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; GIACOMINI et al., 2008; SANTOS et al., 2015; BALOTA, 2017).

Por outro lado, neste trabalho foi observada uma relação inversamente proporcional da MO com o CBM (Figura 3). É sabido que o carbono da BM representa de 1 a 5% da MO total do solo, isto é, a MO é formada por todas as formas de carbono possíveis de serem encontradas no solo, seja mineralizado, imobilizado e humificado (NOGUEIRA et al., 2015). Desta forma, essa relação inversa pode estar relacionada com a qualidade da MO fornecida ao solo a partir da adubação orgânica, a qual ainda não foi totalmente incorporada pela CBM devido ao ajustamento populacional em que a comunidade se encontra no período de coleta (20 dias da última adubação) (SOMMER; SHERLOCK, 1996; AITA et al., 2006; BALOTA, 2017).

Observando a análise de componentes principais (ACP), o componente principal 1 (CP1) e o componente principal 2 (CP2) compuseram juntos 97,1% da variância total dos dados. O CP1 apresentou 88,2% e o CP2 8,9% (Figura 3), apontando, respectivamente que

os atributos  $qCO_2$  e RBS foram os que melhor discriminaram os dados deste estudo. A partir disso, nota-se que a dose de  $160\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  é a que apresenta a melhor relação dos atributos biológicos avaliados, pois encontra-se inversamente ao  $qCO_2$  e diretamente relacionado com a CBM do solo. Observando a testemunha e a dose de  $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ , nota-se que ambas estão diretamente relacionadas a altos índices de  $qCO_2$  demonstrando uma possível perturbação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

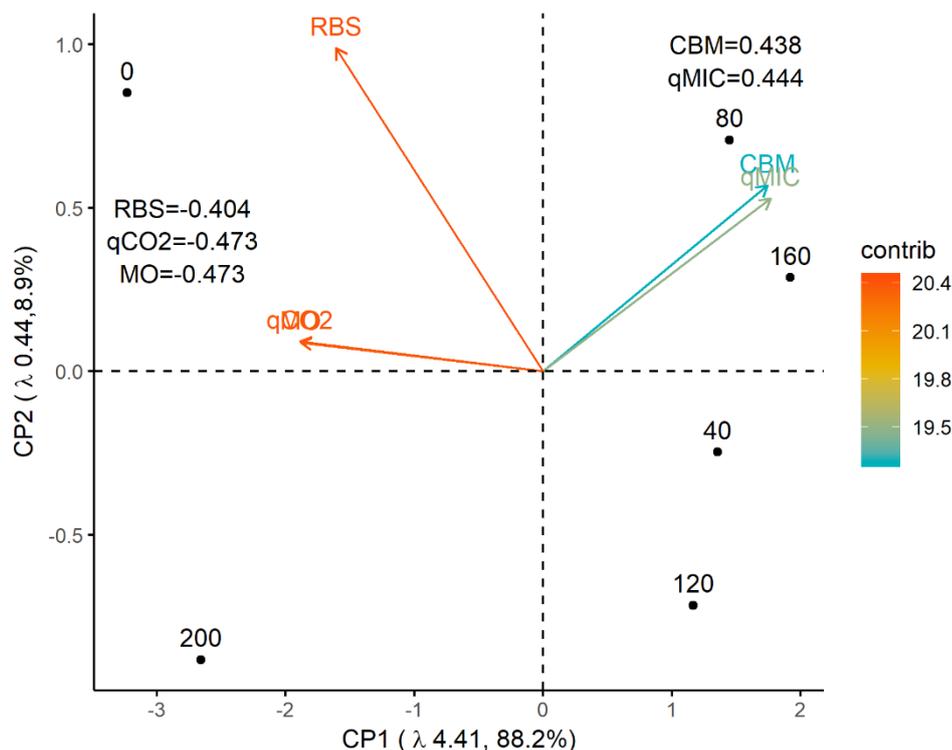


Figura 3 Análise de componentes principais (ACP) para atributos microbiológicos do solo obtidos de uma área experimental sob o cultivo de pinhão-manso na região Oeste do Paraná o qual foi submetido a sucessivas aplicações com diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS), sendo T1 (Testemunha), T2 ( $40\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ), T3 ( $80\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ), T4 ( $120\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ), T5 ( $160\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ) e T6 ( $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ). \* CBM: Carbono da biomassa microbiana do solo,  $qCO_2$ : Quociente metabólico, RBS: Respiração Basal do Solo, qMIC: Quociente microbiana e MO: Matéria orgânica do solo.

O metabolismo microbiano e sua dinâmica está relacionada com a taxa de decomposição da MO que se relaciona estritamente ao tipo e à quantidade de carbono presente no adubo orgânico, o qual pode variar de 20 a 40% do carbono (C) assimilável pela biota que tem como tempo médio de decomposição um período de 8 a 12 semanas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A assimilação do carbono remete às premissas básicas da adubação orgânica, que recomenda várias aplicações relativamente pequenas do que aplicações pesadas de resíduo de uma única vez, pois, ao longo do tempo, essa biota tende a incorporar gradativamente esse carbono, alcançando os níveis ideais de teor de CBM no solo (1 a 5%) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BALOTA, 2017).

Isto é reforçado quando observado a dose 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, em que o excesso de adubo foi capaz de reduzir a porcentagem de CBM quando comparado à testemunha (sem aplicação) (Figura 4), o que remete à importância tanto da qualidade do carbono inserido como também da quantidade limite para a capacidade suporte do solo, pois um carbono recalcitrante não será capaz de ser imobilizado pela biota (GIACOMINI et al., 2008; NOGUEIRA et al., 2015).

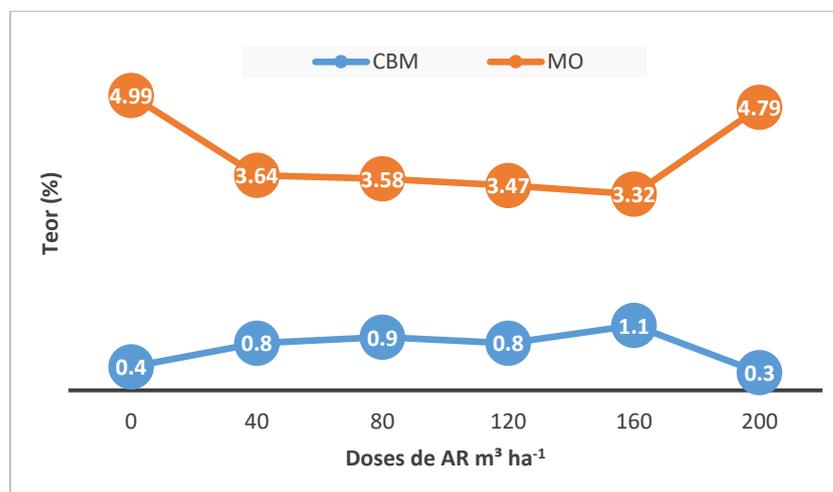


Figura 4 Relação do carbono da biomassa microbiana (CBM) e teores de matéria orgânica (MO) de Latossolo vermelho sob cultivo de pinhão-manso e aplicação de diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS).

Portanto, foi possível observar que a adição de resíduos orgânicos no solo pela AR interferem diretamente na atividade metabólica e na eficiência da decomposição da MO do solo, sendo que este necessita de um grande período de tempo para que possa vir a se estabilizar. Além disso, muitos estudos, como o de Plaza et al. (2004), Balota, Machineski e Matos (2012), Balota et al. (2014), Moura et al. (2016) corroboram que, a dose de 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> é a ideal para este tipo de solo, principalmente com cultivo predominante de uma planta perene, pois é mais adequado doses mais leves sob aplicações sucessivas para estimular constantemente a nível metabólico da comunidade microbiana, já que a cultura passa por períodos sob baixa cobertura do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

No entanto, este solo é capaz de se adequar e responder a uma dosagem de até 160 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> devido à sua condição de resiliência, tolerância e elasticidade do novo perfil da microfauna que se restabeleceu após o uso contínuo de ARS. No entanto, sob esta condição mais limitante, os bioindicadores vão servir para alertar e monitorar as atividades metabólicas para que, a longo prazo, o produto não possa ocasionar problemas de fertilidade e contaminação do solo (DIACONO; MONTEMURRO, 2010; MOURA et al., 2016; LUDWIG; WILMES; SCHRADER, 2017).

### 3.3 Microbiota do solo e capacidade limite de ARS no solo

Mesmo a dose ideal média de ARS sendo  $\sim 105 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , Latossolos vermelho, como deste estudo, podem tolerar aumento de até  $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de ARS, pois como apresentaram menores valores de  $q\text{CO}_2$  (perturbação metabólica) e maiores de CBM, pondera-se que houve um ganho considerável de CBM aliado a uma taxa respiratória adequada (RBS), com uma conversão de carbono estável e eficiente (menor  $q\text{CO}_2$ ) (Tabela 2).

Em termos percentuais, notaram-se que os valores de CBM aumentaram 23% de dose zero a  $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de ARS, já de zero a  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de ARS houve redução da CBM de -7,5%. Outro ponto relevante para indicar a dose de 160 como dose limite seria sua comparação com a dose 200 vias atributos microbianos; neste panorama, os valores CBM reduziram em -25%.

O  $q\text{MIC}$  e  $q\text{CO}_2$  são dois atributos microbianos e funcionam como bioindicadores muito importantes, pois o  $q\text{MIC}$  remete diretamente ao percentual de acúmulo de carbono orgânico no solo, refletindo no carbono imobilizado na biomassa (SILVA et al., 2010), enquanto que o  $q\text{CO}_2$  representa a eficiência da conversão do carbono e da atividade microbiana, sendo um importante indicador representativo de um ambiente sob estresse em relação a um ambiente estável (ANDERSON; DOMSCH, 2010; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Os valores  $q\text{CO}_2$  aumentaram 44% comparando as doses de 160 a 200, ou seja, o CBM na dose 200 não é eficiente na conversão de C via processo de respiração, indicando maior nível de perturbação biológica do solo. Neste cenário de comparação, houve diminuição de -13% dos valores de  $q\text{MIC}$ , indicando que menor quantidade de C-orgânico lábil está disponível para a quantidade de CBM; portanto, na dose de 200 houve ponto limite da microbiota em metabolizar a ARS (BALOTA, 2017).

Assim, devido à área experimental apresentar-se descoberta, é necessário a implementação de um manejo eficaz para manutenção da biota do solo devido a sua característica (AMARAL et al., 2011). Em cultivos perenes, há a possibilidade de realizar o consórcio do pinhão-manso com plantas de cobertura e/ou leguminosas nas entrelinhas, visto que os solos da região se caracterizam como ácidos com alta taxa de decomposição da MO (BALOTA, 2017). Exemplos das leguminosas que estimulam fixação biológica de nitrogênio (FBN), proporcionando maior incremento de N, contribuindo para o equilíbrio da relação C:N do solo em questão (FIDELIS et al., 2016; BALOTA, 2017).

Nas condições deste estudo, hipotetiza-se que a combinação de  $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de ARS em cultivo de pinhão-manso (ou outra planta perene), com plantas de cobertura nas entrelinhas, pode favorecer novos habitats microbianos, melhor qualidade biológica de solo e aumento do repositório nutricional do solo. Desta forma, a adubação orgânica via resíduos ou dejetos se apresenta como uma ótima fonte de MO e de microrganismos distintos que podem vir a ser incorporados neste solo, estimulando a diversidade metabólica microbiana para em

busca da reestruturação do mesmo (LAMBAIS et al., 2005; AMARAL et al., 2011; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Girotto et al. (2010) afirmam que a aplicação de doses de até  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de ARS por muito tempo em um solo, pode exceder a sua capacidade suporte, passando a acumular alguns micronutrientes, como cobre (Cu), magnésio (Mg) e zinco (Zn). Balota e Chaves (2010) afirmam que na dosagem  $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  pode ocorrer redução da mineralização do nitrogênio (N) e possíveis perdas por volatilização. Tal fato foi confirmado por outros pesquisadores que constataram o acúmulo de N ocasionando contaminação e lixiviação do solo em dosagens acima de  $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (HERNANDEZ; POLO; PLAZA, 2013). Por outro lado, Castaldelli et al. (2015) não observaram nenhum efeito negativo na macro e mesofauna de solos sob o cultivo de milho com aplicações de ARS de doses até  $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Silva et al. (2015) avaliaram diversos atributos biológicos como a atividade enzimática e o quociente metabólico em diversas áreas de pastagens e não identificaram alteração na funcionalidade dos solos avaliados.

A RBS é um importante atributo relacionado à atividade biológica, envolvendo características bióticas e abióticas do meio ambiente (SILVA et al., 2010). Neste trabalho, para todos os tratamentos sob aplicações com ARS, foi observado pouca variação do valor deste atributo (Tabela 2), exceto para o T6, pois o aumento da respiração combinado com os demais atributos (CBM,  $q\text{CO}_2$  e  $q\text{MIC}$ ) demonstrou um estresse microbiano para esta dose ( $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Outros autores descreveram que devido à inserção de uma grande quantidade de resíduos que não foi assimilada de forma eficiente, sendo, portanto, parte mineralizada, devido à dissociação de carbonatos presentes no resíduo e à rápida liberação de  $\text{CO}_2$  quando inserida no ambiente uma ARS mais alcalina (pH acima de 7,0), como é o caso da usada neste estudo em questão (SOMMER; SHERLOCK, 1996; BOLZANI; OLIVEIRA; LAUTENSCHLAGER, 2012; ETESAMI, 2018).

Dessa forma, entende-se que até mesmo com um composto orgânico é necessário realizar o manejo adequado de modo que o seu uso em excesso não comprometa as funções e atividades microbianas. Sendo assim, o monitoramento e a orientação aos produtores são fundamentais para a prática da adubação sustentável, de modo a promover apenas benefícios.

#### **4 CONCLUSÃO**

- A dose ideal de ARS para um latossolo vermelho eutroférico cultivado com pinhão-manso foi a de  $110 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ;
- No entanto, devido à tolerância e à plasticidade estabelecidas pela reestruturação dos microrganismos presentes neste solo, é possível o uso do produto como adubo até o volume de  $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , representando esta a dose de capacidade suporte do solo.

## REFERÊNCIAS

- AGNE, S. A. A.; KLEIN, V. A. Matéria orgânica e atributos físicos de um latossolo vermelho após aplicações de dejetos suínos, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 720-726, 2014.
- AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; GIACOMINI, S. C.; HUBNER, A. P.; MARQUES, M. G. Decomposição de palha de aveia preta e dejetos de suínos em solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 149-161, 2006.
- AMARAL, H. F.; SENA, J. O. A.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. S. Soil chemical and microbial properties in vineyards under organic and conventional management in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1517-1526, 2011.
- ANDERSON, T.; DOMSCH, K. H. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 2039-2043, 2010.
- ANDRADE, D. S.; HAMAKAWA, P. J. Estimativa do número de células viáveis de rizóbio no solo e em inoculantes por infecção em plantas. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPASPI, v.1, n.1, p.63-94, 1994.
- ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p.66-75, 2007.
- BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Mecenaz, 2017, 288 p.
- BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Enzymatic activity and mineralization of C and N in soil cultivated with coffee and green manures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n.5, p. 1573-1583, 2010.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of Total Environment**, v. 490, n.1, p. 397-404, 2014.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; MATOS, M. A. Soil microbial biomass under different tillage and levels of applied pig slurry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 487-495, 2012.
- BOLZANI, H. R.; OLIVEIRA, D. L. do A.; LAUTENSCHLAGER, S. R. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura no solo e na qualidade dos seus lixiviados, **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 385-392, 2012.
- CAPAZ, R. S.; NOGUEIRA, H. **Ciências Ambientais para Engenharia**. São Paulo: Elsevier, p. 352, 2014.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do Solo**. 2. ed. Piracicaba: Esalq, 2016. 221 p.

CASTALDELLI, A. P. A.; SAMPAIO, S. C.; TESSARO, D.; HERRMANN, D. da R.; SORACE, M. Meso e macrofauna de solo cultivado com milho e irrigado com água residuária da suinocultura, **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 905-917, 2015.

COLODEL, J. R.; PIERANGELI, M. A. P.; SOUZA, M. F. P.; CARVALHO, M. A. C.; DALCHIAVON, F. C. Atributos físicos e biológicos de Argissolo vermelho-amarelo amazônico sob diferentes sistemas de uso e manejo, **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n.2, p. 287-297, 2018.

DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility: a review. **Agronomy for sustainable development**, v. 30, n. 1, p. 401-422, 2010,

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, p. 232, 1997.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa - Solos, 2011

EPELDE, L.; MARTÍN-SANCHEZ, I.; GONZÁLEZ-OREJA, J. A.; ANZA, M.; GÓMEZ-SAGASTI, M. T.; GARBISU, C. Impact of sources of environmental degradation on microbial community dynamics in non-polluted and metal-polluted soils. **Science of the total environment**, v. 433, n. 1, p. 264-272, 2012.

ETESAMI, H. Can interaction between silicone and plant growth promoting rhizobacteria benefit in alleviating abiotic and biotic stresses in crop plants. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 253, n.1, p. 98-112, 2018.

FAO. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Estatísticas FAO**, 2014.

FIDELIS, R. R.; ALEXANDRINO, C. M. dos S.; SILVA, D. B. da.; SUGAI, M. A. A.; SILVA, R. R. da. Indicadores biológicos de qualidade do solo em culturas intercalares ao pinhão manso. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v. 9, n. 3, p.87-95, 2016.

FRENK, S.; HADAR, Y.; MINZ, D. Quality of irrigation water affects soil functionality and bacterial community stability in response to heat disturbance, **Applied and environmental microbiology**, v. 84, n. 4, p. 1-14, 2018.

GERVÁSIO, E. W. **Suinocultura Paranaense**. Londrina: SEAB - Secretaria do Estado da Agricultura e Abastecimento, 2017.

GIACOMINI, D. A.; AITA, C.; PUJOL, S. B.; GIACOMINI, S. J.; DONEDA, A.; CANTU, R. R.; DESSBESELL, A.; LUDTKE, R. C.; SILVEIRA, C. A. P. Mitigação das emissões de amônia por zeólitas naturais durante a compostagem de dejetos de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n. 1, p. 521-539, 2014.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; MIOLA, E. C. C.; RECOUS, S. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 2661-2668, 2008.

GIROTTO, E, CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D. S.; SILVA, L. S.; LOURENZI, C. R.; LORENSINI, F.; VIEIRA, R. C. B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de

cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 955-965, 2010.

HERNANDEZ, D.; POLO, A.; PLAZA, C. Long-term effects of pig slurry on barley yield and N use efficiency under semiarid Mediterranean conditions. **European Journal Agronomy**, v. 44, n. 1, p. 78-86, 2013.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976.

KÖPPEN, W. P. Climate-data.org. **Classificações climáticas**. 1999. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/43679/>>. Acesso em: 2 jan. 2019.

LAMBAIS, M. R.; CURY, C. J.; MALUCHE-BARETTA, C. R.; BULL, R. C. Diversidade microbiana nos solos: definindo novos paradigmas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, n. 1, p. 43-84, 2005.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. da; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; CONTI, L. de; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 157-167, 2013.

LUDWIG, M.; WILMES, P.; SCHRADER, S. Measuring soil sustainability via soil resilience. **Science of the Total Environment**, Elsevier, v. 615, n. 1, p.1-10, 2017.

MATOS, A. T.; SEDIYAMA, M. A. N.; FREITAS, S. P.; VIDIGAL, S. M.; GARCIA, N. C. P. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquidos suíno. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 44, n. 254, p. 399-410, 1997.

MATOS, M. A.; COLOZZI FILHO, A.; BARBOSA, G. M. C.; CAVIGLIONE, J. H.; NOGUEIRA, M. A.; ANDRADE, D. S. Chemical and microbiological changes in a Sandy soil with pig liquid waste application in Southern Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, Elsevier, v. 11, n. 49, p. 5000-5007, 2016.

MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. **Microbiologia do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. In: FALEIRO, A.; ANDRADE, S. R. M.; REIS JUNIOR, F. B. (Ed.). Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 219-244, 2011.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 626 p. abril, 2006.

MOURA, A. C.; SAMPAIO, S. C.; REMOR, M. B.; SILVA, A. P. da; PEREIRA, P. A. M. Long-term effects of swine wastewater and mineral fertilizer association on soil microbiota. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 318-328, 2016.

NOGUEIRA, M. A.; MIYAUCHI, M. Y. H.; BINI, D.; ANDRADE, G. Microrganismos e Processos Microbianos como Bioindicadores de Qualidade Ambiental. In: YAMADA-OGATTA, S. F.; NAKAZATO, G.; FURLANETO, M. C.; NOGUEIRA, M. A. **Tópicos Especiais em Microbiologia**. Londrina: Uel, 2015. Cap. 17. p. 262-281.

ORSANEN, J. F.; BLANCHET, G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; HENRY, M.; STEVENS,

H.; SZOECS, E.; WAGNER, H. **Vegan**: Community Ecology Package. R package version 2.5-3, 2018. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=vegan/>>. Acesso em: 2 jan. 2019.

PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, p. 374, 2015.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 495-505, 2014.

PLAZA; C. HERNANDÉZ, D.; GARCÍA-GIL, J. C.; POLO, A. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 36, n. 10, p. 1577-1585, 2004.

R STUDIO TEAM. 2018. **RStudio**: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/>>. Acesso em: 25 set. 2016.

RATH, K. M.; ROUSK, L. Salt effects on the soil microbial decomposer community and their role in organic carbon cycling: a review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 81, p. 108-123, 2015.

REZENDE, A. V. de; VALERIANO, A. R.; VILELA, H. H.; CESARINO, R. de O.; SALVADOR, F. M.; SILVEIRA, C. H. Milho fertirrigado com dejetos líquidos de suínos para ensilagem. **Agrarian**, Dourados, v.2, n. 5, p. 7-20, 2009.

REZNIK, A.; FEINERMAN, E.; FINKELSHTAIN, I.; FISHER, F.; HUBER-LEE, A.; JOYCE, B.; KAN, I. Economic implications of agricultural reuse of treated waste water in Israel: a statewide long-term perspective. **Ecological Economics**, v. 135, n. 1, p. 222-233, 2017.

SAMPAIO, S. C.; CAOVILO, F. A.; OPAZO, M. A. U.; NOBREGA, L. H. P. SUSZEK, M.; SMANHOTTO, A. Lixiviação de íons em colunas de solo deformado e indeformado. **Revista de Engenharia Agrícola**. v. 30, n. 1, p. 150-159, 2010.

SANTOS, F. L. dos; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C.; CAETANO, J. O.; BENITES, V. de M.; SOUZA, E. D. de. Atributos bioquímicos do solo sob diferentes sistemas de produção no sudoeste goiano. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 2, p.74-86, 2015.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 1375-1383, 2010.

SEIDEL, E. P.; GONÇALVES JUNIOR, A. C.; VANIN, J. P.; STREY, L.; SCHWANTES, D.; NACKE, H. Aplicação de dejetos suínos na cultura do milho cultivado em Sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Maringá**, v. 32, n. 2, p. 113-117, 2010.

SILVA, R. F.; BASSO, C. J.; BERTOLLO, G. M.; CORASSA, G. M.; COCCO, L. B.; STEFFEN, R. B. Doses de dejetos líquidos de suínos na comunidade da fauna edáfica em sistema de plantio direto e cultivo mínimo. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 418-424, 2014.

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

SILVA; D; M.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. de O.; SILVA, D. A. A.; RACHE, M. M.; PASSOS, V. H. G.; SILVA, B. R. Indicadores microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 1585-1594, 2015.

SINGH, J. S.; PANDEY, V. C.; SINGH, D. P. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 140, n. 1, p. 339-353, 2011.

SOMMER, S. G.; SHERLOCK, R. R. pH and buffer component dynamics in the surface layer of animal slurries. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 127, n. 1, p. 109-116, 1996.

SOUZA, T. A. F.; RODRIGUES, A. F.; MARQUES, L. F. Long-term effects of alternative and conventional fertilization on macroarthropod community composition: a field study with wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivated on a ferralsol, **Organic Agriculture**, v. 6, n. 4, p. 323-330, 2016.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, n.1, p. 703-707, 1987.

## 5.2 ARTIGO 2 – PERFIL DA COMUNIDADE BACTERIANA DE UM SOLO AO LONGO DE SUCESSIVAS APLICAÇÕES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUÍNOS (ARS)

### Resumo

A adubação com água residuária de suínos (ARS), é utilizada por produtores a fim de reaproveitar os rejeitos do manejo intensivo de animais. Quando este resíduo é manejado incorretamente, podem haver interferências negativas sobre a estrutura e função de uma comunidade microbiana, comprometendo a longevidade e a fertilidade do solo. O presente estudo teve por objetivo investigar a densidade e a diversidade da comunidade bacteriana em relação aos atributos biológicos de solo sob cultivo de pinhão-manso e diferentes doses de água residuária de suínos (ARS). O experimento foi conduzido em blocos casualizados em uma área sob o cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) com seis tratamentos e três repetições para diferentes dosagens de ARS, sendo 0, 40, 80, 120, 160 e 200 ARS em  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ . Foram realizadas cinco coletas de solo durante um período de duas aplicações programadas de ARS (1 e 2). A primeira (C1) aconteceu aos seis dias antes da aplicação da ARS 1, realizada no dia 12 de dezembro de 2017. A segunda (C2) e a terceira (C3) coletas ocorreram a 10 e a 50 dias, respectivamente, após a aplicação da ARS 1. Em março de 2018, houve a segunda aplicação (ARS 2) e as coletas também seguiram os intervalos. Os atributos avaliados foram: contagem das unidades formadoras de colônias (UFC); diversidade microbiana pela tipagem morfológica; biomassa microbiana (CBM); quociente metabólico ( $\text{qCO}_2$ ); e valores da atividade enzimática do diacetato de fluoresceína (FDA). Foram realizados o teste F e a análise de componentes principais (ACP). Os índices de diversidade foram obtidos pelos índices de Shannon-Weaver e a Dominância através do software PAST 3. A adubação com ARS promoveu alteração na estrutura da comunidade microbiana ao longo das aplicações, aumentando a densidade e a diversidade bacteriana que foram incorporadas como resilientes no solo até dose  $160 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ . Os valores obtidos ao longo das coletas, apontam que, com o tempo, os solos submetidos a dose mais adequada conseguiram estabelecer um novo perfil, reequilibrando as atividades metabólicas da comunidade. O pinhão-manso, em seu sistema de cultivo perene, contribuiu para selecionar os microrganismos resilientes, reforçando a evidência da redução da diversidade a longo prazo, como demonstrado pelo índice de Shannon encontrado para a C5. Desta forma, a aplicação de ARS é uma opção como adubo orgânico em culturas perenes, mas precisa de um manejo de consórcio com outras plantas para aumentar a biodiversidade da comunidade melhorando a saúde e longevidade produtiva do solo.

**Palavras-chave:** Densidade, diversidade, dose, resíduo orgânico, rizobactérias.

## PROFILE OF THE MICROBIAL COMMUNITY OF A SOIL BEYOND SUCCESSIVE APPLICATIONS OF WASTEWATER SWINE (ARS)

### Abstract

Fertilizer with wastewater swine (ARS) is used by producers in order to reuse the waste from intensive livestock management. When this residue is handled incorrectly, there may be negative interferences on the structure and function of a microbial community, compromising soil longevity and fertility. The present study aimed to investigate the density and diversity of the bacterial community in relation to the biological attributes of soil under *Jatropha* cultivation and different doses of swine wastewater (SW). The experimental design was conducted in a randomized block in an area under *Jatropha curcas* L., with six treatments and three repetition at different ARS dosages of ARS, being 0, 40, 80, 120, 160, and  $200 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ . Five soils samples were collected during a period of two programmed ARS applications (1 and 2). The first (C1) occurred six days before the application of ARS 1 held on December 12, 2017. The second (C2) and the third (C3) samplings occurred at 10 and 50 days, respectively, after application of ARS 1. In March 2018, there was the second application (ARS2), and the samplings also followed the intervals. The attributes evaluated were: counting of colony forming units (UFC); microbial diversity by morphological typing; microbial biomass (CBM); metabolic quotient

( $qCO_2$ ); and values of the enzymatic activity of fluorescein diacetate (FDA). The F test and Principal Component Analysis (PCA) were performed. Diversity values were obtained by the Shannon-Weaver and Dominance indices using the PAST 3 software. The ARS fertigation promoted a change in the microbial community structure along the applications increasing the density and bacterial diversity that were incorporated as soil resilient up to  $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . The values obtained during the collection indicate that, over time, the soils submitted to the most adequate dosage were able to establish a new profile, rebalancing the metabolic activities of the community. *Jatropha* sp., in its perennial cropping system, contributed to the selection of resilient microorganisms, reinforcing evidence of long-term reduction of diversity, as demonstrated by the Shannon index found for C5. Thus, fertirrigation is an option as an organic fertilizer in perennial crops, but it needs a management of consortium with other plants to increase the biodiversity of the community, improving the health and productive longevity of the soil.

**Key words:** Density, diversity, dose, organic residue, rhizobacteria.

## 1 INTRODUÇÃO

A produção animal em confinamento exige higienização intensa e constante para manutenção da sanidade (AGUILAR et al., 2015). Portanto, os plantéis de suínos geram um grande volume de dejetos na forma líquida, conhecido como AR de suínos (ARS). A ARS é um composto constituído por fezes, urina, resquícios de antibióticos, água e detergentes, porém considerado rico em nutrientes como nitrogênio, fósforo e carbono, elementos essenciais para o crescimento de plantas, o que torna este produto um forte candidato a adubação agrícola (CAPAZ; NOGUEIRA, 2014).

A adubação orgânica com ARS também promove a inserção de uma grande quantidade de microrganismos no solo (SEDIYAMA et al., 2016). Segundo Shaer-Barbosa, Santos e Medeiros (2014), estes novos indivíduos podem ser benéficos sendo funcionais da decomposição direta de MO, especializados na conversão de compostos nutrientes bem como de efeito fungistático e/ou bacteriostático (CAPAZ; NOGUEIRA, 2014; MADIGAN, 2016). Por outro lado, quando o composto é manipulado indevidamente e/ou advindo de procedimentos sanitários duvidosos pode haver a introdução de organismos de baixa eficiência ambiental além de poderem ser patogênicos para plantas e até humanos (BECERRA-CASTRO et al., 2015).

Estudos indicam o aumento de cobre (Cu) e zinco (Zn) no solo e alteração na estrutura e função da comunidade microbiana devido ao acúmulo de antibióticos oriundos da aplicação sucessiva de ARS por longos períodos (FATTA-KASSINOS et al., 2011). A ARS, mesmo passando por algum processo de tratamento fermentativo pode ainda causar problemas para o ambiente dependendo da quantidade, período e locais de descarte (SÁNCHEZ-PEINADO et al., 2010; SAHKIR; ZAHRAW; OBAIDY, 2017).

A introdução descontrolada e constante de uma grande quantidade de microrganismos no ambiente solo pode, por competição, estimular estabelecimento de um novo perfil

estrutural revelando outros grupos resilientes, porém de baixa efetividade metabólica (BECERRA-CASTRO et al., 2015; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Geralmente seres resilientes desempenham atividades redundantes entre si, mas fundamentais para a promoção e a manutenção metabólica do ambiente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BEVER; PLATT; MORTON, 2012). Além disso, em cada tipo de solo, existe um equilíbrio biológico dinâmico envolvendo comunidades específicas adaptadas às aquelas condições, principalmente em áreas cultivadas em que os microrganismos tendem a serem selecionados frente às pressões do ambiente (RASCHE; CADISH, 2013; CHEN et al., 2017).

A ciclagem do carbono (C) no solo está diretamente relacionada à maior riqueza de microrganismos no ambiente (NIELSEN; AYRES; WALL, 2010). Neste mesmo trabalho, observaram que áreas com baixa diversidade e alta abundância, indicam frequentemente redundância funcional, o que denota a especificidade de alguns grupos e a importância da manutenção da biodiversidade.

A estabilidade de um sistema ecológico reflete diretamente no balanço dos atributos físico-químicos do solo, sendo, assim, a perda da diversidade, a longo prazo, pode comprometer irreversivelmente a fertilidade de um solo e diretamente os ganhos produtivos do local (BALOTA, 2017). No entanto, em sistemas agrícolas, o monocultivo e/ou a baixa rotação de plantas tem exercido uma pressão seletiva significativa devido à liberação repetitiva de exsudatos específicos que culminam por selecionar alguns indivíduos especializados e adaptados em detrimento a outros para a conversão de nutrientes essenciais naquela situação agroecológica (CHEN et al., 2017).

Neste contexto, em cultivos de plantas perenes como o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), o uso da adubação orgânica com ARS se faz ainda mais pertinente, pois pode promover a inserção de novos seres que poderão ser incorporados e tornarem-se funcionais para o solo, melhorando o CBM e das plantas. Todavia, segundo Moura et al. (2016), a inserção de uma quantidade excedente do resíduo pode provocar a redução da diversidade biológica do solo após anos de aplicação sucessivas com dosagens altas de água residuária de suínos (ARS).

Frenk, Hadar e Minz (2018) também constataram dominância bacteriana em solos mais arenosos após a irrigação sucessiva com diferentes tipos de água residuária. Becerra-Castro et al. (2015) relatam que quando há inserção de um resíduo sem tratamento prévio ocorre perturbação da comunidade microbiana com eliminação da biota endógena e instalação da biota exógena, isto é, proveniente da ARS.

Trabalhos apontam que dosagens menores de ARS aplicadas sob períodos menos distantes são capazes de promover maiores benefícios para os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo não só em produtividade, mas em condicionamento físico e químico com ganhos nutricionais e ecológicos (LOURENZI et al., 2013; FUESS; GARCIA, 2014; BALOTA, 2017). Este efeito foi visível no trabalho de Andrade et al. (2002), que constataram maior

eficiência e aumento da população de bradirizóbio em um latossolo em áreas que recebiam a dose de 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> anualmente. Deste modo, se faz importante avaliar as interferências biológicas de uma adubação orgânica ao longo dos períodos programados para as aplicações, a fim de identificar os momentos de retomada do equilíbrio dinâmico e da estabilidade sazonal (MOREIRA; SIQUEIRA,2006).

Portanto, a adubação orgânica tem tido seus benefícios agrônômicos e ambientais comprovados, mas deve ser um manejo recomendado e conduzido sob constante monitoramento ambiental. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi investigar a densidade, a diversidade da comunidade bacteriana em relação aos atributos bioquímicos/enzimáticos de solos sob cultivo de pinhão-manso e diferentes doses de ARS.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização e caracterização da área de estudo**

Este trabalho foi realizado no Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo (CAEAAC), pertencente à cidade de Palotina – PR no Oeste do Paraná, cujas coordenadas geográficas são de 24° 12' 00" latitude sul, de 53° 50' 30" longitude oeste (Greenwich), com altitude média de 332 m. Santos et al. (2018) caracteriza o solo da região como sendo um Latossolo Vermelho Eutroférico de textura argilosa, sendo o relevo considerado levemente ondulado com 5% de declividade. O clima da região é caracterizado como do tipo subtropical úmido (Cfa) com pluviosidade média anual de 1800 mm (KOPPEN, 1999), com predominância de verões quentes e chuvosos e invernos secos e frios, como o ocorrido durante a execução do experimento (Figura 1).

### **2.2 Delineamento experimental**

A cultura modelo selecionada para cultivo na área foi o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), uma Euphorbiaceae, arbustiva e perene que foi instalada em 2006 em uma área total de 900 m<sup>2</sup>. No local foi feita a sub-divisão em dezoito parcelas (3 x 4 m), onde foram instaladas quatro plantas por parcelas. O experimento foi conduzido em blocos completos casualizados (DBC), sendo as parcelas divididas em seis tratamentos e três repetições, sendo: testemunha (T1) e cinco diferentes dosagens de água residuária de suínos (ARS): T2 = 40, T3 = 80, T4 = 120, T5 = 160 e T6 = 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. A distribuição foi feita por sorteio respeitando o grau de liberdade e as dosagens definidas segundo Rezende et al. (2009) e reafirmadas por Balota (2017).

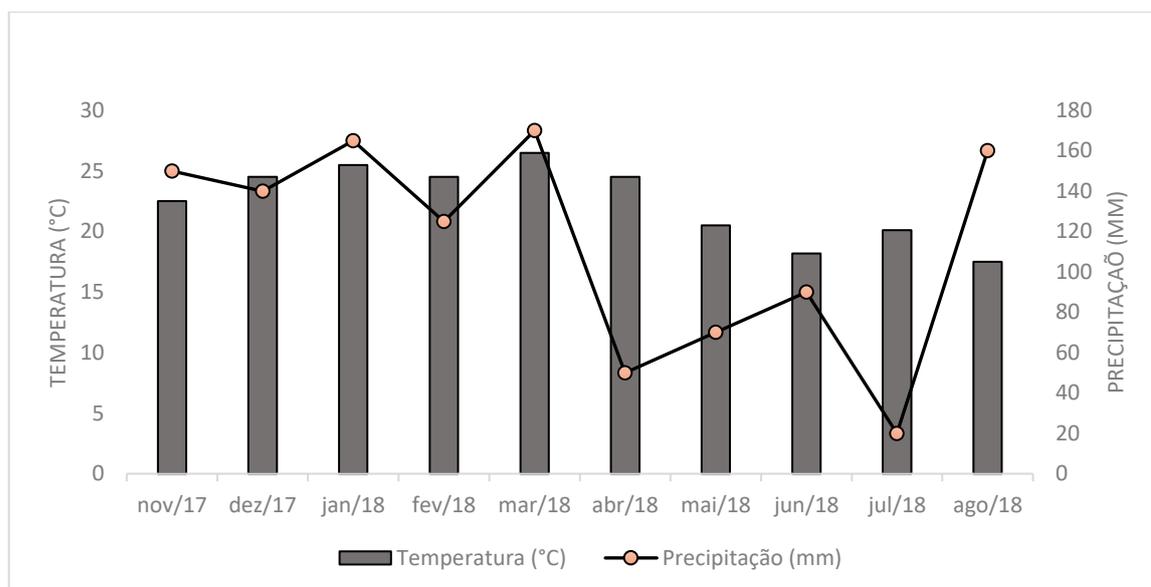


Figura 1 Gráfico de precipitação e temperatura do município de Palotina/PR do período de 2017 a 2018

Fonte: Adaptado do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2018).

### 2.3 Aplicação da água residuária de suínos (ARS) e amostragem do solo

Desde 2012, a área experimental recebe aplicações sucessivas de água residuária de suínos em períodos pré-definidos. Essas aplicações iniciam sempre antes do período de florescimento e produção do pinhão-manso em dezembro, e seguem a cada três meses nos períodos subsequentes. O último período de manejo da área foi em junho de 2015; desde então, a área permaneceu em descanso. Neste estudo, a primeira aplicação foi realizada em dezembro de 2017 e a segunda em março de 2018. Foram feitas aplicações com o auxílio de regadores de PVC com capacidade de 10 L. Esses rejeitos foram obtidos a partir de baias que continham suínos em fase de terminação e armazenados na esterqueira da propriedade; dessa forma, o resíduo utilizado detinha tempos de fermentação distintos.

Foram realizadas cinco coletas de solo durante um período de duas aplicações programadas de ARS (1 e 2). A primeira (C1) aconteceu aos seis dias antes da aplicação da ARS 1 realizada no dia 12 de dezembro de 2017. A segunda (C2) e a terceira (C3) coletas ocorreram a 10 e a 50 dias, respectivamente, após a aplicação da ARS 1. Em março de 2018, houve a segunda aplicação (ARS 2) e as coletas também seguiram os intervalos (Figura 2).

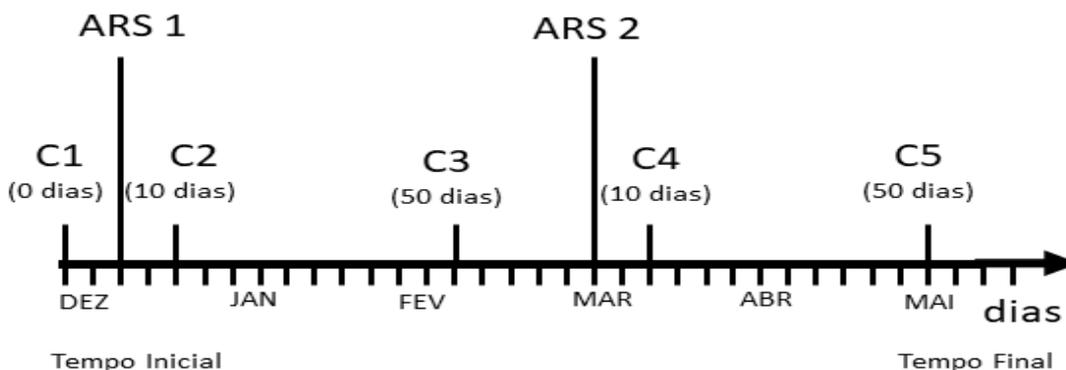


Figura 2 Diagrama dos períodos de coleta na área experimental com o cultivo de pinhão-manso, Palotina/PR. Onde: C1 a C5 refere-se as coletas realizadas; ARS 1 e ARS 2 referem-se as distintas aplicações feitas.

Fonte: O autor (2019).

Para a realização das coletas, foi utilizado um trado holandês a uma profundidade de 10 - 15 cm, pois é a região do solo que se concentra a maior atividade microbiana (ANDRADE; HAMAKAWA, 1994). Em cada parcela foram coletadas cinco subamostras, totalizando 90 amostras, que foram homogeneizadas, etiquetadas e mantidas em isopor com gelo até serem encaminhadas ao Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina.

#### 2.4 Atributos biológicos do solo

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi obtido pelo processo de fumigação e extração conforme o proposto por Vance, Brookes e Jenkinson (1987). O quociente de carbono orgânico ( $qCO_2$ ) foi obtido pela razão entre a RBS por unidade de CBM. A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico, segundo Embrapa (2011). A atividade enzimática foi determinada pelo método da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), segundo Schuner e Rosswall (1982).

#### 2.5 Obtenção da diversidade morfológica e densidade populacional

Para obtenção da densidade bacteriana, foi empregado o método de Dionísio et al. (2016) que consiste no isolamento e na contagem das unidades formadoras de colônias (UFC) oriundas a partir de colônias viáveis e puras do solo. A diluição seriada foi realizada em solução salina, o plaqueamento das concentrações  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$  feito no meio de cultura Dygs (DÖBEREINER; BALDANI; BALDANI, 1995) e o crescimento foi promovido em BOD a temperatura de 27 °C por 72 horas. A diluição ( $10^{-3}$ ) foi escolhida para a caracterização morfológica e a obtenção da diversidade segundo método de Hofling e Gonçalves (2011) modificado, o qual considera as seguintes características morfológicas: tamanho (pequena,

média ou grande), forma (circular, irregular ou rizoide), borda (lisa, lobada, espiral ou ondulada), homogeneidade (homogênea ou heterogênea), cor (incolor ou pigmentada), brilho (opaca, transparente, translúcida ou opaca), elevação (convexa, plana, elevada, papilada ou crateriforme), estrutura (lisa, granulosa, filamentosa ou rugosa) e aspecto (lisa, granulosa, filamentosa ou rugosa).

## **2.6 Análises estatísticas**

Para obtenção da diversidade morfológica, os dados foram agrupados pelos valores de características pelo algoritmo UPGMA, utilizando a distância euclidiana com 1000 repetições de bootstrap com auxílio do programa Bionumerics 7.5, cujos resultados foram condensados na tabela 1. A partir disso foi obtido os índices de Shannon-Weaver e de Dominância de Simpson pelo software PAST 3.

A atividade enzimática da FDA foi testada quanto à adequação dos resíduos; a distribuição normal dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk; e a homogeneidade por Bartlett e Levente, após constatado serem dados não-paramétricos, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis a nível de 10% de significância.

As diferenças dos atributos biológicos CBM, qCO<sub>2</sub>, UFC e FDA ao longo das coletas foram acessadas por meio da análise permutacional de variâncias (Permanova) com 9999 permutações e  $\alpha=0,05$ , utilizando uma matriz de dissimilaridade de Bray-curtis gerada a partir dos valores logaritimizados. Comparações par a par foram feitas pela correção de Bonferroni para o valor de p. Em seguida, foi realizada a análise de componentes principais (ACP) utilizando o pacote vegan (JARI OKSANEN et al., 2018); todos os dados foram obtidos sobre a matriz de correlação de Pearson, com o critério de retenção de componentes principais (CPs) de “broken-stick”. Os dados foram obtidos com o auxílio do Programa RStudio (R CORE TEAM, 2018).

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Diversidade e densidade da comunidade microbiana**

De maneira geral, pela Tabela 1, foi possível constatar um incremento na densidade bacteriana da biota do solo após a aplicação das diferentes doses da água residuária (C2: 274; C3: 222; C4: 375 e C5: 224 isolados, respectivamente), quando comparadas com o valor da coleta antes das aplicações (C1: 178). A separação dos grupos para tipagem morfológica foi baseada na análise de bootstrap considerando 90 de sustentação dos clados como linha de corte. Os agrupamentos G1, G2 e G3 foram os que apresentaram os maiores números de UFC (respectivamente, 436, 354, 252) seguidos dos grupos G4 e G5 com 159 e 115 UFC, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 Agrupamentos morfológicos obtidos após a caracterização baseada na tipagem morfológica estabelecida pela análise por categoria através do algoritmo UPGMA utilizando o Programa Bionumerics 7.5

Grupos	C1 (0 dias)	C2 (10 dias)	C3 (50 dias)	C4 (10 dias)	C5 (50 dias)	UFC <sub>total</sub>
G1	69	75	72	74	74	436
G2	9	59	44	91	51	354
G3	29	53	29	51	44	252
G4	20	14	8	45	23	159
G5	8	17	9	29	13	115
G6	4	15	8	22	4	68
G7	15	10	19	5	0	64
G8	8	18	4	14	4	53
G9	0	0	9	12	0	40
G10	2	9	2	5	9	34
G11	3	3	2	11	0	21
G12	7	1	7	5	0	21
G13	3	0	4	10	0	20
G14	1	0	5	1	2	11
UFC <sub>total</sub>	178	274	222	375	224	1648

Sendo: "C" = Coletas, UFC = unidades formadoras de colônias de bactérias

Fonte: próprio autor (2019).

A partir da tabela de agrupamento morfológico (Tabela 1), foi construído um dendograma utilizando a distância euclidiana pelo algoritmo UPGMA randomizado 1000 vezes pelo método de bootstrap cujo valor de corte foi a sustentação dos grupos igual a 60. O cluster dos agrupamentos morfológicos e densidade resultou, após o estabelecimento da linha de corte em 40 de altura, na formação de três grupos: G1 com maior UFC foi a morfologia predominante, sendo o grupo mais importante do solo do ponto de vista metabólico; o segundo grupo composto pelos G2 e G3, como sendo os microrganismos resilientes, morfológicamente parecidos com G1 com funções possivelmente complementares; e o terceiro grupo composto pelos demais agrupamentos (G4 a G14) são os microrganismos distintos inseridos e/ou estimulados pela adubação com AR que são incorporados na biota do solo complementando as atividades metabólicas e a diversidade morfológica e genética.

Agrupamentos por identificação morfológica bacteriana só podem ser estatisticamente considerados se foram estabelecidos a partir de um número significativo de características relevantes avaliadas (HOFLING; GONÇALVES, 2011). É sabido que estruturas bacterianas são amplamente dependentes das condições de cultivo principalmente quanto às alterações de fontes de nutrientes e condições de temperatura (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Portanto, em estudos de tipagem morfológica, a nota de significância (entorno de 90%) deverá ser bastante severa para que sejam estabelecidos grupos mais homogêneos de melhor confiabilidade.

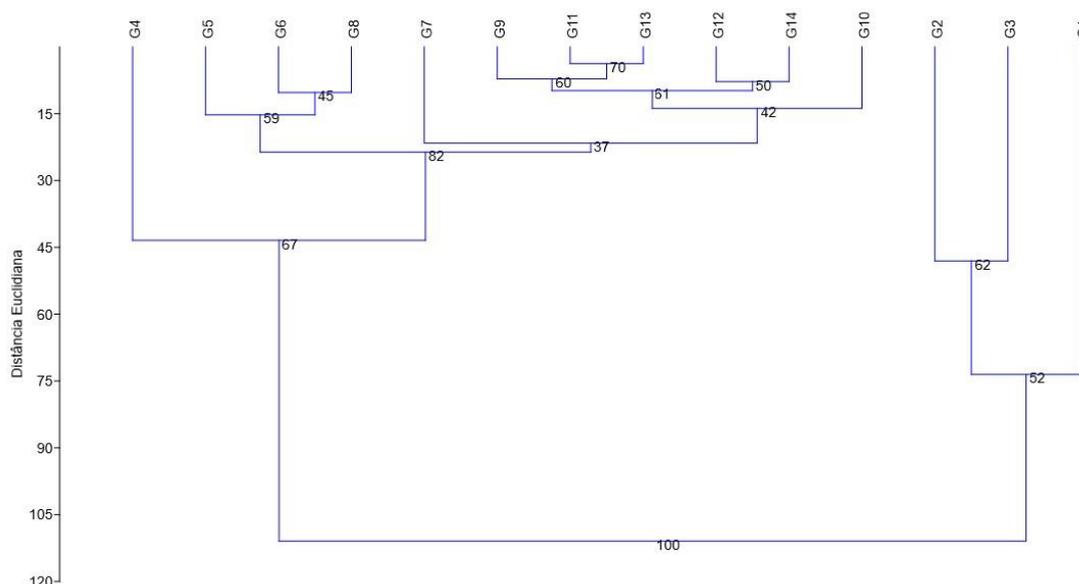


Figura 3 Dendrograma de similaridade obtido pela distância euclidiana através do algoritmo UPGMA com 0,9166 de correlação cofenética pelo método de bootstrap com 1000 repetições, representando a relação dos agrupamentos morfológicos entre si

Nos solos, dentre as espécies de grupos funcionais, as bactérias são as que se apresentam em maior número de indivíduos efetivos (BORGES FILHO; MACHADO, 2013). Apesar de considerados morfolologicamente simples, participam ativamente de todos os diferentes processos bioquímicos envolvidos na conversão de nutrientes (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Consideradas procariontes, unicelulares, de ciclos de vida rápidos e, muitas vezes, organizadas em biofilmes, as bactérias realizam suas principais atividades metabólicas via membrana celular; portanto, qualquer interferência que possa comprometer este tecido pode levar a alterações na fisiologia e na bioquímica de suas colônias (MADIGAN, 2016; TORTORA; FUNKE; CASE, 2016).

Trabalhos vêm apontando que resíduos orgânicos de origem animal, como ARS, tendem a aumentar consideravelmente o teor de MO e estimular diretamente o metabolismo microbiano do solo, devido ao aumento do C da biomassa microbiana (CBM). Ocorre também maior atividade das enzimas protease, desidrogenase e uréase produzidas, em sua maioria, pelas chamadas bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCVs) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; COUTO et al., 2013; FERREIRA; STONE; MARTIN-DIDONET, 2017).

Estudos sobre sanidade e composição biológica de resíduos orgânicos têm demonstrado grande carga microbiana (SILVEIRA; FREITAS, 2007). Por ser de origem animal, estes seres são pertencentes às famílias dos *Bacillus* e *Enterobacter*, em sua maioria de áreas cultiváveis (FERKET, 2002; MOURA, 2017). Quando inseridos no solo estes novos organismos têm capacidade de resistir as diversas pressões seletivas, adaptando-se no

ambiente edáfico e, a longo prazo, o perfil do sistema de organização, hierarquia e funcionamento da biota do solo, tornando-as caracteristicamente mais recalcitrantes a outras interferências (FATTA-KASSINOS et al. 2011).

Trabalhos como o de Notaro et al. (2012) e Moura et al. (2016), realizados através de estudos genéticos de microrganismos obtidos de áreas que sofreram sucessivas aplicações de ARS, observaram que houve redução da diversidade da comunidade microbiana em doses acima de 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e por sucessivas aplicações de ARS. As coletas C3 e C4 (respectivamente, aos 50 dias após a ARS1 e aos 10 dias após a ARS2) foram as que apresentaram o maior número de grupos (14), enquanto que na coleta 5 houve a formação de apenas 9 agrupamentos, revelando a perda da diversidade, provavelmente de indivíduos mais raros em detrimento aos resilientes.

Sendo assim, fica evidente que este tipo de resíduo, nos momentos de estresse e de ajustamento estrutural, tem capacidade de mudar o tamanho, a composição e a diversidade da comunidade microbiana, mas que com o tempo e em doses acima do recomendado, podem levar a queda da diversidade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; FRENK; HADAS; MINZ, 2018). Este comportamento é melhor observado quando se analisa o índice de Shannon (H') e a dominância (D) obtida a partir da definição dos agrupamentos morfológicos (Figura 4).

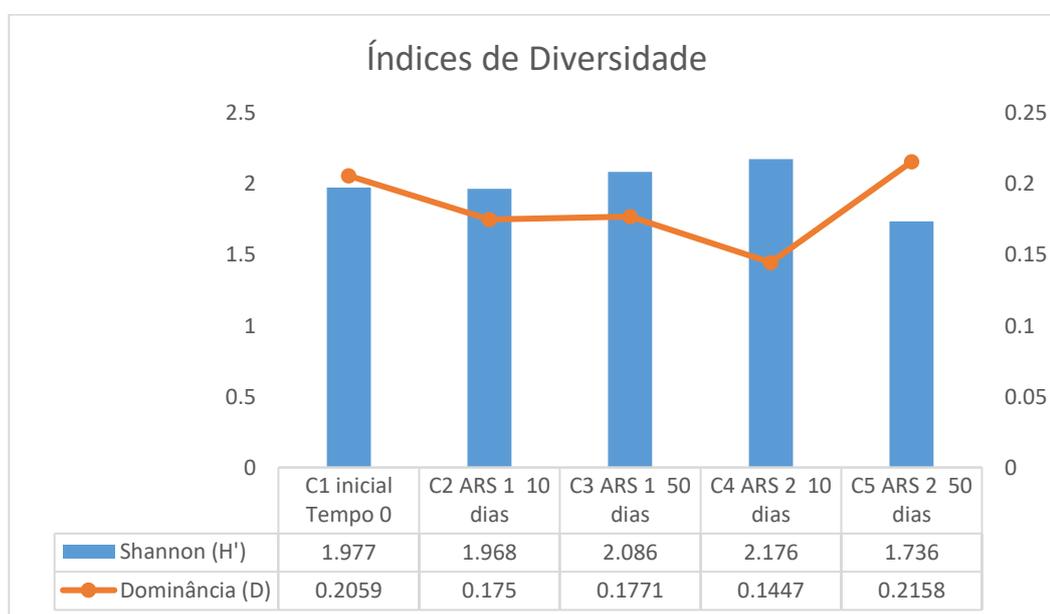


Figura 4 Índice de Shannon e de Dominância obtidos para os tempos de coleta de solo submetido a duas aplicações sucessivas e programas de ARS na cultura do pinhão-mansão, sendo respectivamente (C = coletas)

O índice de Shannon-Weaver é uma das principais ferramentas para identificação da diversidade ecológica de um ambiente, pois é obtido a partir da sua riqueza (ODUM; BARRETT, 2007). Já a dominância reflete a concentração da densidade bacteriana em

relação às diferentes morfologias (MAGURRAN, 2004). Sendo assim, por estes dados foi possível observar que, após as aplicações da ARS, houve um aumento crescente da diversidade (C2 a C4) nos diferentes tempos de coleta após as duas aplicações de ARS. No entanto, nota-se uma redução deste atributo ( $H'$ : 1,73) e conseqüentemente um aumento da dominância de microrganismos na C5 com 50 dias de aplicação de ARS 2, isto é, após seis meses à primeira coleta de solo C1 (Figura 4).

Observa-se que em C4 com 10 dias após a aplicação da ARS 2 foi constatado o maior índice de Shannon ( $H'$ : 2,176) e a menor dominância ( $D$ : 0,1447). Acredita-se que isso se deve ao efeito acumulativo das duas aplicações realizadas em um período de 3 meses entre as duas. Isto reforça que a entrada constante de adubação orgânica promove a manutenção da diversidade de um solo pois, depois de um tempo, é sabido que, mesmo com as entradas constantes de resíduo, a biota tende a restabelecer seu perfil natural (BALOTA, 2017). Além disso, a alta diversidade auxilia a controlar seres dominantes, favorecendo a perpetuação de organismos com funções ecológicas distintas reduzindo a vulnerabilidade da comunidade e aumentando a resistência a distúrbios (MOUILLOT et al., 2013).

Ainda na coleta C5 é visível o valor de dominância está tentando retornar ao estado original ( $D$ : 0,2158) quando comparado ao tempo zero ( $D$ : 0,2059). Estes dados podem estar demonstrando que o pinhão-manso, utilizado como planta modelo, junto com sua biota, está selecionando os indivíduos que são e ou se tornarão resilientes (CHEN et al., 2017).

Segundo Rasche e Cadish (2013), a diversidade florística também influencia no perfil biológico do solo e interfere na seleção dos grupos funcionais capazes de expressarem e desenvolverem suas atividades metabólicas de forma mais favorável. Isto se faz mais evidente em estudos com plantas perenes que fornecem ao ambiente a mesma fonte de MO, criando um micro-habitat altamente específico. Devido ao tipo de manejo, isto se reforça com ausência do revolvimento, desencadeando um local caracteristicamente endêmico e altamente susceptível a perda genética frente a grandes perturbações; por isso, há necessidade de alternativas sustentáveis de manejo para este tipo de cultivo (HOLLISTER et al., 2010; RESENDE; LONDE; NEVES, 2013).

Esta grande capacidade efetiva está diretamente ligada a dinamicidade genética destes seres, que possuem em seus genomas, dentre outros fatores, muitos fragmentos de transposons que promovem recombinações rápidas na busca pela adaptabilidade frente à pressão seletiva do ambiente (TORTORA; FUNKE; CASE, 2016; PADILLA; COSTA, 2015). Portanto, alterações ambientais ou antrópicas, positivas ou negativas, tendem a ser primeiramente sentidas por estes operários do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Porém, para ter esta constatação, se faz necessário que a experimentação seja delineada com altas repetibilidades a partir de unidades formadoras de colônias (UFC) obtidas de diferentes meios seletivos e generalistas, dependendo do objetivo de investigação e associados a estudos genéticos e bioquímicos (GARTNER et al., 2011; SUN et al., 2018).

### 3.2 Atividade microbiana

A atividade enzimática da FDA foi alterada em todas as coletas subsequentes à aplicação de ARS ( $p < 0,10$ ), com exceção na C1 (Tabela 2). Nota-se que, com o aumento crescente das doses de ARS, os valores de FDA tendem a ser cada vez mais altos. Isto remete à entrada de MO no solo, que estimula a síntese e a liberação das enzimas identificadas por esta técnica enzimática: a esterase, protease e lipase. Essas enzimas são importantes para o início do processo de decomposição, pois quebram cadeias longas dos compostos (RIBEIRO; CUNHA; SILVA, 2015).

Tabela 2 Efeito da aplicação das diferentes dosagens de AR de suínos (ARS) na hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

Coletas	p-valor	Tratamentos					
		0	40	80	120	160	200
C1	0,82 <sup>ns</sup>	248,83 a	220,64 a	277,79 a	270,03 a	247,17 a	272,52 a
C2	0,07 <sup>**</sup>	262,41 b	282,29 b	275,39 b	320,99 b	481,37 a	297,38 b
C3	0,01 <sup>**</sup>	162,41 c	313,16 b	356,57 b	348,65 b	669,71 a	705,52 a
C4	0,06 <sup>**</sup>	279,36 b	332,76 a	333,36 a	364,18 a	334,62 a	303,99 a
C5	0,02 <sup>**</sup>	232,74 b	351,30 a	365,50 a	386,57 a	359,07 a	410,33 a

\* FDA: mg FDA hidrolisado kg solo<sup>-1</sup>. \*\* Variáveis significativas ( $p < 0,10$ ) pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. ns: não significativo pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

Pelos valores de FDA obtidos durante e após as aplicações de AR de suínos (ARS), nota-se que a oscilação das características da diversidade morfológica do solo ainda não alterou a capacidade de resposta da comunidade em relação às dosagens de ARS. Este fato remete que ainda há plasticidade funcional dos microrganismos presentes, e que mesmo havendo alteração da diversidade morfológica, ainda não houve comprometimento das atividades microbianas (MADIGAN, 2016).

Na coleta C3 os valores de FDA foram estatisticamente diferentes principalmente nas doses 160 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. No momento da amostragem, o pinhão-manso estava em período de desfolha, resultando em uma maior atividade enzimática devido à somatória de duas fontes de carbono no solo, isto é, a aplicação de AR e a MO vegetal. Para corroborar, os atributos biológicos refletem a dinâmica da comunidade e a fase de transição entre modificação do ambiente com a estabilização de suas atividades (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Assim como a atividade enzimática da FDA diferiu nas coletas, os demais atributos biológicos avaliados também foram alterados ao longo do tempo (Tabela 3).

Tabela 3 Permanova dos atributos biológicos estudados em relação aos diferentes períodos de coletas

	GI	SQ	QM	F	p-valor
Coletas	1	0.0226	0.02258	10.568	0.001
Resíduo	88	0.188	0.0021		
Total	89	0.2106			

\* GI = grau de liberdade, SQ = Soma dos quadrados, QM = Quadrado médio, F = Estatística F, p-valor = valor de p ( $\alpha=0,05$ )

Após a realização de comparações par a par, foi constatado que a coleta C1 diferiu apenas da C4 e C5 (p-valor = 0,002 e 0,012, respectivamente). Isto pode ter ocorrido pelo processo de reajustamento populacional, fato reforçado quando observada a C4 que apresentou diferença apenas em relação a C5 (p-valor = 0,001). Em contrapartida, a coleta C2 se diferenciou estatisticamente das coletas C3, C4 e C5 (p-valor = 0,001 para todas), o que reforça a perturbação ambiental logo após a primeira aplicação de ARS 1 após um período de descanso.

Essas relações obtidas ao longo das coletas são melhor visualizadas quando observada a análise de componentes principais (ACP), em que o componente principal 1 (CP1) e o componente principal 2 (CP2) compuseram juntos 79% da variância total dos dados. O CP1 apresentou 55,8% da variância total e o CP2 23,2% (Figura 5), apontando que respectivamente, os atributos  $qCO_2$  e UFC foram os que melhor discriminaram os dados deste estudo.

Ainda, pela ACP, nota-se uma forte relação do quociente metabólico ( $qCO_2$ ) com os efeitos ocasionados principalmente nas coletas C1 e C2 (zero e 10 dias após a ARS 1). Esta análise estatística também demonstra uma relação direta entre CBM e FDA e inversa ao  $qCO_2$ , situação comumente encontrada pois a CBM no solo deve ser alta para que ocorra menor desgaste e maior eficiência da conversão do carbono do solo (HUNGRIA et. al., 2009; BALOTA, 2017). Portanto, para este trabalho, pela discriminação das variáveis, o  $qCO_2$  foi o melhor bioindicador da atividade microbiana, conforme apontamento também no trabalho de Araújo e Monteiro (2007).

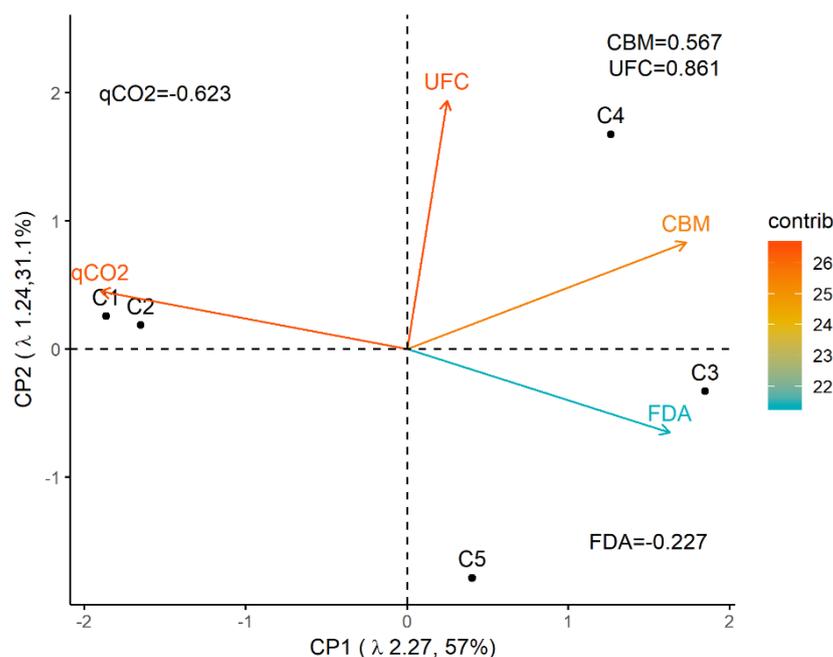


Figura 5 Análise de componentes principais (ACP) para atributos biológicos do solo obtidos de uma área experimental sob o cultivo de pinhão-mansão na região Oeste do Paraná o qual foi submetido a sucessivas aplicações com diferentes dosagens de AR de suínos (ARS), sendo C1 (Coleta 1 no tempo 0), C2 (Coleta 2 10 dias após ARS 1), C3 (Coleta 3 50 dias após ARS 1), C4 (Coleta 4 10 após ARS 2) e C5 (Coleta 5 50 dias após ARS 2). \* CBM: Carbono da BM do solo, qCO<sub>2</sub>: Quociente metabólico, UFC: Unidades formadoras de colônia, FDA: hidrólise do diacetato de fluoresceína

Ainda observando a Figura 5, nota-se uma relação positiva de C4 com UFC e CBM e inversa ao qCO<sub>2</sub>; isto corrobora com os índices encontrados, representando o efeito positivo da ARS 2 após 10 dias da aplicação, indicando a importância da adubação orgânica de qualidade. Alterações na biota do solo podem ter reflexos diretos e indiretos nas atividades enzimáticas do solo, na mineralização do carbono e na conversão do enxofre (S), nitrogênio (N) e fósforo (P) do solo, principalmente nos momentos pós-aplicação (NOGUEIRA et al., 2015). A adubação orgânica insere microrganismos que são incorporados na comunidade e modificam momentaneamente a dinâmica metabólica, diversificando a atuação microbiana devido à entrada de diversos nutrientes (BALOTA, 2017).

Efeitos a longo prazo na mudança estrutural da biota precisam ser investigado, pois o substrato inserido no sistema tem a capacidade de estimular a proliferação ou a atividade metabólica de alguns grupos específicos cuja afinidade com aquele composto é maior (FRENK; HADAS; MINZ, 2018).

#### 4 CONCLUSÃO

- A adubação orgânica com ARS promoveu alteração na estrutura da comunidade microbiana ao longo das sucessivas aplicações, pois foi constatado um aumento da densidade bacteriana com a introdução de novos indivíduos;
- A introdução do produto reforçou os grupos funcionais resilientes, assim como o pinhão-mansão, em seu sistema de cultivo perene, contribuiu para selecionar os microrganismos resilientes;
- A aplicação de ARS é uma opção como adubo orgânico em culturas perenes, mas precisa de um manejo de consórcio com outras plantas para aumentar a biodiversidade da comunidade melhorando a saúde e longevidade produtiva do solo.

#### REFERÊNCIAS

JPADILLA, G.; COSTA, S. O. P. Genética bacteriana. In: ALTERTHUM, F. (Ed.). **Trabalho Alterthum Microbiologia**. Ed. 6, Editora Atheneu. São Paulo, p. 37-49, 2015.

AGUILAR, C. E. G.; BARALDI, T. G.; SANTOS, A. C. R.; NASCIMENTO, K. A.; OLIVEIRA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. G. Implementação e avaliação das práticas de biossegurança na produção de suínos. Uma revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v.9, n. 2, p. 320-333, 2015.

ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A.; OLIVEIRA, E.; BALOTA, E. L. Populações de bradirizóbio/rizóbio em função da aplicação de resíduos de suínos e dos sistemas de plantio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, XIV, 2002, Cuiabá. **Anais**, Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, p. 108, 2002.

ANDRADE, D. S.; HAMAKAWA, P. J. Estimativa do número de células viáveis de rizóbio no solo e em inoculantes por infecção em plantas. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPASPI, v.1, n.1, p.63-94, 1994.

ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p.66-75, 2007.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Mecenaz Ltda., p.288, 2017.

BECERRA-CASTRO, C.; LOPES, A. R.; VAZ-MOREIRA, I.; SILVA, E. F.; MANAIA, C. M.; NUNES, O. C. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment International**, v. 75, p.117-135, fev. 2015.

BEVER, J. D.; PLATT, T. G.; MORTON, E. Microbial population and community dynamics on plant roots and their feedbacks on plant communities. **Annual Review in Microbiology**, New York, v. 66, n. 1, p. 265-283, 2012.

BORGES FILHO, E. L.; MACHADO, E. C. Avaliação microbiana do solo e dos aspectos morfológicos de hortaliças após a adição de adubos orgânicos em hortas. **e-Scientia**, v. 6, n. 1, p. 8-15, 2013.

CAPAZ, R. S.; NOGUEIRA, H. **Ciências Ambientais para Engenharia**. São Paulo: Elsevier, p. 352, 2014.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do Solo**. 2. ed. Piracicaba: Esalq, 2016. 221 p.

CHEN, R.; ZHONG, L.; JING, Z.; GUO, Z.; LI, Z.; LIN, X.; FENG, Y. Fertilization decreases compositional variation of paddy bacterial community across geographical gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 114, p.181-188, 2017.

COUTO, R. R.; COMIN, J. J.; SOARES, C. R. F. S.; BELLI FILHO, P.; BENEDET, L.; MORAES, M. P.; BRUNETTO, G.; BEBER, C. L. Microbiological and chemical attributes of a Hapludalf soil with swine manure fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 774-782, 2013.

DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D.; PAULA, A. M. de; MACEDA, A.; MATTANA, A. **Guia prático de biologia do solo**. Curitiba: SBCS, 2016.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas. **Embrapa Agrobiologia**, Seropédica, p. 66, 1995.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa - Solos, 2011

FATTA-KASSINOS, D.; KALAVROUZOTIS, I. K.; KOUKOULAKIS, P. H.; VASQUEZ, M. I. The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment, **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 1, p. 3555-3563, 2011.

FERKET, P. R. Use of oligosaccharides and gut modifiers as replacements for dietary antibiotics. In: MINNESOTA NUTRITION CONFERENCE, 63, 2002, Minnesota. **Proceedings**. Minnesota: Eagan, p.169-182, 2002.

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

FRENK, S.; HADAR, Y.; MINZ, D. Quality of irrigation water affects soil functionality and bacterial community stability in response to heat disturbance, **Applied and environmental microbiology**, v. 84, n. 4, p. 1-14, 2018.

FUESS, L. T.; GARCIA, M. L. Implications of stillage land disposal: A critical review on the impacts of fertigation. **Journal of Environmental Management**, v. 145, n.1, p. 210-229, 2014.

GARTNER, A.; BLUMEL, M.; WIESE, J.; IMHOFF, J. F. Isolation and characterization of bacteria from the Eastern Mediterranean deep sea. **Journal of Microbiology**, v. 100, n. 3, p. 421-435, 2011.

HOFLING, J. F.; GONÇALVES, R. B. **Microscopia de luz em microbiologia: Morfologia bacteria e fúngica**. ArtMed, 2011.

HOLLISTER, E. B.; SCHADT, C. W.; PALUMBO, A. V.; ANSLEY, R. J.; BOUTTON, T. W. Structural and functional diversity of soil bacterial and fungal communities following woody plant encroachment in the southern Great Plains. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n.10, p. 1816-1824, 2010.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.

KÖPPEN, W. P. Climate-data.org. **Classificações climáticas**. 1999. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/43679/>>. Acesso em: 2 jan. 2019.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. da; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; CONTI, L. de; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 157-167, 2013.

MADIGAN, M. T. **Microbiologia de Brock**. 14. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2016.

MAGURRAN, A. E. **Measuring biological diversity**. Oxford, Blackwell Science, 256p, 2004.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 626 p. abril, 2006.

MOUILLOT, D.; BELLWOOD, D. R.; BARALOTO, C.; CHAVE, J.; GALZIN, R.; HARMELIN-VIVIEN, M.; KULBICKI, M.; LAVERGNE, S.; LAVOREL, S.; MOUQUET, C. E.; PAINE, T.; RENAUD, J.; THUILLER, W. Rare species support vulnerable functions in high-diversity ecosystems, **PLoS Biology**, v. 11, n. 5, p. 1-11, 2013.

MOURA, A. C.; SAMPAIO, S. C.; REMOR, M. B.; SILVA, A. P. da; PEREIRA, P. A. M. Long-term effects of swine wastewater and mineral fertilizer association on soil microbiota. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 318-328, 2016.

MOURA, S. C. N. de. **Identificação e perfil de susceptibilidade a antimicrobianos de bactérias isoladas de biodigestores anaeróbios operados com dejetos suínos e com dejetos bovinos**. 2017. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências e Tecnologia do Leite e Derivados, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

NIELSEN, U. N.; AYRES, E.; WALL, D. H. Soil biodiversity and carbon cycling: a review and synthesis of studies examining diversity-function relationships. **European Journal of Soil Science**, v. 62, n. 1, p.105-116, 2010.

NOGUEIRA, M. A.; MIYAUCHI, M. Y. H.; BINI, D.; ANDRADE, G. Microrganismos e Processos Microbianos como Bioindicadores de Qualidade Ambiental. In: YAMADA-OGATTA, S. F. NAKAZATO, G.; FURLANETO, M. C.; NOGUEIRA, M. A. **Tópicos Especiais em Microbiologia**. Londrina: Uel, 2015. Cap. 17. p. 262-281.

NOTARO, K. A.; SOUZA, B. M.; SILVA, A. O.; SILVA, M. M.; MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P. População microbiana rizosférica, disponibilidade de nutrientes e crescimento de pinheira, em substratos com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n.1, p. 770-776, 2012.

ODUM, G. P. BARRETT, G. W. **Fundamentos em Ecologia**. Thomson Learning, p. 612, 2007.

ORSANEN, J. F.; BLANCHET, G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; HENRY, M.; STEVENS, H.; SZOECES, E.; WAGNER, H. **Vegan**: Community Ecology Package. R package version 2.5-3, 2018. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=vegan/>>. Acesso em: 2 jan. 2019.

R STUDIO TEAM. 2018. **RStudio**: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/>>. Acesso em: 25 set. 2016.

RASCHE, F.; CADISH, G. The molecular microbial perspective of organic matter turnover and nutrient cycling in tropical agroecosystems. What do we know? **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 49, n. 1, p. 251-262, 2013.

RESENDE, J. C. F.; LONDE, L. N.; NEVES, W. S. **Pinhão-manso**. Nova Porteirinha: EPAMIG, p.524, 2013.

REZENDE, A. V. de.; VALERIANO, A. R.; VILELA, H. H.; CESARINO, R. de O.; SALVADOR, F. M.; SILVEIRA, C. H. Milho fertirrigado com dejetos líquidos de suínos para ensilagem. **Agrarian**, Dourados, v.2, n. 5, p. 7-20, 2009.

RIBEIRO, T. S.; CUNHA, P. Ö.; SILVA, L. A. P. Avaliação do Potencial de Biorremediação de Solos Contaminados: Método de Hidrólise de Diacetato de Fluoresceína (FDA) como Indicador de Atividade Microbiana. **Revista Aquila**, v.1, n.13, p.105-120, 2015.

SAHKIR, E.; ZAHRAW, Z.; AI-OBAIDY, A. H. M. J. Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 24, n. 1, p. 95-102, 2017.

SÁNCHEZ-PEINADO, M. M.; GONZÁLEZ-LÓPEZ, J.; MARTÍNEZ-TOLEDO, M. V.; POZO, C.; RODELAS, B. Influence of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) on the structure of Alphaproteobacteria, Actinobacteria and Acidobacteria communities in a soil microcosm, **Environmental Science and Pollution Research**, v. 17, n. 3, p. 779-790, 2011.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SCHUNER, L.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 43, n. 1, p. 1256-1261, 1982.

SEDIYAMA, M. A. N.; MAGALHÃES, I. P. B.; VIDIGAL, S. M.; PINTO, C. L. O.; CARDOSO, D. S. C. P.; FONSECA, M. C. M.; CARVALHO, I. P. L. Uso de fertilizantes orgânicos no cultivo de alface americana (*Lactuca sativa* L.) 'KAISER', **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 6, n. 2, p. 66-74, 2016.

SHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente e Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17-32, 2014.

SILVEIRA, A. P. D. da; FREITAS, S. dos S. **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo Campinas, p. 312, 2007.

SUN, J-Q.; XU, L.; LIU, X-Y.; ZHAO, G-F.; CAI, H.; NIE, Y.; WU X-L. Functional genetic diversity and culturability of petroleum-degrading bacteria isolated from oil-contaminated soils. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, n. 1-15, 2018.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**, Ed. 11, Porto Alegre: Artmed, 2016.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, n.1, p. 703-707, 1987

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de água residuária de suínos (ARS) em um latossolo vermelho cultivado com pinhão-mansão influencia diretamente na composição e na funcionalidade da comunidade biológica do solo ao longo de sucessivas aplicações. Os atributos biológicos metabólicos (artigo 1) apontam que a dose ideal da ARS testadas para uso como adubo agrícola é a de  $110 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ; no entanto, ganhos agronômicos positivos com manutenção ecológica foram alcançados em outras concentrações até  $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , representando esta, portanto, a dose limite para a capacidade suporte do solo, em tolerar a entrada de uma grande quantidade deste composto orgânico e seus componentes.

O perfil dos valores de densidade, diversidade e funcionalidade enzimática bacterianas obtidos para as distintas coletas ao longo de um período escolhido durante o processo de sucessivas aplicações de ARS (artigo 2) e corroboraram com os apontamentos dos dados metabólicos, mas refletem a influência antrópica com menos evidência ao longo do tempo. Ainda assim, os valores de densidade demonstram que houve a introdução de novos indivíduos e que estes reforçaram os grupos dos resilientes do solo, uma vez que os valores de FDA se alteraram em relação ao tratamento que não recebeu ARS. Os valores de  $q\text{CO}_2$ , conseguiram revelar que a alteração estrutural promovida pelas aplicações das ARS ainda não está prejudicando as atividades metabólicas, pelos menos dos grupos funcionais envolvidos nas atividades de decomposição e conversão de carbono.

Neste contexto, pelos índices de diversidade foi possível apontar que a dose  $160 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  é a que melhor consegue manter a saúde e a longevidade da edáfica do solo. Para melhorar este tipo de investigação, se faz necessário a continuidade dos estudos de diversidade em nível genético e bioquímico, a fim de antecipar o diagnóstico da capacidade suporte biológica de solo, antevendo as escolhas das estratégias que deverão ser tomadas para continuar a utilizar a ARS deste estudo de forma segura e promissora na adubação agrícola regional.