



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ**  
**CAMPUS LUIZ MENEGHEL**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**IGOR GRACIANO**

**AVALIAÇÃO DA SAÚDE DO SOLO POR MEIO DA**  
**CROMATOGRAFIA DE PFEIFFER: ASPECTOS**  
**METODOLÓGICOS E APLICAÇÕES**

**BANDEIRANTES, PR, BRASIL**

**2018**

IGOR GRACIANO

**AVALIAÇÃO DA SAÚDE DO SOLO POR MEIO DA  
CROMATOGRAFIA DE PFEIFFER: ASPECTOS  
METODOLÓGICOS E APLICAÇÕES**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre ao Programa de Mestrado em Agronomia, da Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus Luiz Meneghel*.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Erika Cosendey Toledo de Mello Peixoto

Coorientador: Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto

**BANDEIRANTES, PR, BRASIL**

**2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

G731a Graciano , Igor  
AVALIAÇÃO DA SAÚDE DO SOLO POR MEIO DA  
CROMATOGRÁFIA DE PFEIFFER: ASPECTOS METODOLÓGICOS E  
APLICAÇÕES / Igor Graciano ; orientador Erika  
Cosendey Todedo de Mello Peixoto; co-orientador  
Leopoldo Sussumu Matsumoto - Bandeirantes, 2018.  
83 p.

Agronomia) - Universidade Estadual do Norte do  
Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia, 2018.

1. Bioindicador da qualidade do solo. 2.  
Cromatografia circular de Pfeiffer. 3. indicadores  
da qualidade do solo. 4. Teste de cromat. 5. Teste de  
solo cromat. I. Cosendey Todedo de Mello Peixoto,  
Erika, orient. II. Sussumu Matsumoto, Leopoldo , co  
orient. III. Título.

IGOR GRACIANO

FICHA DE APROVAÇÃO

**AVALIAÇÃO DA SAÚDE DO SOLO POR MEIO DA  
CROMATOGRÁFIA DE PFEIFFER: ASPECTOS  
METODOLÓGICOS E APLICAÇÕES**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre ao Programa de Mestrado em Agronomia, da Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel. conferido pela Banca Examinadora composta por:

---

**Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto – UENP/CLM**

---

**Prof. Dr. Fernando Silveira Franco – UFSCar**

---

**Prof. Dr. Francisco Carlos Mainardes da Silva – UENP/CLM**

Bandeirantes, 31 de julho de 2018.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todas as pessoas que buscam se relacionar com o meio ambiente de maneiras mais harmônicas, compreendendo que fazemos parte dele assim como ele faz parte de nós. Para aqueles que lutam, que andam, que constroem e que buscam o caminho em que o ser humano retoma seu papel de guardião da vida.

## EPIGRAFE

Eu contemplo o mundo,  
Onde o Sol reluz,  
Onde as estrelas cintilam,  
Onde as pedras jazem,  
As plantas vivendo crescem,  
Os animais, sentindo, vivem,  
No qual o ser humano com alma  
Dá morada ao espírito;  
Eu contemplo a alma,  
Que vive para mim no íntimo.  
O espírito de Deus tece  
Na luz do Sol e da alma,  
No espaço, no exterior,  
Nas profundezas da alma, no interior.  
A Ti, ó espírito de Deus,  
Quero dirigir-me suplicando,  
Que força e bênção  
Para o estudar e para o trabalho  
Cresçam em meu interior.

Rudolf Steiner

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Universo pelos caminhos que se abrem e todas as bênçãos que se manifestam.

Agradeço a família pelo apoio incondicional e grande entusiasmo.

Agradeço aos professores Dr.<sup>a</sup> Érica Cosendey Toledo de Mello Peixoto e Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto por acreditarem na proposta do trabalho e por todo suporte e ensinamentos durante essa trajetória.

Agradeço aos professores Dr. Francisco Carlos Mainardes da Silva e Dr. Fernando Silveira Franco pela participação na banca de defesa e pelas valiosas considerações.

Agradeço ao técnico do laboratório de solos professor Me. Gilberto Bueno Demétrio por toda ajuda e ensinamentos que deram condições para execução das análises.

Agradeço aos amigos William Ortega Gonçalves pela grande ajuda nas coletas e execução das análises e a Daniani Renata de Souza Munhoz pelo tratamento e formatação das figuras.

Agradeço ao professor Dr. Rogério Barbosa Macedo pela compreensão e disponibilização de horários para dedicação à escrita.

Agradeço a minha companheira Gabriela Ramos Andrade pelo incentivo e apoio que tanto me motivou na etapa final deste processo.

Agradeço aos professores e colegas de turma do Programa de Mestrado em Agronomia da UENP-CLM pela convivência e construção do conhecimento.

Agradeço ao CNPq pela bolsa de estudo, sem a qual não teria condições de desenvolver este trabalho.

Por fim agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte desta história, pelas trocas de ideias, pelo convívio, pela inspiração e pelas boas risadas.

GRACIANO, I. **AVALIAÇÃO DA SAÚDE DO SOLO POR MEIO DA CROMATOGRRAFIA DE PFEIFFER: ASPECTOS METODOLÓGICOS E APLICAÇÕES**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes – PR. 83p. 2018.

## RESUMO

O manejo adequado dos solos é o principal fator a ser considerado quando se almeja uma produção sustentável, pois as diferentes práticas agrícolas podem alterar sua qualidade e, conseqüentemente, sua capacidade produtiva. De tal forma, é necessário compreender as interações inerentes a este sistema, buscando por intervenções menos agressivas, que preservem o equilíbrio dinâmico entre os componentes químicos, físicos e biológicos. Para estimativa dessa qualidade, têm-se adotado o uso de indicadores, atributos que integram processos ou propriedades do solo, sensíveis a alterações e de fácil execução e interpretação. A cromatografia de Pfeiffer (CP) se insere nesse contexto, como uma ferramenta promissora para diagnóstico de qualidade, pois permite avaliação integral dos componentes do solo. Assim, o presente estudo tem por objetivo contribuir com o desenvolvimento de parâmetros metodológicos que possibilitem padronizar a CP, bem como avaliar seu emprego como indicador de qualidade do solo. Com relação aos procedimentos metodológicos avaliados, buscou-se conservar a simplicidade e acessibilidade da proposta original, com o propósito de favorecer sua reprodução a campo pelos agricultores. Foram avaliados, de forma qualitativa por observação visual, os seguintes processos: impregnação do papel filtro (PF) com nitrato de prata, utilização de amostras compostas, tamização e agitação para extração das amostras de solo. Adicionalmente avaliou-se a condição de umidade relativa do ar durante a extração e a iluminação durante revelação das imagens. Em relação ao processo de impregnação do PF, foi possível verificar diferenças nos cromas, tendo melhor resultado a impregnação até 3,8 cm com controle de volume e a impregnação até 3 cm sem controle de volume. Não houve diferença em relação aos métodos de tamização e agitação. A utilização de amostras compostas mostrou-se viável, dado a correspondência das repetições. Por fim, foi possível verificar que a umidade relativa do ar durante a difusão do estrato e a iluminação durante o processo de revelação das imagens alteram a qualidade dos cromas. A partir desses resultados constata-se que a CP pode ser realizada tanto em laboratório como no campo, observando as condições ambientais recomendadas e, na etapa de impregnação do PF, adotando a marca de 3 cm ou de 3,8 cm com controle de volume. Com intuito de verificar o emprego da CP como indicador da qualidade do solo, considerando suas quatro zonas, as mesmas foram categorizadas e correlacionada com outros indicadores: zona central e resistência à penetração do

solo, zona interna e parâmetros químicos, zona externa e bioindicadores, zona enzimática e enzimas. Houve correlação negativa entre a zona central e a média das resistências à penetração dentro do intervalo 0 – 40 cm de profundidade. A zona interna apresentou correlação positiva com a matéria orgânica, a zona média se correlacionou fortemente com o carbono da biomassa microbiana e a zona externa apresentou expressiva correlação com as enzimas fosfatase ácida e arilsulfatase. Conclui-se que a CP é um método sensível para o diagnóstico da qualidade do solo, demonstrando que a partir do exame e interpretação dos padrões formados nas distintas zonas, torna-se possível compreender as condições físicas, químicas e biológicas presentes no sistema.

**Palavras-chave:** Bioindicador da qualidade do solo; Cromatografia circular de Pfeiffer; indicadores da qualidade do solo; Teste de cromatografia; Teste de solo cromatográfico.

**GRACIANO, I. EVALUATION OF SOIL HEALTH BY PFEIFFER CHROMATOGRAPHY: METHODOLOGICAL ASPECTS AND APPLICATIONS.**

Dissertation (Master's degree in Agronomy) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes – PR. 83p. 2018.

**ABSTRACT**

Adequate management of soils is the main factor to be considered when planning sustainable production, since different agricultural practices can alter their quality and, consequently, their productive capacity. Thus, it is necessary to understand the interactions inherent in this system, seeking for less aggressive interventions, which preserve the dynamic balance between chemical, physical and biological components. To estimate this quality, we have adopted the use of indicators, attributes that integrate processes or soil properties, sensitive to changes and easy to perform and interpret. The Pfeiffer Chromatography (PC) is inserted in this context, as a promising tool for quality diagnosis, since it allows integral evaluation of the soil components. Thus, the present study aims to contribute to the development of methodological parameters that make it possible to standardize PC, as well as to evaluate its use as an indicator of soil quality. With respect to the methodological procedures evaluated, it was tried to preserve the simplicity and accessibility of the original proposal, with the purpose of favoring its reproduction in the field by the farmers. The following processes were evaluated qualitatively by visual observation: impregnation of filter paper (FP) with silver nitrate, use of composite samples, sieving and stirring for extraction of soil samples. Additionally, the condition of relative humidity of the air during the extraction and the illumination during the development of the images was evaluated. In relation to the impregnation process of the FP, it was possible to verify differences in the chromas, with better impregnation up to 3.8 cm with volume control and impregnation up to 3 cm without volume control. There was no difference in the methods of sieving and shaking. The use of composite samples proved to be feasible, given the correspondence of the replicates. Finally, it was possible to verify that the relative humidity of the air during the diffusion of the stratum and the illumination during the process of developing the images alter the quality of the chrome. From these results it can be verified that PC can be performed both in the laboratory and in the field, observing the recommended environmental conditions and, in the step of impregnating the FP, adopting the mark of 3 cm or 3.8 cm with volume control. In order to verify the use of PC as an indicator of soil quality, considering its four zones, these were categorized and correlated with other indicators: central zone and resistance to soil penetration, internal zone and chemical parameters, external zone and bioindicators, enzyme zone and enzymes. There was a negative correlation between the central zone and the mean penetration resistance within the 0 - 40 cm depth range. The inner zone presented a positive correlation with the organic matter, the middle zone was strongly correlated with the carbon of the microbial biomass and the external zone

presented a significant correlation with the enzymes acid phosphatase and arylsulfatase. It is concluded that CP is a sensitive method for the diagnosis of soil quality, demonstrating that from the examination and interpretation of the patterns formed in the different zones, it becomes possible to understand the physical, chemical and biological conditions present in the system.

**Key words:** Soil quality bioindicator; Pfeiffer Circular Chromatography; indicators of soil quality; Chroma test; Chroma soil test.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Desenvolvimento Agrícola e Dependência dos Mercados.....	3
2.2. Aspectos da Dinâmica, Manejo e Degradação do Solo.....	5
2.3. Matéria Orgânica do Solo.....	7
2.4. Bioindicadores da Qualidade do Solo.....	9
2.5. Cromatografia de Pfeiffer.....	11
2.5.1. Procedimentos da Cromatografia de Pfeiffer.....	14
2.5.1.1. Preparação dos papéis filtro.....	14
2.5.1.2. Extração.....	15
2.5.1.3. Difusão do extrato e Revelação.....	15
2.5.1.4. Interpretação.....	16
<b>3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>26</b>
<b>4. ARTIGO A.....</b>	<b>30</b>
<b>5. ARTIGO B.....</b>	<b>48</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>83</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Na superfície da terra desenvolveu-se um sistema trifásico, composto por uma fase sólida, com partículas orgânicas e inorgânicas dos mais diversos tamanhos, fase líquida (água) e fase gasosa (ar). Este sistema, produto de intemperização, só pode ser chamado solo quando consideramos uma quarta fase, a biológica, que de maneira alguma pode ser negligenciada (PRIMAVESI; PRIMAVESI, 1964).

Após o desenvolvimento da indústria química, a agricultura sofreu grande transformação, mudança da matriz biológica para matriz química. Com a Teoria da Nutrição Mineral de Plantas de Liebig (1840), o solo passou a ser visto como um alicerce de sustentação para plantas e meio para veiculação de adubos minerais solúveis, perdendo sua complexidade e viabilizando sistemas de produção mais simplificados. Essa concepção desqualificou as preocupações ecológicas e trouxe o entendimento de que o problema de esgotamento dos solos estava superado (ASSIS; ROMEIRO, 2002). A ideia passou a ser de que a condição química do solo era o fator preponderante para promoção da fertilidade, e este fato desencadeou diversos processos de degradação.

O solo corresponde à uma biocenose, havendo estreita relação entre suas propriedades físicas, químicas, biológicas, topografia, raiz vegetal e porte da vegetação. Assim sendo, não é possível compreender os diversos fatores de produção de forma isolada, pois são processos dinâmicos, dependentes e entrosados, que em sua ação coordenada, provocam efeito definido ao qual chamamos fertilidade (PRIMAVESI; PRIMAVESI, 1964).

O manejo de solo adequado exige compreensão das interações inerentes a este sistema, busca por intervenções menos agressivas a fim de preservar sua harmonia, promovendo coesão entre matéria orgânica, minerais e microrganismos. Assim, o agroecossistema em equilíbrio se torna resiliente, isto é, consegue se restabelecer após um período de estresse demandando menos energia e insumos externos (ALTIERI, 1998).

Para estimativa da qualidade do solo, têm-se adotado o uso de indicadores, atributos que permitem examinar a sustentabilidade do agroecossistema por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos. O diagnóstico qualitativo permite avaliação e regulação dos manejos adotados, assegurando tomada de decisões mais conscientes dos

processos que envolvem o sistema agrícola. Segundo Bakker (2008), a cromatografia de Pfeiffer (CP) é um instrumento para análise da qualidade do solo que tem sido utilizado nos sistemas agroecológicos, possibilitando uma visão holística e não fragmentada de determinado processo.

Trata-se de um método de diagnóstico simples, rápido e de baixo custo que pode ser realizado pelo próprio agricultor, permitindo acompanhamento linear das respostas do solo aos manejos empregados. É possível avaliar os componentes minerais, orgânicos e protéicos presentes no sistema, possibilitando quando necessário, ajustes de manejo. No entanto é uma ferramenta pouco conhecida por agricultores e técnicos e não difundida na academia, pois ainda carece de estudos para sua padronização e validação científica.

Tal situação, justifica a necessidade de estudos que possibilitem compreender, sistematizar e divulgar a CP como metodologia de diagnóstico da qualidade do solo. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo contribuir com o desenvolvimento de parâmetros metodológicos que possibilitem padronizar a CP, bem como avaliar seu emprego como indicador de qualidade e saúde do solo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Desenvolvimento Agrícola e Dependência dos Mercados

A expansão agrícola moderna no Brasil foi fundamentada na utilização de métodos e tecnologias intensivas, trazendo perdas significantes na biodiversidade, destruição ambiental e grande desmatamento dos biomas. Essa modernização, embora tenha trazido mensuráveis contribuições para o desenvolvimento social e econômico nacional, consolidou a concentração de terras e a intensificação de um modelo agrícola pautado na produção de *commodities* e intensa dependência de insumos (LANGEVIN, 2018).

Para Garcia e Vieira Filho (2014), o desenvolvimento agrícola segue dois fluxos distintos, o primeiro incide na rápida modernização dos métodos de produção e na verticalização do chamado agronegócio, já o segundo, consiste nos 20 milhões de agricultores familiares que lidam com a carência de tecnologias apropriadas, baixa produtividade e acesso restrito aos mercados. A medida que o mercado internacional se abriu às exportações brasileiras, houve um processo de mudança da expansão agrícola para a tecnificação dos sistemas produtivos, trazendo aumento de produtividade. Contudo, essa mudança não incluiu a agricultura familiar e as culturas de mercado doméstico tradicionais (LANGEVIN, 2018).

O desenvolvimento de pesquisas e tecnologias agrícolas não beneficia a todos os agricultores brasileiros igualmente, criando uma lacuna de produtividade entre os latifundiários e os agricultores familiares, que correspondem a 84% dos agricultores, ocupam 24% das terras cultivadas e são responsáveis por 38% da produção agrícola (HELFAND et al, 2015). A maior parte desses agricultores não é beneficiada pelos programas e políticas governamentais, especialmente pelo trabalho da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), no desenvolvimento de tecnologias apropriadas e adaptadas, que busquem modernizar estas unidades de produção e integrá-las ao agronegócio (LANGEVIN, 2018).

A monocultura implantada em muitas regiões do território brasileiro, associada a pacotes tecnológicos, prejudicou a diversidade ambiental além da sustentabilidade econômica dos pequenos agricultores (BALSAN, 2006). O endividamento gerado pela adesão a essas tecnologias e o baixo retorno que as mesmas trazem em pequenas áreas, provocaram intenso êxodo rural e concentração fundiária, uma vez que a organização autorregulada e descentralizada de sistemas diversificados, foi sendo gradativamente substituída pela dependência de insumos químicos e conseqüentemente, controle externo centralizado (SHIVA, 2003).

O Brasil é um grande produtor de *commodities* agrícolas e, segundo pesquisa realizada pela Conferência da ONU (Organização das Nações Unidas) sobre Comércio e Desenvolvimento em 2015, este mercado corresponde a 60% das exportações brasileiras. No entanto, essa política econômica tem trazido no balanço de pagamentos, transações correntes deficitárias, pois as importações possuem valores agregados mais altos que as exportações (CORREIA et al, 2018).

Mesmo na agricultura familiar, com o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), chama a atenção o número crescente de financiamento de *commodities* em modelos produtivos baseados no monocultivo, baixa demanda de mão-de-obra, exigência de alto grau de especialização e integração com mercados globais. Ressalta-se ainda, que este sistema de produção está amplamente engessado na utilização dos pacotes tecnológicos, o que eleva a dependência econômica e social dos agricultores (BAZOTTI; COELHO, 2017).

A medida que este segmento se desloca para a produção de *commodities* destinadas ao atendimento do mercado externo, a produção de alimentos fica prejudicada, trazendo riscos à segurança nutricional e alimentar da população. Destaca-se ainda, que os agricultores familiares ocupam os mesmos espaços que os latifundiários, porém com distinta capacidade de resistência às oscilações de mercado (BAZOTTI; COELHO, 2017).

De acordo com Castañón (2015), a economia dos países que adotam a política exportadora de *commodities* para geração de divisas determina importante dependência do mercado internacional sem trazer mudanças significativas na estrutura econômica. O autor destaca ainda que com a consolidação do agronegócio, a importação de alimentos para a população vem aumentando e que a produção transgênica, que ocupa aproximadamente 90% da área semeada, favorece a situação de dependência aos detentores dessa tecnologia.

Se, por um lado, algumas pesquisas apontam para o ganho de produtividade agrícola com a adoção de Organismos Geneticamente Modificados (OGM), de outro, contabilizam os impactos dessa adoção, sendo estes de ordem ambiental, social ou econômico. A fragilidade ambiental, por exemplo, é observada pelo prejuízo à biodiversidade e, sucessivamente, pela erosão genética (CASTAÑÓN, 2015). A fragilidade socioeconômica origina-se da produção de *commodities* agrícolas destinadas à exportação e se agrava pela adoção dos OGM, que possuem como premissa o fator produtivo, porém escondem a dependência de insumos e o pagamento de *royalties* (BALSAN, 2006). Castañón (2015) alerta para a necessidade de se buscar um modelo produtivo inclusivo, gerador de empregos e cujos excedentes favoreçam o desenvolvimento das economias locais, e não dos capitais transnacionais.

## **2.2. Aspectos da Dinâmica, Manejo e Degradação do Solo**

O solo é um recurso praticamente não renovável, com uma cinética de degradação relativamente rápida e, em contrapartida, taxas de formação e regeneração extremamente lenta (MASEDA, 2016). O manejo do solo exige sensibilidade e conhecimento, é preciso fazer uma leitura holística, perceber que se trata de um organismo vivo e repleto de interações, que visões fragmentadas para alguns de seus processos, separadamente, impedem a compreensão de seu equilíbrio dinâmico.

Enquanto as propriedades físicas do solo são relativamente estáveis, a fertilidade é dinâmica, isto é, sujeita a alterações no tempo e no espaço. Os nutrientes são constantemente removidos por meio das colheitas, perdidos pela lixiviação, erosão e outros processos naturais, ou fixados pelas argilas e minerais do solo. Além disso, podem ser temporariamente imobilizados por organismos e, retornarem ao solo após a morte destes, incorporando novamente a matéria orgânica. Assim, em um solo manejado, a ciclagem de nutrientes não compõe um sistema fechado, ocorrem perdas que podem gerar impactos no ambiente (ROBERT, 2015).

Os diferentes tipos de solos variam quanto à fertilidade, porém todos têm capacidade limitada de sustentar a produtividade, sendo necessária a reposição ou ciclagem de nutrientes. Antes da revolução química na agricultura, a produtividade das

culturas dependia da fertilidade natural do solo, o qual, com as colheitas, sofria processo de esgotamento mineral (ROBERT, 2015). A perda de nutrientes do solo é considerada o segundo mais importante tipo de degradação do solo na América do Sul (FAO, 2008).

O processo de degradação dos solos e consequente perda da capacidade produtiva está aumentando em severidade e proporção ao redor do globo, com mais de 20% de terras agrícolas afetadas, 30% de florestas e 10% de pastagens. O aumento do rendimento das culturas em resposta ao desenvolvimento de germoplasmas com alto potencial produtivo reflete na maior extração de nutrientes do solo e, conseqüentemente, em uma maior exigência de reposição para manutenção da fertilidade (FAO, 2008).

Um estudo coordenado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) envolvendo 600 pesquisadores de 60 países, assinalou que mais de 30% dos solos do mundo estão degradados. Os resultados apontam que a degradação dos solos no mundo é muito alta e pode trazer conseqüências desastrosas nas próximas décadas para milhões de pessoas nas áreas mais vulneráveis (FAO, 2015).

De acordo com dados da FAO (2015), existem evidências de que a humanidade está perto dos limites globais para fixação total de nitrogênio e para o uso de fertilizantes fosfatados, tornando-se necessário estabilizar ou reduzir o uso desses insumos, conhecendo a fertilidade dos solos e priorizando as regiões com deficiência de nutrientes.

Para combater o avanço dos processos de degradação do solo recomenda-se: minimizar o revolvimento, aumentar e manter uma camada de cobertura, cultivar uma grande variedade de espécies, usar espécies adaptadas à região, trabalhar a fertilidade, assegurar o manejo integrado de pragas e doenças, gerenciar o uso da água e controlar o tráfego de máquinas nas propriedades a fim de evitar a compactação (FAO, 2015).

As perdas anuais da produção por erosão do solo foram estimadas em 0,3% e, caso mantenha-se nesse ritmo, uma redução total de mais de 10% poderá acontecer até 2050. A erosão em solo agrícola e de pastagem intensiva varia entre cem a mil vezes a taxa de erosão natural e o custo anual de fertilizantes para substituir os nutrientes perdidos pela erosão chega a US\$ 150 bilhões (FAO, 2015).

A compactação reduz os rendimentos das culturas em até 60% e tem degradado uma área estimada de 680.000 km<sup>2</sup> de solo no mundo, cerca de 4% da área total. O pisoteio dos rebanhos e a cobertura insuficiente do solo pela vegetação natural ou

pelas culturas são responsáveis pela compactação de 280.000 km<sup>2</sup> na África e Ásia (FAO, 2015).

Outro importante processo de degradação do solo, que vem afetando a produtividade das culturas é a perda da matéria orgânica. O plantio de soja e milho em sucessões sequenciais vem contribuindo com esse processo, considerando a pequena quantidade de biomassa que fica no campo após colheita dos grãos, tornando o solo descoberto em pouco tempo (SARANDON, 2014).

Solos saudáveis sustentam plantas, animais e seres humanos e funcionam como um ecossistema vivo, mantendo uma comunidade diversificada de organismos que não só melhoram a produção agrícola, mas também promovem a qualidade do ar e da água (FAO, 2008). A composição química da planta reflete a composição do solo, se os teores de nutrientes estão baixos no solo, as concentrações desses nutrientes estarão baixas ou deficientes no tecido da planta (ROBERT, 2015).

Os nutrientes das plantas devem ser devolvidos ao sistema através de manejos que promovam sua ciclagem, aplicação racional e sustentável de insumos e implementação de medidas conservacionistas, a fim de permitir que o nível de matéria orgânica, componente vital dos solos saudáveis, se reestabeleça restaurando o potencial produtivo e a saúde do mesmo (ROBERT, 2015).

### **2.3. Matéria Orgânica do Solo**

A matéria orgânica do solo corresponde à toda substância morta presente nesse sistema, como restos vegetais, animais, e excrementos da micro, meso e macro fauna terrestre (PRIMAVESI, 1980), sendo indispensável para manutenção da micro e meso vida do solo. Processos de decomposição e humificação da matéria orgânica, promovem a bioestruturação e disponibilização de nutrientes, determinando assim, fertilidade.

Compreende-se o solo como sistema vivo de relações dependentes, onde a presença de muitos microrganismos é determinada pela quantidade de matéria orgânica presente no ambiente. Esses microrganismos são responsáveis por liberar nitrogênio na

forma de amônio e nitrato, sulfatos, fosfatos além de outros minerais pelo processo de decomposição da matéria orgânica (WAKSMAN, 1936). Assim, e como resultado desta interação, os elementos mais importantes para o crescimento vegetal permanecem em constante circulação.

A matéria orgânica do solo é constituída em média por 58% de carbono, originários principalmente de restos vegetais, animais e produtos de decomposição intermediária, como ácidos poliurônicos. Produto da decomposição microbiológica, estes ácidos possuem capacidade floculante, promovendo agregação das partículas do solo (PRIMAVESI, 1980).

Húmus também participa ativamente da matéria orgânica do solo. É um produto da decomposição parcial seguido de síntese e, quando formado em um pH acima de 5,6, tem ação agregadora de grumos. Esta ação se dá principalmente pela presença de ligninas, estruturas complexas, de decomposição difícil e lenta, realizada por ação de fungos e chamada de “húmus de reserva” porque acumula no solo (PRIMAVESI, 1980).

Por outro lado, quando o húmus é decomposto, as ligas orgânicas entre as partículas do solo são quebradas, promovendo a desagregação e perda da bioestrutura tornando o solo amorfo, mais suscetível à erosão e incapaz de sustentar um sistema agrícola produtivo. Portanto, quanto maior a decomposição de matéria orgânica do solo, principalmente ricos em lignina, maior será a formação de substâncias intermediárias e consequentemente maior será o efeito sobre a estrutura do solo (PRIMAVESI, 1980).

Florestas tropicais e subtropicais, pastagens bem manejadas e áreas cultivadas com constante retorno de matéria orgânica ao solo, favorecem a acumulação de húmus. A perda de húmus significa perda de fertilidade e produtividade, e a manutenção da matéria orgânica é fundamental para produção contínua de substâncias agregantes (PRIMAVESI, 1980).

Sendo assim, alterações na qualidade e quantidade da matéria orgânica, em função das práticas de manejo, promovem como efeito a degradação do solo, dado a complexidade dos fatores associados a este elemento fundamental na dinâmica do sistema. Dentre as frações da matéria orgânica, por serem estáveis diante das variações espaciais e temporais de curto prazo e, por refletirem as ações antrópicas, a fração húmica pode ser um potencial indicador da qualidade do solo e dos sistemas de manejo (NOVOTNY et al, 2017)

## 2.4. Bioindicadores da Qualidade do Solo

Qualidade do solo refere-se à capacidade de sustentar a produtividade biológica, mantendo o equilíbrio ambiental e a saúde das plantas e animais (DORAN; PARKIN, 1994). Este parâmetro pode ser avaliado por indicadores que refletem a sustentabilidade do ecossistema (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Os parâmetros da qualidade do solo são de fundamental importância para avaliação das práticas e técnicas de manejo empregadas, visando dar embasamento para tomadas de decisões mais acertadas (SCHMITZ, 2003).

Os indicadores podem ser classificados em químicos, físicos e biológicos, devem possuir efeito sobre os processos ecológicos, serem sensíveis a variação do manejo e clima e favoráveis à compreensão e utilização por especialistas, técnicos e agricultores (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Devem apresentar respostas rápidas e precisas após perturbações, refletir aspectos do funcionamento do ecossistema, ter baixo custo de aplicação e possibilidade de emprego universal, porém com especificidades individuais à depender dos fatores bióticos e abióticos (TURCO; BLUME, 1999).

Indicadores biológicos ou bioindicadores, são propriedades ou processos biológicos que ocorrem no solo e permitem avaliação do ecossistema. O monitoramento da qualidade é realizado avaliando-se as respostas que os organismos dão às mudanças em seu ambiente (DORAN; PARKIN, 1994). Os microrganismos são capazes de dar respostas rápidas, o que não acontece com indicadores químicos ou físicos. Alterações na população e na atividade microbiana podem preceder mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo sinal na melhoria ou na degradação do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

As atividades da microbiota do solo podem ser avaliadas principalmente pela biomassa microbiana, respiração basal, atividade de microrganismos celulolíticos e atividades de enzimas como: fosfatase, arilsulfatase,  $\beta$ -glucosidase, etc. (DE-POLLI; GUERRA, 1997).

Matéria orgânica viva do solo corresponde em média à 4% do carbono total do solo (COT), sendo composta por raízes (5 – 10%), meso e macrofauna do solo (15 – 30 %) e microrganismos (60 – 80%). Apesar de corresponder à um baixo percentual da

matéria orgânica total, essa fração é extremamente importante devido à sua atividade metabólica de transformação dos compostos orgânicos do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007).

A quantidade de carbono presente nas células microbianas vivas (C-microbiano, em mg/Kg de solo) geralmente compreende de 1 a 5 % do COT, enquanto que para o nitrogênio (N-microbiano, em mg/Kg de solo), varia de 1 a 6 % do nitrogênio total (NT) (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). De-Polli e Guerra (1997) destacam que a Biomassa Microbiana do Solo (BMS) não corresponde à estimativa da atividade dos microrganismos, mas da massa microbiana viva total, com base na concentração de algum elemento ou de alguma substância celular.

O carbono da biomassa microbiana (CBMS) reflete a dinâmica da decomposição da matéria orgânica, influenciando na disponibilidade de nutrientes para as plantas (FRIGHETTO, 2000). Pode ser avaliada por método direto, pela microscopia, ou indireto pela fumigação-extração, fumigação-incubação e a respiração induzida pelo substrato (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

O quociente microbiano ( $q_{Mic}$ ) expressa a relação entre o CBMS e o COT. Esse parâmetro, tem sido utilizado como indicador da qualidade da matéria orgânica do solo, pois demonstra a quantidade de carbono orgânico que está imobilizado na biomassa (SILVA et al., 2010).

Considerando que o volume de gás carbônico produzido ou a quantidade de oxigênio consumida resultam dos processos metabólicos dos organismos vivos (SCHMITZ, 2003), a Respiração Basal (RB) é um dos parâmetros mais antigos para quantificar a atividade microbiana do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). É determinada a partir da produção de dióxido de carbono, uma vez que a concentração desse gás na atmosfera (0,033%) é mais baixa que a do oxigênio (20%) (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Ressalta-se, que a respiração microbiana diminui conforme a profundidade do solo, e correlaciona-se significativamente com conteúdo da matéria orgânica do solo.

O quociente metabólico ( $q_{CO_2}$ ), determinado pela relação entre RB e CBMS, indica o quanto a biomassa microbiana é eficiente na biossíntese a partir do carbono disponível, o que o torna um sensível indicador para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato (SAVIOZZI et al., 2002). Situações de estresse, determinantes de maior gasto de energia, resultam em quociente metabólico alto. Contudo deve-se comparar

solos do mesmo tipo, pois outros fatores podem influenciar a biomassa microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Enzimas são proteínas de alta especificidade, catalisadoras de diversas reações químicas, que atuam na quebra de moléculas orgânicas de células vivas por exemplo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Suas atividades podem ser auxiliares na interpretação da condição funcional do CBMS total ou de algum compartimento, sendo assim consideradas indicadoras da qualidade do solo (DE-POLLI; GUERRA 1997). Contribuem para avaliação do manejo do solo, demonstrando seu efeito sobre os processos biológicos, fertilidade relativa e desenvolvimento da comunidade vegetal.

A enzima desidrogenase, por exemplo, é amplamente utilizada para avaliar a atividade metabólica dos microrganismos do solo (SAVIOZZI et al, 2002). Contudo, para que estas avaliações sejam efetivas, torna-se necessário o estabelecimento de parâmetros que se relacionam aos diversos tipos de clima e solo (SCHMITZ, 2003). Manejos que promovem ciclagem de matéria orgânica (adubação orgânica, rotação de culturas, plantio direto etc.) favorecem sua complexação na matriz do solo, podendo apresentar maiores níveis de atividade biológica, produção enzimática, produção de colóides orgânicos e, conseqüentemente, agregação do solo (Dick et al.,1996).

## **2.5. Cromatografia de Pfeiffer**

A caracterização de uma mistura pode ser realizada pela cromatografia, que corresponde à um método físico de separação por retenção seletiva. Ela apresenta duas fases, a móvel que consiste em um fluido que arrasta a amostra por capilaridade e uma fase estacionária, caracterizada pela retenção seletiva em um sólido. Os componentes da mistura se inter-relacionam com a fase estacionária de formas distintas, perpassando-a com velocidades diferentes, sendo assim separados (RESTREPO; PINHEIRO 2011).

A capilaridade é um fenômeno presente em toda natureza, consiste na tendência dos líquidos a subirem em tubos capilares ou de fluir através de corpos porosos devido à ação da tensão superficial (WAKSMAN, 1936).

A intenção original de Friedlieb Ferdinand Runge (1795 – 1867), precursor da técnica cromatográfica, foi compreender o aspecto dinâmico ligado a transformação da

matéria, e não apenas o de separar substâncias. A partir disso, foram desenvolvidos os Métodos Geradores de Imagens, a fim de investigar a vitalidade de substâncias orgânicas e a noção de auto-organização da matéria propostos por Johann Wolfgang von Goethe (1749 – 1832) e Runge. No campo agrícola, esses métodos destinam-se a caracterizar solos ou compostos e para determinar a qualidade dos alimentos (MASEDA, 2016).

Para Runge, as imagens formadas nas cromatografias são produzidas por uma força diferente do magnetismo, eletricidade ou galvanismo. É uma força que não atua a partir do exterior, mas é viva nas substâncias originais e torna-se ativa, quando as moléculas se reorganizam em contato com o papel. Esta força foi denominada por Runge de “força formativa”, considerada por ele como um protótipo da energia da vida, ativa nos animais e vegetais (WILLIAMS; WEIL, 1952).

A concepção de forças formativas possibilita a compreensão das relações entre estrutura, húmus e as funções biológicas do solo. Essas mesmas forças são responsáveis pela formação de grumos, aglomerados onde se encontra a matéria orgânica organizada, formando moléculas orgânicas complexas, que são determinantes da fertilidade do solo. Estas forças, ligadas ao solo, se opõem às forças que tendem a mineralizá-lo, modificando as substâncias e forças do reino mineral que podem ser chamadas de forças mineralizantes (MASEDA, 2016).

Um dos métodos formadores de imagens foi desenvolvido por Lili Kolisko denominado Dinamólise Capilar, publicado no livro “Agriculture of Tomorrow” (Agricultura do Amanhã). Tem por base a utilização dos fenômenos da adsorção e distribuição, além da interação com um sal metálico previamente impregnado em um papel, onde as amostras correm numa configuração vertical (KOLISKO; KOLISKO, 1939).

Segundo a autora, as imagens fornecidas pelo método de Dinamólise Capilar, correspondem às forças que configuram o aspecto e estrutura do solo, e assim, podem ser usadas para caracterizá-lo. O método permite julgar muito rapidamente o valor de qualquer composto, solo ou fertilizante. (KOLISKO; KOLISKO, 1939).

Concebe-se que, nas experiências de Dinamólise Capilar, as forças formativas do solo produzem formas e padrões característicos, construídos durante a fixação no suporte de solidificação oferecido pelo papel filtro, os quais podem ser identificados qualitativamente através da comparação com padrões já estabelecidos (MASEDA, 2016).

Uma variação do método horizontal de Dinamólise Capilar foi proposto por

Pfeiffer (1899-1961) no livro “Chromatography applied to quality testing” (Cromatografia Aplicada para Teste de Qualidade) publicado em 1959, que posteriormente ficou conhecido por Chroma-Boden-Test (Teste de Solo Croma), Chroma-Test (Teste de Croma) e Pfeiffer Chromatography (Cromatografia de Pfeiffer) (MASEDA, 2016).

O método desenvolvido por Pfeiffer foi embasado em sua “Teoria da Vitalidade do Solo”, onde ele propôs que as relações entre microrganismos, solos e plantas promovem contínuas transformações de energia, base para sustentação da vida. Desta maneira, por meio da cromatografia, Pfeiffer buscou avaliar a saúde do solo, estabelecendo associações das imagens formadas com o teor de matéria orgânica, microvida e grau de oxidação/redução de enzimas, vitaminas e proteínas (PINHEIRO, 2015).

Existem solos que possuem condições minerais quase idênticas, porém apresentam grande distinção quanto a eficiência biológica, promovendo maior rendimento e qualidade nas colheitas. Assim, a Cromatografia de Pfeiffer foi concebida para diagnóstico qualitativo de fatores biológicos, usada para determinar as diferenças na formação de húmus que não poderiam ser detectadas por análises químicas, sendo estas atribuídas à sua condição. Este método serviria de complemento às análises químicas que estudam as substâncias do ponto de vista da composição (PFEIFFER, 1984).

Os métodos de Dinamólise Capilar permitem estudar o equilíbrio no solo entre as forças mineralizantes que tendem à mineralização e as forças formativas que tendem a configurar a matéria orgânica. No método horizontal de Dinamólise Capilar, as forças formativas do solo são expressas nas características radial, rítmica, ondulada e difusa. As forças mineralizantes fazem com que os limites marcados sejam formados na forma de anéis, que possuem características circulares bem diferenciadas (MASEDA, 2016).

Em sua tese de doutorado, Verdade e Ciência (1892), Rudolf Steiner discorreu sobre o subjacente problema epistemológico da utilização de métodos analíticos convencionais para caracterizar organismos vivos como principal obstáculo limitante à compreensão da natureza orgânica. Por isso a necessidade de se introduzir a noção sobre as forças formativas, que permitem ampliar o quadro conceitual e adquirir representações mais amplas da natureza do solo, tendo como ferramenta de diagnóstico os Métodos de Formação de Imagens (MASEDA, 2016).

### 2.5.1. Procedimentos da cromatografia de Pfeiffer

Os procedimentos operativos que Pfeiffer (1984) descreve são os seguintes:

- Preparação dos papéis filtro
- Extração
- Difusão do extrato (corrida cromatográfica)
- Revelação
- Interpretação

#### 2.5.1.1. Preparação dos papéis filtro

Os papéis filtro (PF) recomendados por Pfeiffer são o n°1 e n°4 da marca Whatman de 15 cm de diâmetro. Deve-se fazer um furo de 2 mm no centro do PF com um vazador e marcá-lo a 4 cm e 6 cm de distância do centro com uma agulha fina.

Com um PF da mesma qualidade prepara-se uma quadrícula de 2 x 2 cm e enrola-se em formato de um canudinho, posteriormente colocado no centro do PF perfurado (FIGURA 2.1).



**FIGURA 2.1** – Preparo dos papéis filtro

Os PF com os canudinhos são então sobrepostos em duas Placas de Petri,

uma de 5 cm de diâmetro onde é colocada a solução de  $\text{AgNO}_3$  na concentração 0,5%, de modo que o canudinho tenha contato com a solução, e uma de 10 cm de diâmetro onde se repousa o PF para que ele não dobre (FIGURA 2.2).

A impregnação deve ocorrer até a marca de 4 cm, então retira-se imediatamente o contato do canudinho com a solução e, logo em seguida, retira-se o canudinho do centro do PF impregnado. O PF preparado deve ser colocado em ambiente isento de luz para secar por 3 a 5 horas.



**FIGURA 2.2** – Impregnação com solução de  $\text{AgNO}_3$  a 0,5%.

#### **2.5.1.2. Extração**

Coloca-se 5 gramas de solo em um frasco Erlenmayer de 125 mL e então, adiciona-se 50 mL de solução de hidróxido de sódio a 1%. Na sequência, realiza-se a agitação manual de forma circular, 6 vezes para a direita seguida de 6 vezes para a esquerda e repetido 6 vezes cada conjunto direita-esquerda, para extração completa. Esse procedimento é realizado 3 vezes nos intervalos 0, 15 e 60 minutos e posterior decantação por 5 horas.

#### **2.5.1.3. Difusão do extrato e Revelação**

Retira-se 5 mL do sobrenadante do extrato já decantado e então realiza-se

a difusão do mesmo em PF já impregnado com a solução de  $\text{AgNO}_3$ . O Procedimento é semelhante ao da impregnação do PF com  $\text{AgNO}_3$ , porém dessa vez deve ocorrer até a marca de 6 cm. Após a difusão o PF deve ser exposto a iluminação indireta por até dez dias para revelação das imagens.

#### **2.5.1.4. Interpretação**

A análise do cromograma é realizada por meio da observação dos tamanhos, formas e cores das quatro primeiras zonas (FIGURA 2.3) que o compõe (RESTREPO; PINHEIRO 2011). Como parâmetro para interpretação dos cromogramas, de acordo com os procedimentos de Pfeiffer, uma equipe composta por técnicos, incluindo Sebastião Pinheiro e Jairo Restrepo, documentou 6.757 amostras de solo oriundas de 37 países da América Latina (SANTANA, 2014).

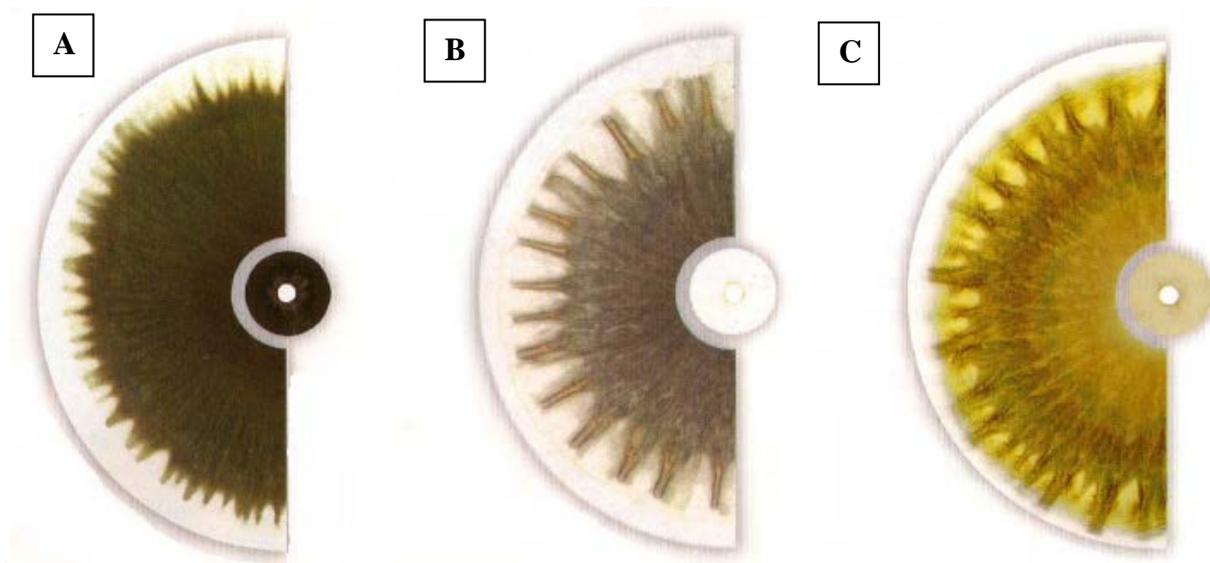
Segundo Pfeiffer (1984), na leitura do cromograma deve-se considerar o número, largura e cor das diferentes zonas, bem como sua formação regular ou irregular e sombreamento. As imagens são separadas por três zonas principais: a interna, que indica a presença ou ausência de mineralização, e as zonas externa e média, as quais estão relacionadas ao material orgânico. Restrepo e Pinheiro (2011) adicionam a leitura e interpretação da zona central do cromograma.



**FIGURA 2.3** – Identificação esquemática das principais zonas de um cromograma (RESTREPO; PINHEIRO, 2011).

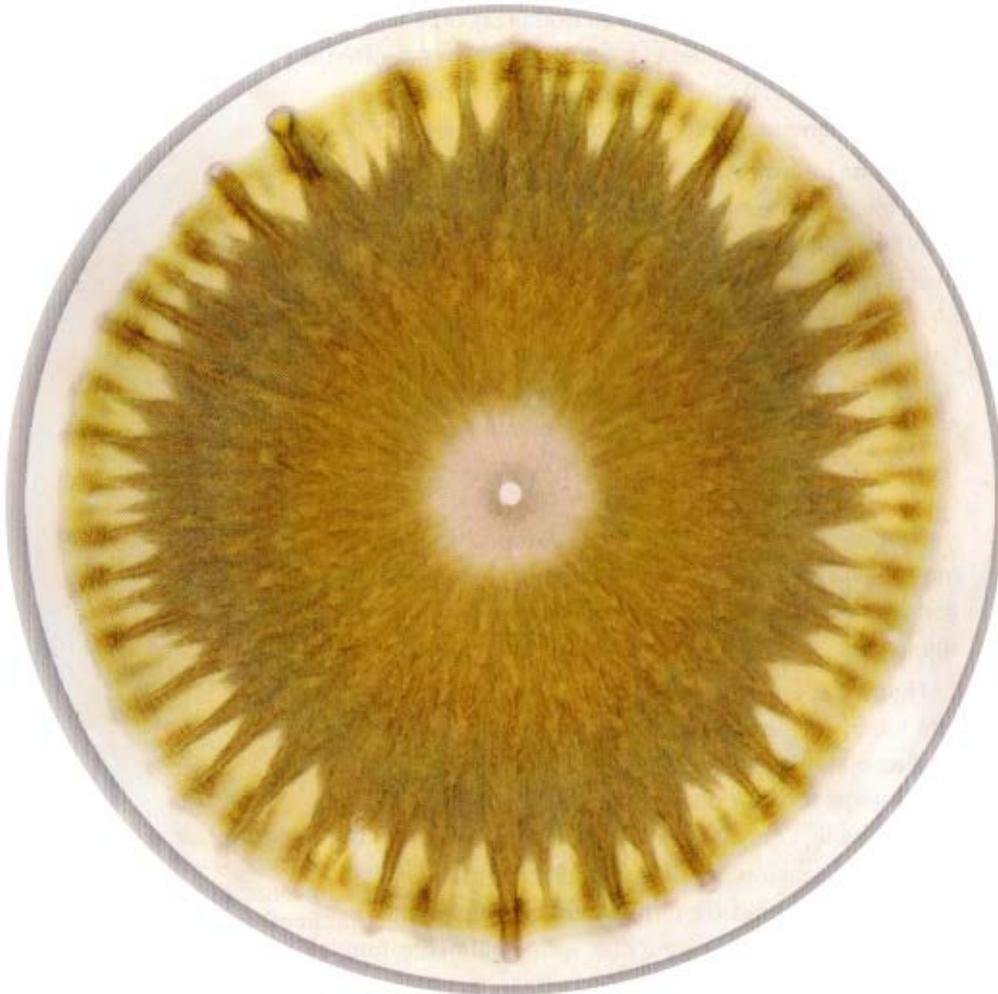
A zona central corresponde à zona de oxigenação e aeração, nela todas as substâncias presentes na amostra circulam por capilaridade, sendo que algumas reagem com nitrato de prata e se revelam. Esta zona pode não se manifestar ou apresentar coloração escura (FIGURA 2.4 A) em solos mal manejados e destruídos pela mecanização pesada, aplicação de agrotóxicos e exposição intensa ao sol. Solos com essas características encontram-se compactados, mal estruturados e pobres em matéria orgânica (RESTREPO; PINHEIRO 2011).

Quando esta zona se apresenta com coloração branca (FIGURA 2.4 B), pode indicar excesso de adubação nitrogenada, uso de adubos de alta solubilidade, uso constante de herbicidas, ou ainda utilização de compostos não bioestabilizados. A coloração creme ou bege (FIGURA 2.4 C), indica solos de boa qualidade, bem estruturados, aerados e não compactados (RESTREPO; PINHEIRO 2011).



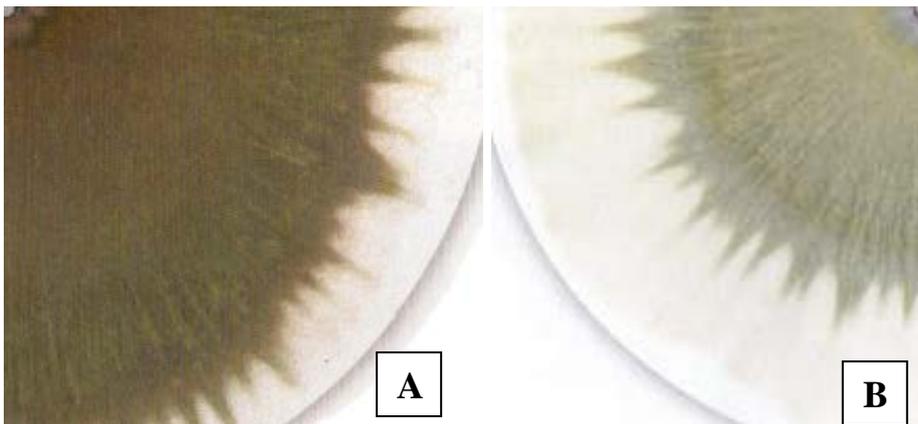
**FIGURA 2.4-** Evolução da zona central de acordo com a coloração (RESTREPO; PINHEIRO, 2011).

Na zona interna ou mineral se concentra a maioria das reações minerais da amostra. Nela ficam retidas substâncias mais pesadas, que reagem com nitrato de prata impregnado no PF. Esta zona pode ou não estar integrada com as demais zonas do croma, dependendo do tipo de solo e do estado de degradação em que este se encontra (RESTREPO; PINHEIRO 2011). Quando esta zona apresenta coloração clara, partindo da zona interna até o final do croma de forma harmônica, é indicador de solo saudável (FIGURA 2.5), com boa estrutura, atividade biológica dinâmica e boa reserva de matéria orgânica (PINHEIRO, 2011).



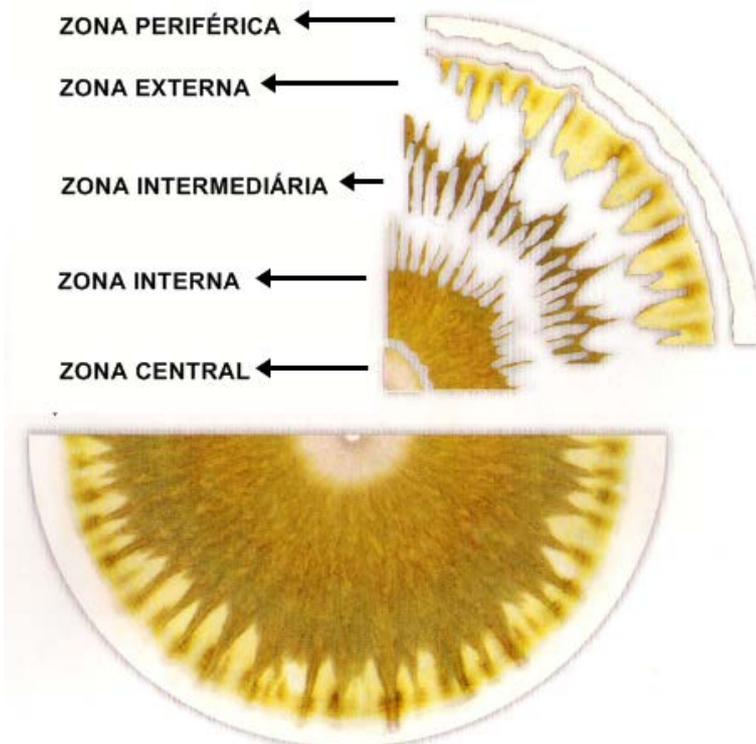
**FIGURA 2.5-** Cromatografia de um solo saudável, integração entre as zonas e harmonia das cores (RESTREPO; PINHEIRO, 2011).

Cromas que apresentam colorações escuras e uniformes, que partem desde a zona central sem se distinguir da zona mineral apresentando terminações pontiagudas, indicam solos de má qualidade, mineralizados, erosionados, compactados e sem estrutura (FIGURA 2.6). Essas características podem ser oriundas de mecanização pesada e, na maioria das vezes, apresentam ausência de matéria orgânica e atividade microbiológica deficiente (RESTREPO; PINHEIRO 2011).



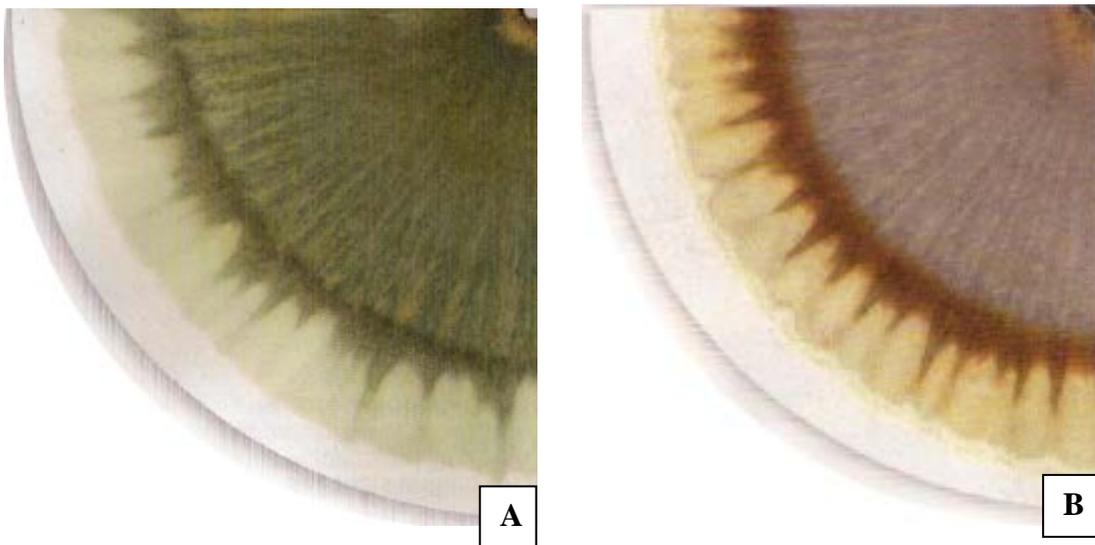
**FIGURA 2.6-** Solo mineralizado, com escassa diferenciação da zona interna (A) e solo mineralizado com centro pouco visível (B) (RESTREPO; PINHEIRO, 2011).

A zona intermediária ou proteica, indica presença de matéria orgânica, mas não significa que esta está integrada ao solo ou biologicamente ativa. A integração ocorre quando é possível notar a invasão de traços entre as zonas adjacentes (FIGURA 2.7), ocasionando uma mudança gradual (RESTREPO; PINHEIRO 2011).



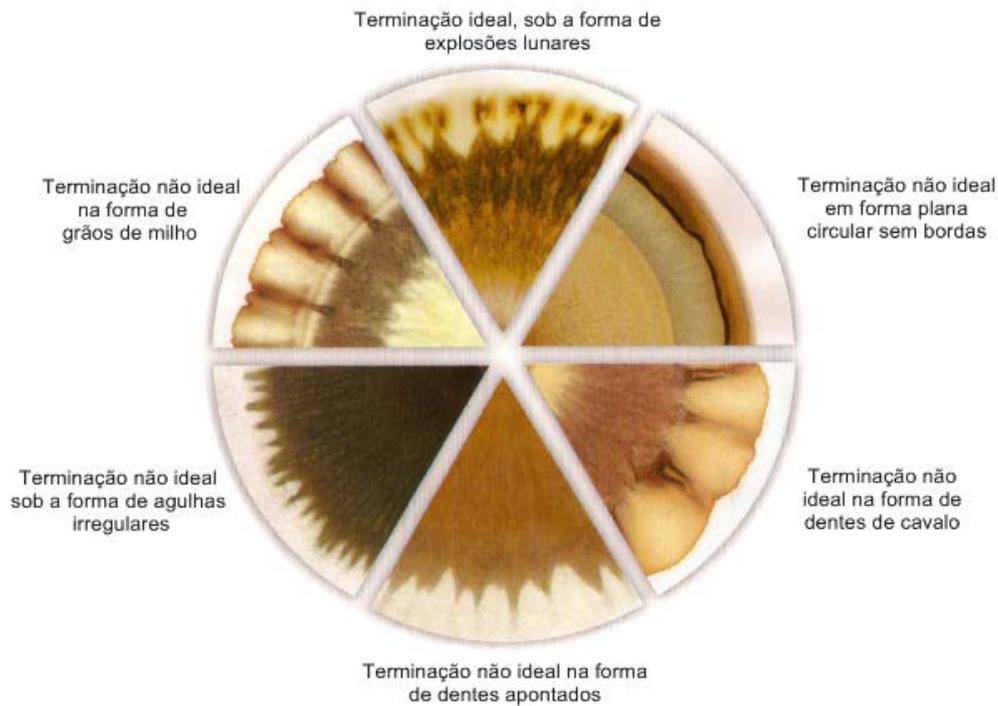
**FIGURA 2.7-** Croma de um solo ideal, com zona intermediária bem integrada às demais zonas adjacentes (RESTREPO; PINHEIRO, 2011).

Zona intermediária escassa, não integrada às demais zonas, é indicativo de baixa atividade biológica e reduzida quantidade de matéria orgânica (FIGURA 2.8). Essas características são frequentes em solos mecanizados e com aplicação intensiva de insumos químicos solúveis, que não aportam biomassa no solo e, como consequência, promovem baixa ciclagem de nutrientes (RESTREPO; PINHEIRO 2011).



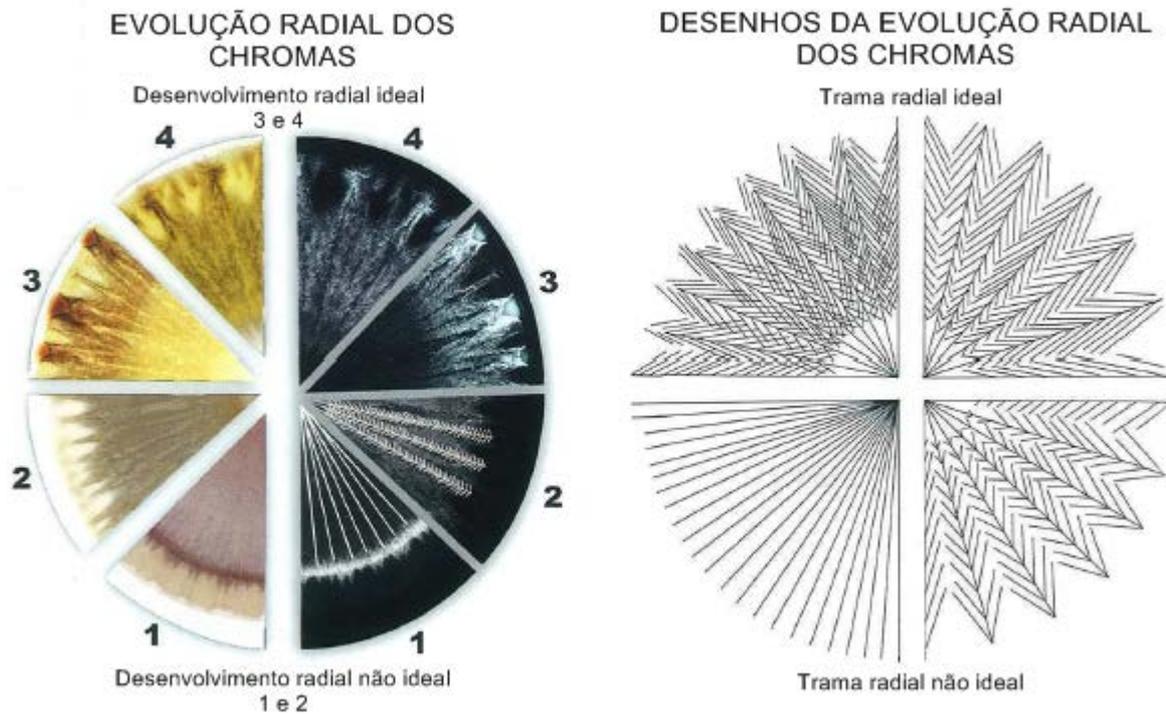
**FIGURA 2.8-** Cromo de solo com ausência de zona intermediária (A), e com zona intermediária escassa e não integrada as demais zonas (B), indicando carência de matéria orgânica e baixa atividade microbiológica (RESTREPO; PINHEIRO, 2011).

Zona externa ou enzimática corresponde ao aspecto nutricional do solo, presença de húmus permanente (FIGURA 2.9). Formações onduladas tênues, ou pontos suaves são indicadores de solo fértil, com abundância e diversidade nutricional disponível (RESTREPO; PINHEIRO 2011).



**FIGURA 2.9-** Formações da zona externa em cromas indicando presença ou ausência de variedade nutricional ativa e permanente (RESTREPO; PINHEIRO, 2011).

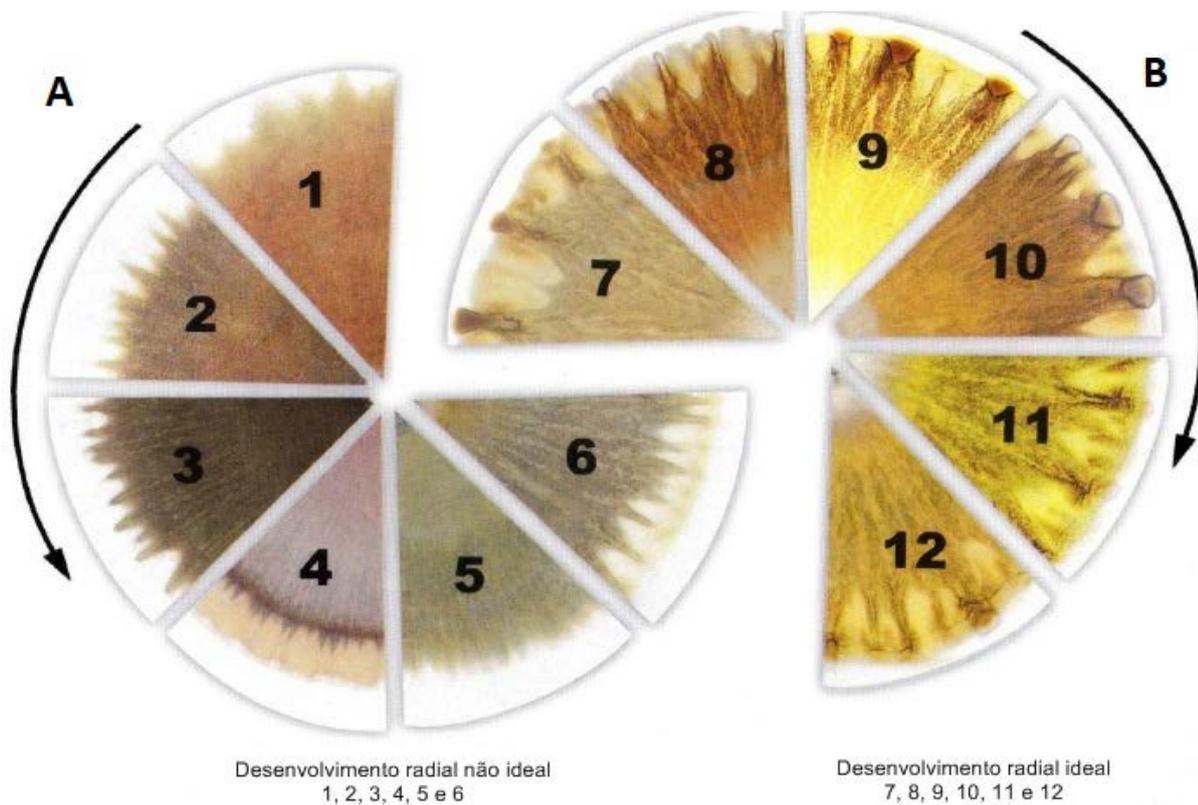
Outras características importantes nos cromas são o número, cor e forma das radiações (FIGURA 2.10). Estas registram uma evolução gradual, variando de linhas muito retas que se afastam da zona central para uma formação de múltiplos caminhos sinuosos ramificados, que se assemelham a uma pluma de penas de vários tamanhos (PFEIFFER, 1984; RESTREPO; PINHEIRO 2011).



**FIGURA 2.10-** Formas e aspectos das radiações que podem estar presentes nos cromas (RESTREPO; PINHEIRO, 2011).

As radiações (FIGURA 2.11 A) de cor violeta na zona interna indicam tendência de desagregação à mineralização e, no caso de solos cultivados, quando a radiação está totalmente ausente é sinal de solo degradado, compactado por mecanização pesada e sem estrutura (PFEIFFER, 1984; RESTREPO; PINHEIRO 2011).

Quando os cromas apresentam radiações cujas formas aparentam “rodovias sinuosas”, representam solos com qualidade estrutural mediana, que estão em processo de recuperação, com presença de matéria orgânica e atividade microbológica. Caso, na zona externa, as radiações terminem sob forma de “nuvens ou lunares” de cor café suave (FIGURA 2.11 B) em diferentes tamanhos, é sinal de solo de ótima qualidade (RESTREPO; PINHEIRO 2011).



**FIGURA 2.11-** Coloração e desenvolvimento das radiações que podem estar presentes nos cromas (RESTREPO; PINHEIRO, 2011).

A zona periférica é o local onde não ocorre a corrida das substâncias, ou seja, onde o PF não é impregnado com a solução, sendo utilizada para registrar as informações da amostra (local de origem, filtro de papel utilizado, data) e para manipulação do crama (evitando tocar o filtro nas partes internas, onde ocorrerá a impregnação, para não o comprometer).

A cor do crama é indicador da qualidade do solo (FIGURA 2.12), sendo que as cores amarelas, douradas, alaranjadas, rosas, café claro e algumas tonalidades de verde são indicativos de solos saudáveis e de bom estado. Colorações escuras como preto, cinza, pardo, violeta e tonalidades azuladas indicam solo de má qualidade (RESTREPO; PINHEIRO 2011).

Segundo Pfeiffer (1984), a coloração castanho claro a médio, uniformemente distribuído, aponta para uma boa formação de húmus coloidal; os envoltórios do marrom escuro apontam às substâncias ácidas do húmus; radiações violetas apontam para mineralização crescente e substância orgânica reduzida.



**FIGURA 2.12-** Padrão de cores para análise cromatográfica de solos (RESTREPO; PINHEIRO, 2011).

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 1998. 120 p.

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

ASSIS, R. L.; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL**, 40., 2002, [Campinas]. Desenvolvimento e Meio Ambiente. [Campinas]: Ufpr, 2002. v. 6, p. 67 - 80.

BAKKER, A. Y BAKKER, J. (2008). **Cromatografía, imágenes de energía**. Holanda: Borger, 2008. 103 p.

BALSAN, R. Impactos Decorrentes da Modernização da Agricultura Brasileira. **CAMPOTERRITÓRIO: Revista de Geografia Agrária**, Francisco Beltrão, v. 1, n. 2, p. 123-151, 2006.

BAZOTTI, A.; COELHO, L.B. Produção de *Commodities* pela Agricultura Familiar: insegurança alimentar e novos desafios ao PRONAF. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba v. 38, n. 133, p. 113-129, 2017.

CASTAÑÓN, E. A ilusão do desenvolvimento por meio da transgenia na América do Sul. 2015. Disponível em: <http://www.mst.org.br/2015/02/24/a-transgenia-e-a-ilusao-de-desenvolvimento-agricola-da-america-do-sul.html>. Acesso em: 24 mai. 2016.

CORREIA, A.C.F.; PAIVA, A.P.S.; CORDEIRO, L.M.C. As relações de exportações e importações das *commodities* brasileiras no período de 2001 a 2015. **Reflexões Econômicas**, Brasília v. 3, n. 1, p. 21-37, 2018.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação-extração. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 10 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 37).

DICK, R.P.; BREACKWELL, D.P.; TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (eds) **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, p.247-271, 1996.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, p. 3-21, 1994.

FAO. **Food Integrated crop management 6**. Rome: FAO, 2008.

FAO, ITPS. **Status of the World's Soil Resources (SWSR)**–technical summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy 2015.

FRIGHETTO, R. S. Análise da biomassa microbiana em carbono: Método de fumigação-extração. In: FRIGHETTO, Rosa Toyoko Shiraishi et al. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**. Jaguariúna: Embrapa, cap. 18. p. 157-166, 2000.

GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Reflexões Sobre o Papel da Política Agrícola Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Texto para Discussão no 1936. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Ipea. Rio de Janeiro: Ipea, 2014.

HELFAND, S. M.; MOREIRA, A. R. B.; BRESNYAN J. R.; Edward, W. Agricultural Productivity and Family Farms in Brazil: Creating Opportunities and Closing Gaps. Trabalho elaborado para o Banco Mundial - World Bank Sustainable Development Department Brazil Country Management Unit Latin America and the Caribbean Region. 15 jun. 2015.

KOLISKO, E.; KOLISKO, L. **Agriculture of tomorrow**. 2nd ed. Bournemouth, England: Acorn Press, 1939. 321 p.

LANGEVIN, Mark S. O backstop brasileiro: a modernização da agricultura brasileira e a sua contribuição para o desenvolvimento nacional. **Revista Jurídica da Presidência**, v. 19, n. 119, p. 454-488, 2018.

MASEDA, Montserrat Trio. **Desarrollo y caracterización del método de dinamolisis capilar para el análisis de suelos contaminados**. 2016. 223f. Tese de Doutorado. Universidad Politécnica de Madrid, 2016.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Ufla, 2006. 729 p.

NOVOTNY, E. H.; REBELLO, C. M.; TURETTA, A. P. D. Os ácidos húmicos como indicadores de serviços ecossistêmicos. In: **Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E MATÉRIA ORGÂNICA NATURAL, 12., 2017, Sinop. Matéria orgânica e suas múltiplas funcionalidades: livro de resumos. Sinop:[sn], p. 140-143, 2017.

PINHEIRO, S. **Cartilha da saúde do solo e inocuidade dos alimentos**. Rio Grande do Sul: Jaquira Candiru Satyagraha, 2011. p. 122.

PINHEIRO, S. **SAÚDE NO SOLO: BIOPODER CAMPONÊS VERSUS AGRONEGÓCIO**. Canoas: Salles, 2015. 224 p.

PFEIFFER, E. E. **Chromatography applied to quality testing**. [S.l. : s. n.]. Wyoming: Bio-dynamic Literature, 1984. 44 p.

PRIMAVESI, A; PRIMAVESI, A. M. **A Agricultura moderna intensiva: A biocenose do solo na produção vegetal**. Santa Maria: Palotti, 1964. 217 p.

PRIMAVESI, A.M. **O manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1980. 541 p.

RESTREPO, J. R.; PINHEIRO, S. **CROMATOGRAFÍA: IMÁGENES DE VIDA Y DESTRUCCIÓN DEL SUELO**. Cali: Impresora Feriva, 2011. 252 p

ROBERTS, T. L.; RYAN, J. **Solo e segurança alimentar**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2015.

SANTANA, F. J. A. **“Evaluación cualitativa mediante cromatografía, de la fertilidad de cinco suelos con diferentes manejos orgánicos y convencionales”**. 2014. 175 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia), Universidad de Cuenca, Cuenca, 2014.

SARANDÓN, S. J.; FLORES, C. C. **Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2014. 467 p.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALD, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology & Fertility of**

**Soils**, Berlin, v. 35, p. 96-101, 2002.

SCHMITZ, J. A. K. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2003. 176 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SHIVA, V. **Monoculturas da mente: perspectivas da biodiversidade e da biotecnologia**. São Paulo: Gaia, 2003.

SILVA, I. R. da; MENDONÇA, E. de Sá. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, Roberto Ferreira et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SbcS, cap. 6. p. 276-357, 2007.

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, MG, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

TURCO, R.F.; BLUME, E. Indicators of soil quality. In: SIQUEIRA, J.O. [et al.] (eds.) Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Soil fertility, soil biology, and nutrition interrelationships. Viçosa : SBCS; Lavras : UFLA/DCS, p.529-550, 1999.

WAKSMAN, S.A. **HUMUS: ORIGIN, CHEMICAL COMPOSITION, AND IMPORTANCE IN NATURE**. [S.l. : s. n.]. Baltimore: The Williams & Wilkins Company, 1936. 508 p.

WILLIAMS, T. I.; WEIL, H. Definition of chromatography. **Nature**, v. 170, n. 4325, p. 503, 1952.

#### 4. ARTIGO A

### **Cromatografia de Pfeiffer: estabelecimento de parâmetros metodológicos e padronização de eficácia**

**Resumo:** A atividade agrícola mediante diferentes práticas de manejo, altera a capacidade produtiva do solo, demandando avaliações constantes para manutenção de sua qualidade. Cromatografia de Pfeiffer (CP) corresponde a um método simples, prático e econômico, potencialmente considerado para diagnóstico dessa qualidade. Contudo, é pouco conhecido e carece de estudos para sua validação científica e padronização. O objetivo desse estudo foi avaliar e desenvolver procedimentos metodológicos que busquem padronizar a CP, de forma a favorecer sua reprodução a campo. Os procedimentos metodológicos avaliados foram a impregnação do papel filtro com nitrato de prata, utilização de amostras compostas, tamização e agitação para extração das amostras de solo. Adicionalmente avaliou-se condições de umidade relativa do ar durante a extração e a iluminação durante revelação das imagens. Como resultado foi possível verificar diferenças no cromas referentes aos processos de impregnação do PF, tendo melhores resultados a impregnação até 3,8 cm com controle de volume e até 3 cm sem controle de volume. Não houve diferença em relação aos métodos de tamização e agitação avaliados. A utilização de amostras compostas mostrou-se viável, dado a correspondência das repetições. A umidade relativa do ar durante a difusão do extrato e a iluminação durante o processo de revelação das imagens alteram a qualidade dos cromas. Concluí-se que a CP pode ser realizado tanto em condições de laboratório como de campo, adotando a marca de 3 cm para impregnação do nitrato de prata ou de 3,8 cm com controle de volume e atendendo as condições ambientais recomendadas para o método.

**Palavras-chave:** cromatografia circular de Pfeiffer, Indicador de qualidade do solo, teste de solo cromado

#### **Introdução**

O manejo adequado dos solos agrícolas é o principal fator a ser considerado quando se almeja uma produção agrícola sustentável, pois as diferentes práticas de manejo podem alterar sua qualidade e, conseqüentemente, sua capacidade produtiva. Para estimativa da qualidade do solo, têm-se adotado o uso de indicadores, atributos que permitem examinar a sustentabilidade do agroecossistema. Um diagnóstico qualitativo permite avaliação e regulação do manejo, assegurando tomada de decisões mais conscientes dos processos que envolvem o solo

Os indicadores podem ser classificados em químicos, físicos e biológicos, devem possuir efeito sobre os processos ecológicos, serem sensíveis a variação do manejo e clima e favoráveis à

compreensão e utilização por especialistas, técnicos e agricultores (Araújo e Monteiro 2007).

Devem apresentar respostas rápidas e precisas após alterações, refletir aspectos do funcionamento do ecossistema, apresentar baixo custo de aplicação e possibilidade de emprego universal, porém com especificidades individuais à depender dos fatores bióticos e abióticos (Turco e Blume 1999).

A Cromatografia de Pfeiffer (CP) é um método de diagnóstico da qualidade do solo que vem sendo estudado por pesquisadores desde 1959. Trata-se de um método físico de separação de misturas que apresenta duas fases, a móvel que consiste em um fluido que arrasta a amostra por capilaridade e a estacionária, caracterizada pela retenção seletiva em um sólido. Os componentes da mistura se inter-relacionam com a fase estacionária, perpassando-a com velocidades distintas, e assim, separando uns dos outros (Restrepo e Pinheiro 2011). No entanto, a CP é ainda uma ferramenta pouco conhecida por agricultores e técnicos, não difundida na academia e que demanda estudos para sua validação científica e padronização, uma vez que pode sofrer influências de fatores como temperatura, umidade relativa e iluminação durante sua realização.

Voilt e Guggenberger (1986), Balzer-Graf e Balzer (1989), Blank (1991), Kanzler (1991), Bangert (1994), Hassold-Piezunka (2003), buscaram a padronização do método proposto por Pfeiffer, contudo a eficácia individual de cada medida adotada não foi documentada e algumas delas dificultam o procedimento (Maseda 2016). Restrepo e Pinheiro (2011) adaptaram a metodologia visando garantir a simplicidade e repetibilidade fora do ambiente laboratorial, sem necessidade de ambiente controlado e equipamentos específicos, de forma à possibilitar aos agricultores a repetição do procedimento na propriedade rural.

Diante disso, estudos justificam-se pela necessidade de compreender, padronizar e divulgar a CP como indicador da qualidade do solo. Assim, o presente trabalho tem por objetivo avaliar e desenvolver procedimentos metodológicos que busquem padronizar a CP, de forma à favorecer sua reprodução a campo.

## Material e métodos

### *Caracterização da área de estudo*

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP, no *Campus* Luiz Meneghel (CLM) em Bandeirantes - PR, entre julho e novembro de 2017. O clima da região é classificado como Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfa), de verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com tendência de concentração nos meses de verão. A região apresenta temperatura média anual de 21°C, precipitações entre 1.200 e 1.400 mm e umidade relativa do ar de 75%, conforme a classificação de Köppen. Os solos desta região, segundo Bhering (2008) são classificados como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, textura argilosa, horizonte A moderado, fase floresta tropical subperenifólia e relevo suavemente ondulado. As amostras de solo foram coletadas na área do CLM em diferentes sistemas de manejo, e em propriedade rural situada no município de Santa Amélia – PR. Os municípios situam-se no terceiro planalto e apresentam geologia uniforme com presença de extensos lençóis de lavas de origem vulcânica que constituem o Trapp do Paraná. Em virtude da uniformidade geológica e à pequena variação climática, os solos são muito homogêneos, encontrando-se extensas áreas com o mesmo padrão (Brasil 1971).

Os sistemas de uso do solo coletados foram área de preservação permanente de uma nascente (APP), cultivo mínimo (CM), integração lavoura floresta (ILF), integração pecuária floresta (IPF), transição agroecológica (TA), horta convencional (HC), plantio direto (PD), pastagem (P), agricultura biodinâmica (AB), área de preservação permanente em processo de recuperação (APPR) e solo exposto sem manejo (SE).

### ***Coleta das amostras***

As coletas de amostras compostas, foram realizadas utilizando-se trado holandês, constituídas de dez amostras simples coletadas na profundidade de 0-10 cm. Após a homogeneização foram separados 500 g para processamento.

### ***Preparo das amostras de solo***

A cromatografia de Pfeiffer, foi realizada conforme Restrepo e Pinheiro (2011) com modificações descritas a seguir.

As amostras foram peneiradas em tamis de malha 2 mm e secas em local ventilado e ausente de luz, por 12 horas. Posteriormente, foram maceradas em graal com pistilo, e avaliados dois tratamentos para o procedimento de tamisação: utilizando-se meia de cetim fio 15 (procedimento caseiro) e tamis de malha 0,125 mm (procedimento laboratorial).

### ***Processo de extração das amostras de solo (solução extratora de NaOH 1%)***

Para obtenção do extrato de solo, utilizou-se 5 g de cada amostra de solo, adicionadas à 50 mL de NaOH (Hidróxido de Sódio) a 1%.

Da mesma forma e simultaneamente ao procedimento de tamisação descrito anteriormente, para o processo de extração, foram realizados dois procedimentos de agitação das amostras. Um ocorreu de forma manual, circular seis vezes para a direita, seguida de seis vezes para a esquerda, repetido seis vezes cada conjunto direita-esquerda (procedimento caseiro), e o outro ocorreu utilizando-se mesa orbital a 220 rotações por minuto (RPM), durante um minuto (procedimento laboratorial).

Ambos os procedimentos foram realizados por três vezes, com intervalos de 0, 15 e 60 minutos.

Posteriormente procedeu-se decantação por 5 horas, a fim de obtenção do sobrenadante (extrato do solo).

### ***Preparo do papel filtro***

O preparo do papel filtro (PF) Whatman n° 4, de 15 cm de diâmetro, consistiu na marcação do centro, e de duas distâncias a partir do centro. A primeira orienta o processo de impregnação do papel com a solução reveladora (solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5%), e a segunda orienta a difusão do extrato do solo.

Foram avaliados três tratamentos distintos nessa etapa, sendo que para cada um deles, foi preparado um molde, utilizando-se o mesmo PF, para orientar as marcações. Os moldes foram confeccionados identificando-se o centro dobrando o PF duas vezes e, com um vazador de 2 mm de diâmetro, procedeu-se um orifício no mesmo. Na sequência, utilizando agulha fina e régua, procedeu-se marcação dos filtros de três diferentes formas. Tratamentos:  $T_1$  marcou-se as distâncias 3 cm e 6 cm;  $T_2$ , 4 e 6 cm, e no  $T_3$ , 3,8 e 6 cm. Em todos os tratamentos as marcações foram realizadas em duas direções do eixo cartesiano para controle da corrida cromatográfica.

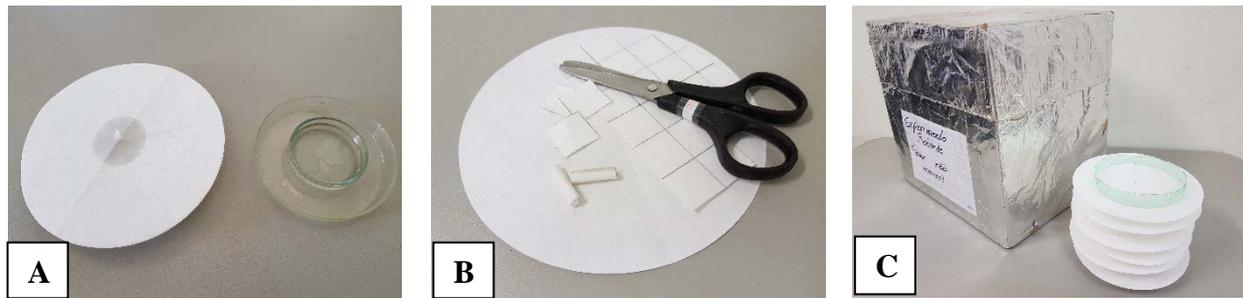
### ***Impregnação do PF com solução reveladora (solução de $\text{AgNO}_3$ 0,5%)***

Durante o intervalo de decantação das amostras, os PF previamente preparados, foram impregnados com solução de  $\text{AgNO}_3$  (Nitrato de Prata) na concentração 0,5%. Para isso, os PF foram alocados sobre duas Placas de Petri, uma de 5 cm de diâmetro onde foi colocada a solução de  $\text{AgNO}_3$  à 0,5%, que fica posicionada dentro da outra de 10 cm de diâmetro, onde se repousa o PF (Figura 1A).

Quadrículas de 2 x 2 cm, feitas com PF, foram enroladas em formato cilíndrico (canudos) e utilizadas para direcionar a ascensão da solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5% por capilaridade, sendo estas colocadas no centro do PF e em contato com a solução (Figura 1B).

Os PF foram impregnados com  $\text{AgNO}_3$  0,5% até a primeira marcação que variou de acordo com os tratamentos ( $T_1$  3 cm,  $T_2$  4 cm e  $T_3$  3,8 cm). Em relação ao volume da solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5%, para os tratamentos  $T_1$  e  $T_2$ , não foram controlados o volume utilizado (Restrepo e Pinheiro 2011), para o  $T_3$  o volume de solução foi 0,5 mL conforme indicação de Balzer-Graf e Balzer (1989).

Após impregnação os PF foram secos em local isento de iluminação durante 3 horas consecutivas. Para isso foi utilizado caixa de papelão embrulhada com papel alumínio, sendo os PF dispostos dentro da caixa entre tiras cilíndricas de garrafa pet com 2 cm de altura cada, evitando contato entre os PF e permitindo ventilação (Figura 1C).



**Figura 1.** Impregnação com solução de  $\text{AgNO}_3$  a 0,5% (A). Preparo das quadrículas (B). Secagem dos PF impregnados com  $\text{AgNO}_3$  em caixa escura (C).

### *Difusão dos extratos das amostras de solo*

Após 5 horas de decantação dos extratos de solo, foi realizada a difusão dos mesmos nos PF impregnados com solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5%, devidamente secos.

O processo de difusão dos extratos do solo no PF foi semelhante ao descrito anteriormente para solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5%, porém para difusão utilizou-se os extratos dos solos, de forma que os mesmos difundiram até a marca de 6 cm em todos os tratamentos.

Em relação ao volume utilizado, conforme descrito anteriormente, no  $T_1$  e  $T_2$  não se controlou o volume (Restrepo e Pinheiro 2011), e para o  $T_3$  o volume de extrato correspondeu à 1,3 mL conforme e Balzer-Graf e Balzer (1989).

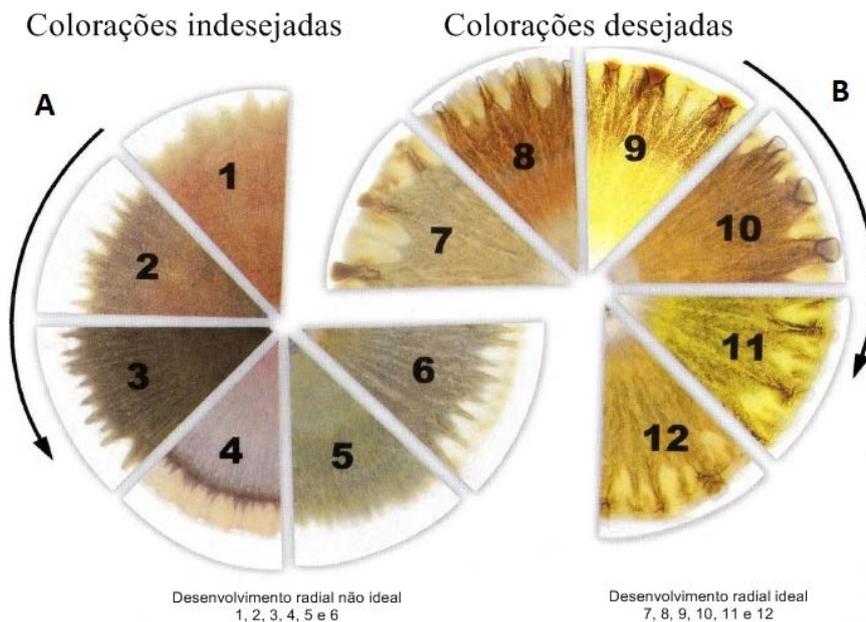
### *Revelação e avaliação das imagens*

Os PF foram depositados sobre papel sulfite por 30 minutos, para pré-secagem e, posteriormente, expostos à iluminação indireta por sete dias consecutivos para revelação das imagens. Após revelação, os cromas foram digitalizados em scanner, para conservação da qualidade das imagens, e as análises comparativas foram realizadas de forma qualitativa por observação visual. Conforme

Restrepo e Pinheiro (2011) foram considerados: tamanho das zonas, formato das radiações, coloração e o aspecto geral das imagens (Figuras 2 e 3).



**Figura 2.** Identificação esquemática das principais zonas de um cromatograma (Restrepo e Pinheiro, 2011).



**Figura 3.** Coloração e desenvolvimento das radiações que podem estar presentes nos cromas (Restrepo e Pinheiro, 2011).

Foram realizadas mais três avaliações referentes a metodologia da CP, sendo este executado conforme Restrepo e Pinheiro (2011) com a adaptação de Balzer-Graf e Balzer (1989) para controle dos volumes, 0,5 mL para impregnação do papel filtro com nitrato de prata e 1,3 mL para a difusão

do extrato do solo.

A fim de verificar a possibilidade de realizar a CP com amostras compostas, foram avaliados oito tratamentos (áreas diferentes), com três repetições (amostras compostas; sendo cada uma destas constituídas de dez amostras simples).

Para verificar a influência da umidade relativa do ar (UR) durante a execução da CP, realizou-se um ensaio com dois tratamentos e oito repetições. Um tratamento com o procedimento realizado em dia de chuva, com UR alta (92%), e no outro em condições adequadas (UR = 65%). A umidade durante a realização da CP foi verificada em psicrômetro da Estação Agrometeorológica de Bandeirantes – PR, localizada no CLM.

Para examinar a influência da iluminação durante a etapa de revelação das imagens, foi realizado um ensaio cromatográfico com dois tratamentos e dez repetições. No primeiro tratamento esse processo ocorreu sob céu nublado, e no segundo, sob céu aberto, ambos sob iluminação indireta.

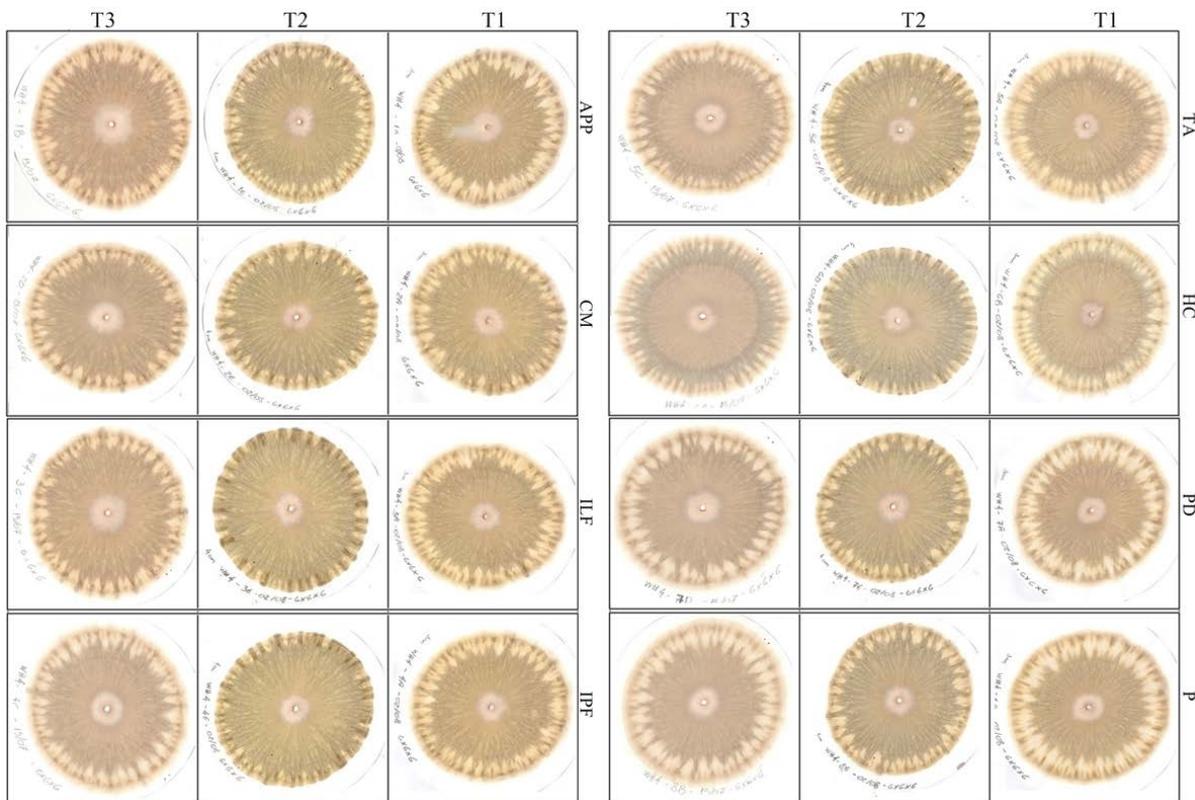
## **Resultados e discussão**

Pfeiffer (1984), em seu método original, realizou a impregnação com  $\text{AgNO}_3$  0,5% até a marca de  $1^{1/2}$  polegadas de distância do centro, o que corresponde a 3,81 cm, e não definiu um volume preciso para esse procedimento. Alguns autores como Voitl e Guggenberger (1986) e Restrepo e Pinheiro (2011) adotaram a distância de 4 cm para impregnação com  $\text{AgNO}_3$ , outros como Kanzler (1991), Blank (1991) e Hassold-Piezunka (2003), adotaram 3,5 cm, sendo que em nenhum destes métodos foi estabelecido um volume fixo da solução (Maseda 2016).

Segundo Maseda (2016), apenas com as marcações no PF fica difícil controlar com precisão as quantidades de reativos e extratos e, com a adoção de volumes fixos somado às marcações, obtém-se melhor acurácia do método, favorecendo sua repetibilidade. Balzer-Graf e Balzer (1989) fixaram o volume em 0,5 mL para impregnação do PF com solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5%, obtendo desta forma, uma redução gradativa da velocidade de difusão até a marca de 4 cm, eliminando assim o risco de

ultrapassá-la. Com igual objetivo, para difusão do extrato até a marca de 6 cm, utilizaram volume de 1,3 mL por PF.

Observou-se no presente estudo, na etapa de impregnação do PF com solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5% até a marca de 4 cm (Restrepo e Pinheiro 2011), que após retirada do canudo, a solução continuava a difundir aproximadamente 1 cm, deixando o PF impregnado até 5 cm. Buscando analisar esse fato, realizou-se tratamento com impregnação de  $\text{AgNO}_3$  0,5% até a marca de 3 cm (T1) e se comparou com PFs impregnados até marca de 4 cm (T2). Adicionalmente foi realizado tratamento de impregnação até os 3,8 cm (T3) com controle de volume de 0,5 mL (Figura 4).



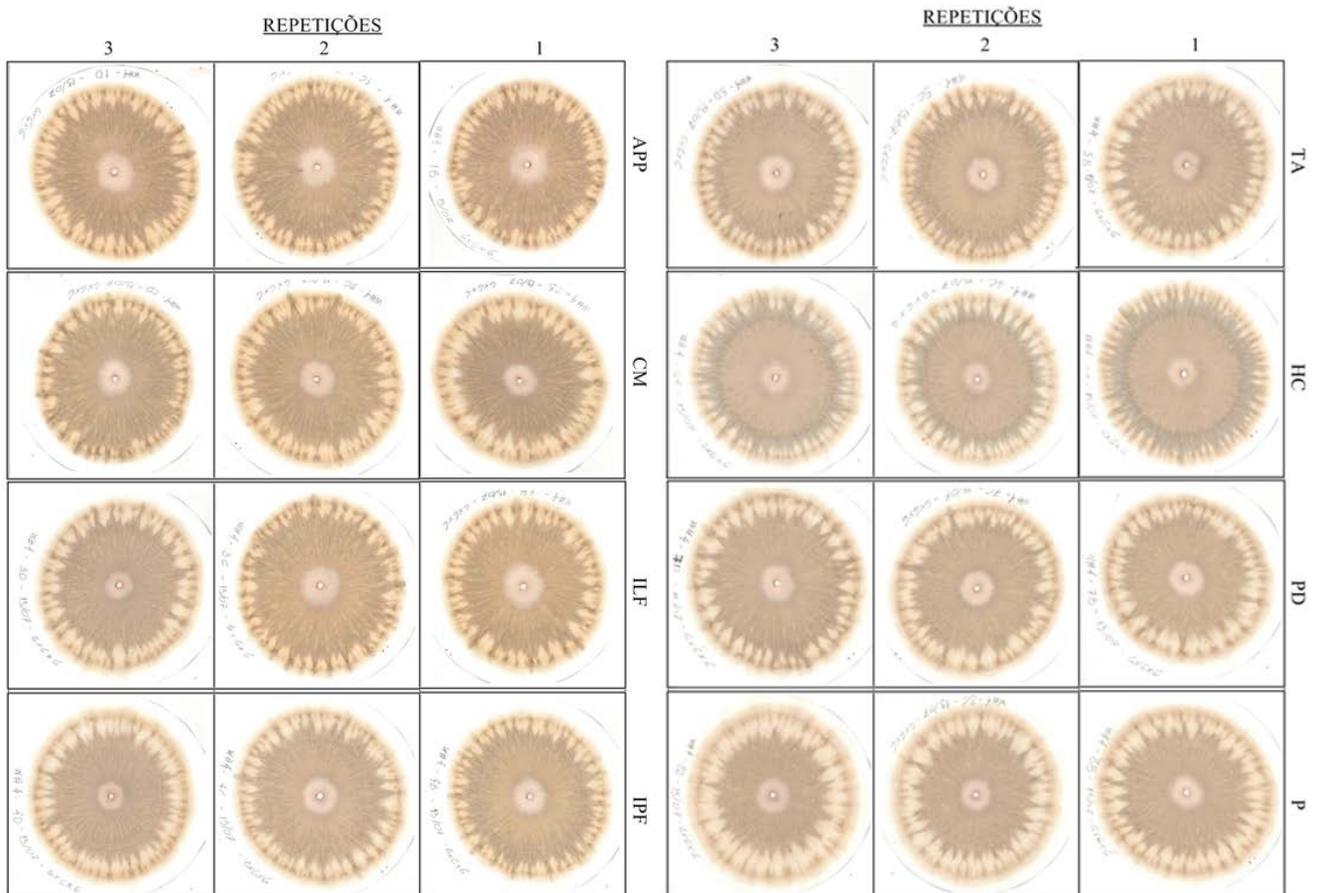
**Figura 4.** Avaliação do controle da impregnação de  $\text{AgNO}_3$  0,5% em relação à distância do centro do PF, para os tratamentos T<sub>1</sub> (3 cm), T<sub>2</sub> (4 cm), e T<sub>3</sub>\* (3,8 cm), nos sistemas de uso do solo: área de preservação permanente de uma nascente (APP), cultivo mínimo (CM), integração lavoura floresta (ILF), integração pecuária floresta (IPF), transição agroecológica (TA), horta convencional (HC), plantio direto (PD) e pastagem (P).

T<sub>3</sub>\* volume controlado para impregnação (0,5 mL)

Na avaliação visual dos cromas é possível verificar maior correspondência entre os tratamentos T1 e T3, que apresentaram distribuição das zonas semelhantes, mesmo aspecto das radiações e igual

configuração da zona externa. No tratamento T2, houve redução da zona externa, também chamada de zona enzimática, comprometendo assim sua avaliação. A interpretação das imagens se baseia nas características morfológicas identificadas nas distintas zonas do cromatograma, sendo a zona externa importante para avaliação do solo, já que a mesma representa o estado do húmus e pode indicar presença de enzimas e proteínas (Maseda 2016).

Afim de verificar o padrão de representatividade quando se trabalha a CP com amostras compostas, foram avaliados oito sistemas de uso do solo com três repetições (amostras compostas; sendo cada uma destas constituídas por dez amostras simples) (Figura 5).



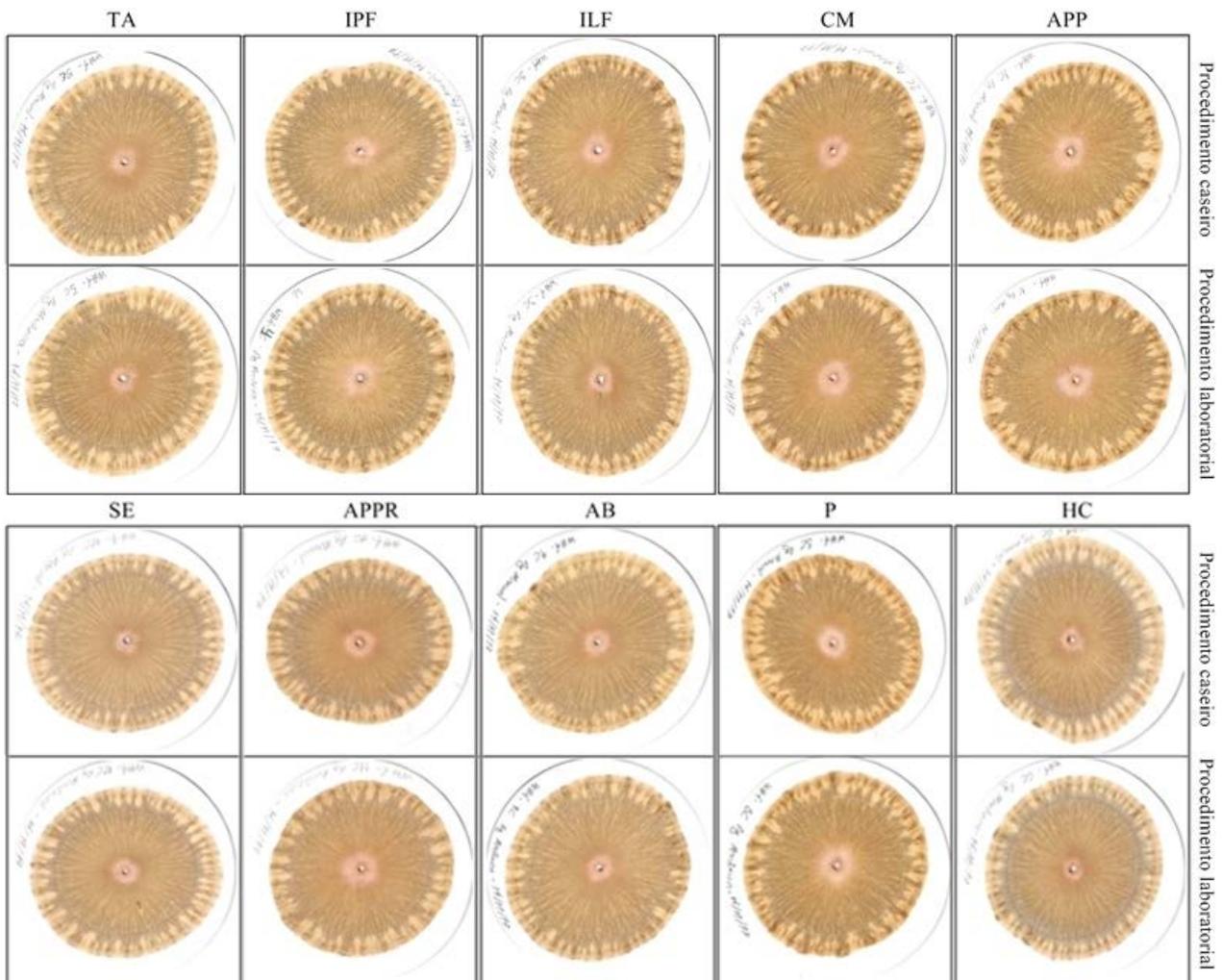
**Figura 5.** Avaliação da utilização de amostras compostas para a cromatografia de Pfeiffer, nos sistemas de uso do solo: área de preservação permanente de uma nascente (APP), cultivo mínimo (CM), integração lavoura floresta (ILF), integração pecuária floresta (IPF), transição agroecológica (TA), horta convencional (HC), plantio direto (PD) e pastagem (P).

É possível perceber a correspondência dos resultados nas três repetições, demonstrando que a utilização de amostragem composta para diagnóstico do solo por meio da CP é viável. Importante

ressaltar que a amostragem simples, ou seja, em único ponto, exige várias análises para compreender o solo em um determinado talhão. Dessa forma, o presente estudo, diferentemente de Restrepo e Pinheiro (2011), também recomenda a possibilidade da avaliação por amostras compostas, pois dependendo da situação à ser avaliada, esta amostragem pode ser representativa da área e otimizar assim o procedimento investigativo.

Com o intuito de verificar o procedimento de tamisação para preparo das amostras de solo e de agitação no processo de extração, foi realizada a comparação do procedimento caseiro, proposto por Restrepo e Pinheiro (2011), com procedimento laboratorial, utilizando equipamentos de maior acurácia (Figura 6). A partir dos resultados apresentados pelo presente estudo, foi possível observar a equivalência das imagens formadas em ambos procedimentos adotados, o que nos permite recomendar a metodologia caseira, corroborando com Restrepo e Pinheiro (2011).

Esse método laboratorial contribui para dar agilidade ao procedimento quando se deseja avaliar vários solos ao mesmo tempo, pois a agitação manual torna-se cansativa e o tempo necessário para agitar as amostras compromete o tempo de decantação.

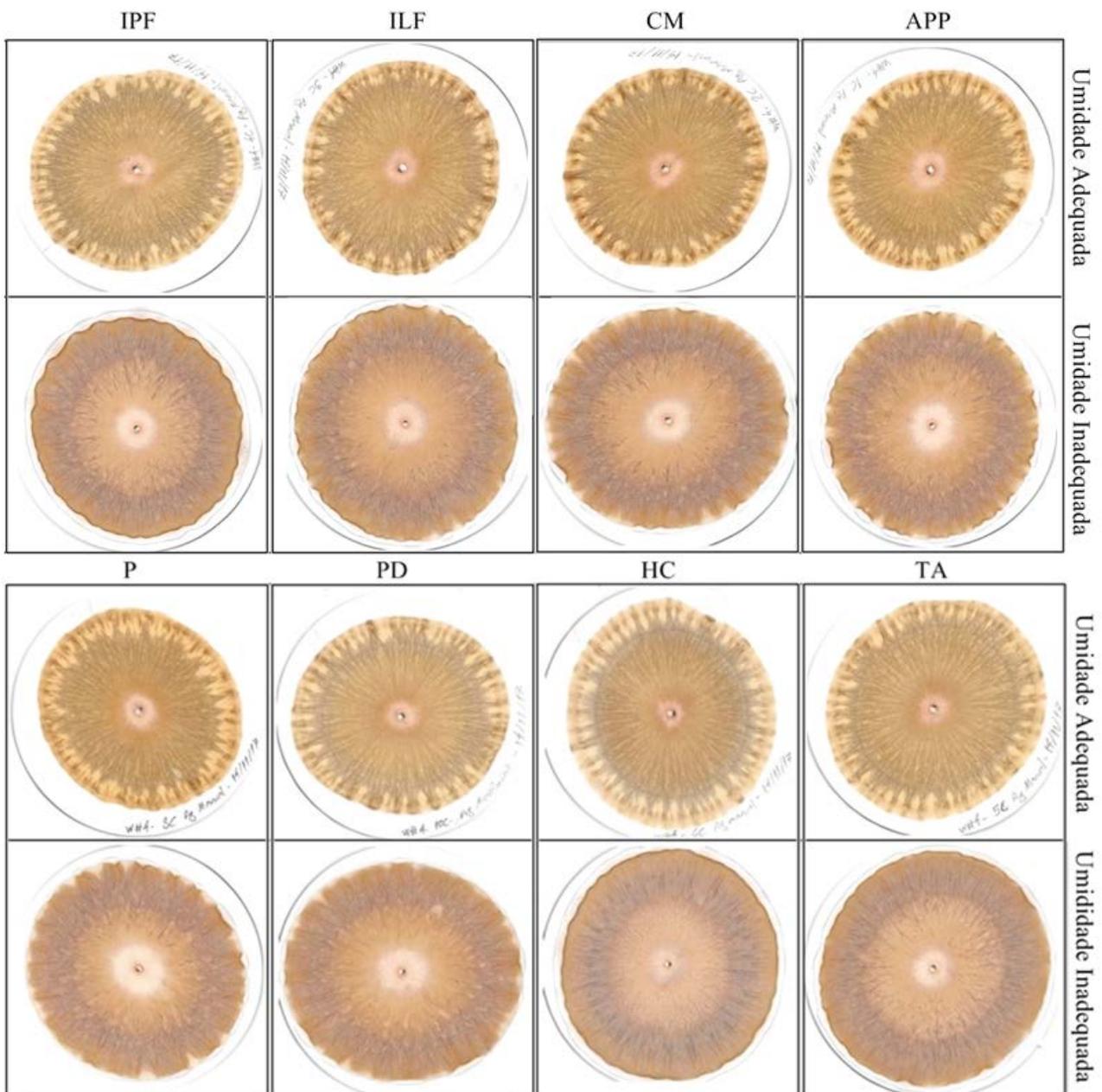


**Figura 6.** Avaliação dos procedimentos caseiro (agitação manual e tamisação em meia de cetim fio 15) e laboratorial (agitação em mesa orbital e tamisação em malha de 0,125 mm) nos sistemas de uso do solo: área de preservação permanente de uma nascente (APP), cultivo mínimo (CM), integração lavoura floresta (ILF), integração pecuária floresta (IPF), transição agroecológica (TA), horta convencional (HC), pastagem (P), agricultura biodinâmica (AB), área de preservação permanente em processo de recuperação (APPR) e solo exposto sem manejo (SE).

Um fator relevante a se considerar quando se realiza a CP, são as condições de iluminação e umidade. É de fundamental importância, quando se almeja fazer comparação entre amostras de diferentes áreas, realizar a CP no mesmo dia, sob as mesmas condições climáticas. Pfeiffer (1984) recomenda que, durante a realização desta metodologia, a UR esteja em torno de 75%. Contudo, Maseda (2016) verificou que a umidade proposta por Balzer-Graf e Balzer (1989) de 60% apresentou resultados satisfatórios. Quando a umidade relativa do ar está baixa ( $< 60\%$ ), a difusão do extrato no papel filtro é mais lenta e, quando alta ( $> 75\%$ ), acontece muito rapidamente. Caso a

umidade relativa do ar esteja baixa, orienta-se colocar copos com água quente ao lado das placas de petri onde será realizada a difusão do extrato (Restrepo e Pinheiro 2011). Pfeiffer (1984) recomenda realizar a difusão do extrato dentro de câmaras para controle da umidade. Ao contrário, em dias de chuva, não se deve realizar a metodologia pois o excesso de umidade compromete a formação das imagens.

Para o presente estudo, a fim de verificar a influência da umidade na formação das imagens, foi realizada avaliação cromatográfica em dia de chuva, com umidade relativa alta (UR = 92%), e em condições adequadas de umidade (UR = 65%). Foi possível perceber que com umidade relativa do ar alta, a difusão do extrato ocorreu com velocidade maior. Após interromper o contato entre o canudo e o extrato do solo, a difusão continuou acontecer por aproximadamente 1 cm, atingindo quase a borda do PF. Nota-se que as imagens tiveram desenvolvimento comprometido, e embora tenham sido expostas à condição ideal de iluminação na fase de revelação, apresentaram cromas com imagens distorcidas, colorações borradas, radiações deformadas e mal formação das zonas (Figura 7).



**Figura 7.** Avaliação da realização da cromatografia de Pfeiffer em condições de umidade relativa adequada (65%) e umidade inadequada (92%), nos sistemas de uso do solo: área de preservação permanente de uma nascente (APP), cultivo mínimo (CM), integração lavoura floresta (ILF), integração pecuária floresta (IPF), transição agroecológica (TA), horta convencional (HC), plantio direto (PD), pastagem (P).

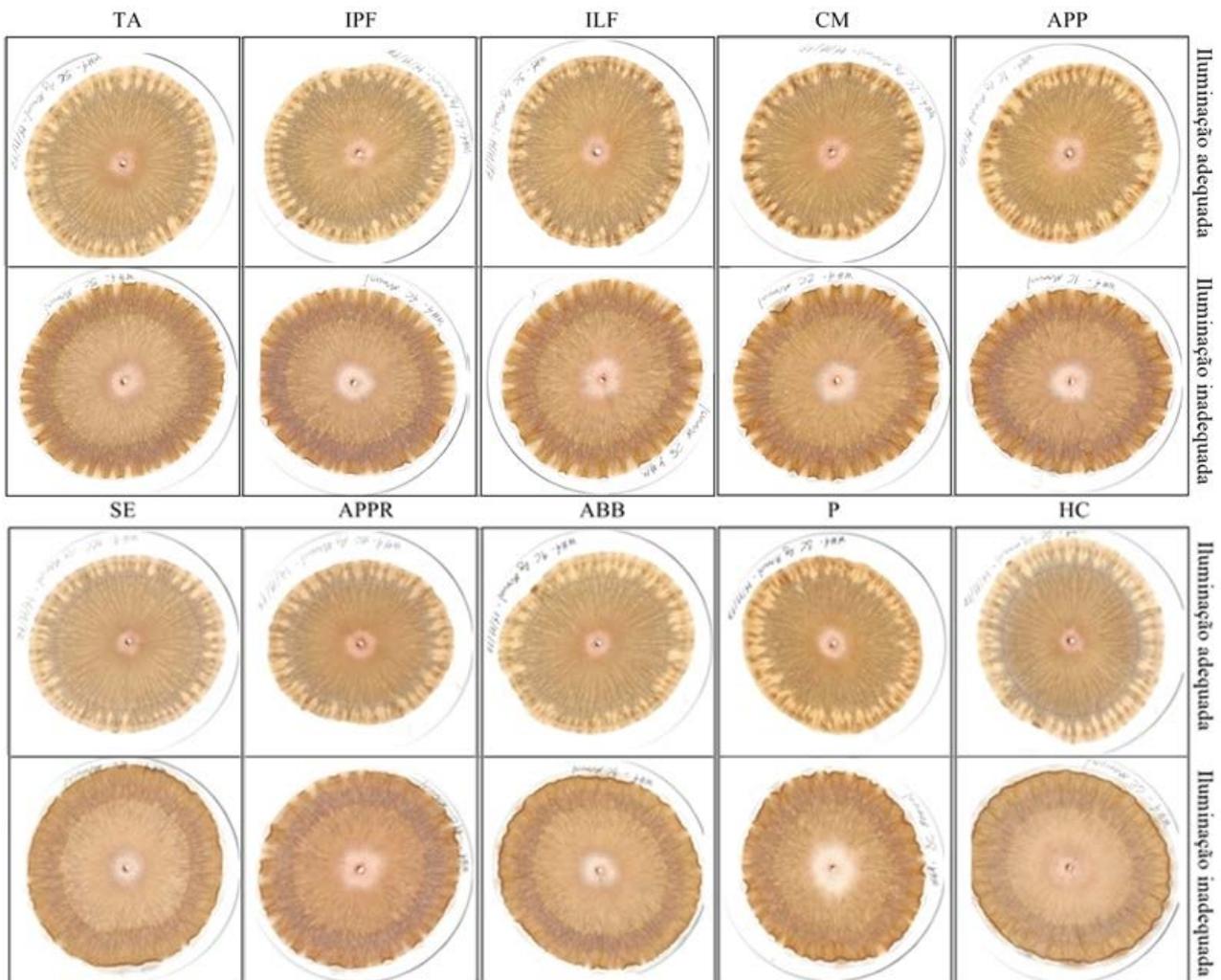
A iluminação durante o processo de revelação do croma é um fator fundamental, uma vez que a luz influencia as cores e formas das imagens (Haßold 1994), devendo estas ficarem expostas à luz difusa até que fiquem nítidas, o que pode demorar até dez dias (Pfeiffer 1984). Pfeiffer não relata com precisão as condições de iluminação do laboratório durante essa etapa do procedimento.

Alguns autores realizaram testes para verificar a influência da iluminação durante o processo de exposição para o desenvolvimento das imagens e definiram outras condições de luminosidade.

Balzer-Graf e Balzer (1989) revelaram os cromas no escuro, Blank (1991) e Kanzler (1991) com densidade de iluminação de 138 lux, Haßold-Piezunka (2003) com luz neon branca de 9.000 lux (Maseda 2016).

Restrepo e Pinheiro (2011) indicaram exposição indireta à luz solar, assim como proposto por Pfeiffer (1984), o que permite manter a simplicidade do método. Porém, esse procedimento causa dependência das condições climáticas para sua realização.

Para verificar a influência da iluminação durante a etapa de revelação das imagens, foi comparado cromas revelados em condições de céu nublado (iluminação inadequada) com cromas revelados em dias ensolarados (iluminação adequada), ambos sob exposição indireta (Figura 8).



**Figura 8.** Avaliação da realização da cromatografia de Pfeiffer em condições de iluminação adequada (luz solar indireta na fase de revelação das imagens) e inadequada (dias nublados com pouca luminosidade na fase de revelação das imagens), nos sistemas de uso do solo: área de preservação permanente de uma nascente (APP), cultivo mínimo (CM), integração lavoura floresta (ILF), integração pecuária floresta (IPF), transição agroecológica (TA), horta convencional (HC), pastagem (P), agricultura biodinâmica (AB), área de preservação permanente em processo de recuperação (APPR) e solo exposto sem manejo (SE).

É possível observar que, em condições de céu nublado logo nos primeiros dias após a corrida cromatográfica, a formação das imagens é comprometida, com as radiações distorcidas, zona externa alterada e colorações borradas, comprometendo assim a interpretação dos cromas.

## Conclusões

O controle de volume na impregnação do papel filtro 0,5 mL e na difusão do extrato 1,3 mL facilitaram atingir as distâncias estabelecidas por Pfeiffer para a realização da cromatografia.

A impregnação do nitrato de prata até a marca de 3 cm, sem controle de volume, apresentou resultado satisfatório, corrigindo o problema de impregnação do PF superior a faixa recomendada. É possível realizar a cromatografia de Pfeiffer com amostras compostas e obter como resultado padrões de imagens que representam a área amostrada.

Foi possível corroborar com a validação do procedimento caseiro, tanto em relação à agitação como para o procedimento de tamisação, uma vez que não houve alterações significativas quando comparados aos procedimentos laboratoriais, controlados pelo presente estudo, favorecendo assim, a manutenção da metodologia simplificada, permissiva ao produtor rural realizar nas condições de campo.

A umidade relativa do ar durante a difusão do extrato e a iluminação durante o processo de revelação das imagens alteram a qualidade e definição dos cromas.

### **Referências bibliográficas**

Araújo ASF, Monteiro RTR. 2007. Indicadores biológicos de qualidade do solo. [Biological indicators of soil quality]. **Bioscience Journal**, Uberlândia, 23(3): 66-75. Portuguese.

Balzer-Graf UR, Balzer FM. 1989. Rundfilterchromatogramm nach Pfeiffer-eine ganzheitliche Untersuchungsmethode. [Round filter chromatography according to Pfeiffer's holistic research method]. Labor für Bodenuntersuchungen und Spurenmetall-Analytic Dr.Balzer, Amönau. Germany.

Bangert D. 1994. Zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Chroma- Boden-Tests als bildschaffender Methode - Empirische Untersuchungen und theoretische Deutungen. [On the scientific foundations of the Chroma-Boden-Test as an image-creating method - empirical investigations and theoretical interpretations]. Diplomarbeit FB Landwirtschaftsentwicklung der TU Berlin, in ueberarbeiteter Form, volume 41. Verlag Edition Zukunft, Barsinghausen, cd edition. Germany.

Bhering SB. 2008. Mapa de solos do estado do Paraná: legenda atualizada. [Map of soils of the state of Paraná: updated legend]. 1ª ed. Rio de Janeiro: Imprensa Oficial. Portuguese.

Blank S. 1991. Untersuchungen zur Bildentstehung der Pfeifferschen Rundfilterchromatographie und Beurteilung von Chromas verschiedener Bodentypen (Anmooriger, Gley, Moor, Marsch, Ranker, Rendzina) und unterschiedlicher Komposte in Zusammenhang mit ihren analytischen Kenndaten. [Investigations on the image formation of Pfeiffer's Round Filter Chromatography and the evaluation of chromas of different soil types (Adorniger, Gley, Moor, Marsch, Ranker, Rendzina) and different composts in connection with their analytic characteristics]. Germany.

Brasil. 1971. Ministério da agricultura. Levantamento de reconhecimento de solos do nordeste do Paraná. [Land survey survey of the northeast of the state of Paraná]. Boletim técnico nº 16. Portuguese.

Haßold N. 1994. Zu Kenntnisstand und Methodenentwicklungen des Chroma-Boden-Tests. [Knowledge and method development of the chroma soil test]. Edition Zukunft, Barsinghausen. Germany.

Hassold-Piezunka N. 2003. Eignung des Chroma-Boden-Test zur Bestimmung on Kompostqualitaet und Rottegrad. [Suitability of the chroma soil test to determine compost quality and degree of rotting]. [dissertation], Universität Oldenburg, Alemania. Germany.

Kanzler C. 1991. Untersuchungen zur Bildentstehung der Pfeifferschen Rundfilterchromatographie und Beurteilung von Chromas verschiedener Bodentzpen (Braunerde, Parabraunerde, Plaggenesch, Podsol) und unterschiedlicher komposte in Zusammenhang mit ihren analytischen Kenndaten. [Studies on the image formation of Pfeiffer's round-filter chromatography and assessment of chromas of different soil types (brown earth, Parabraunerde, Plaggenesch, Podsol) and different composts in connection with their analytical characteristics]. [Master's thesis]. Universität Oldenburg, Alemania. Germany.

Maseda MT. 2016. Desarrollo y caracterización del método de dinamolisis capilar para el análisis de suelos contaminados: estudio de los suelos de Linares. [Development and characterization of the capillary dynamolysis method for the analysis of contaminated soils: study of the soils of Linares] [dissertation]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Spanish.

Pfeiffer EE. 1984 Chromatography applied to quality testing. Wyoming, USA: Bio-Dynamic Farming and Gardening Association:44 p.

Restrepo JR, Pinheiro S. 2011. Cromatografía: imágenes de vida y destrucción del suelo. [Chromatography: images of life and destruction of the soil]. Cali: Impresora Feriva, 252 p. Spanish.

Turco RF, Blume E. 1999. Indicators of soil quality. In: Siqueira JO [et al.] (eds.) Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. [Soil fertility, soil biology, and nutrition interrelationships]. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, p.529-550.

Voitl H, Guggenberger E. 1986. Der Chroma-Boden-Test: die Bodenqualität bestimmen, bewerten und verbessern: ein unentbehrlicher Ratgeber für Landwirte, Berufs-und Hobbygärtner. [Chroma soil test: to determine, evaluate and improve soil quality: an indispensable guide for farmers, professionals and gardeners]. Verlag Orac, Wien, ISBN 3-7015-0036-3. Germany.

## 5. ARTIGO B

### Cromatografia de Pfeiffer como indicador de qualidade do solo

**Resumo:** O acompanhamento e manutenção da qualidade do solo é fundamental para promoção do equilíbrio ambiental, e torna-se imprescindível para atender a demanda alimentar e energética das populações, garantindo a sustentabilidade dos agroecossistemas. A cromatografia de Pfeiffer (CP) se insere nesse contexto como uma ferramenta em potencial para diagnóstico dessa qualidade, integrando os componentes químicos, físicos e biológicos presentes no sistema. Assim, o presente estudo teve por objetivo analisar a correlação dessa metodologia com outros indicadores da qualidade do solo, em diferentes sistemas de uso, a fim de contribuir para sua validação científica. As quatro distintas zonas dos cromas foram categorizadas e correlacionadas à diferentes análises, cada qual com a zona de correspondência: zona central e resistência à penetração do solo, zona interna e parâmetros químicos, zona externa e bioindicadores, zona enzimática e enzimas. Houve correlação negativa entre a zona central e a média das resistências à penetração dentro do intervalo 0 – 40 cm de profundidade. A zona interna apresentou correlação positiva com a matéria orgânica, a zona média se correlacionou fortemente com o carbono da biomassa microbiana e a zona externa apresentou expressiva correlação com as enzimas fosfatase ácida e arilsulfatase. Também houve confirmação de padrões de qualidade analisados nos cromas. Por fim, conclui-se que a CP se mostrou um método sensível para o diagnóstico da qualidade do solo, demonstrando que a partir da análise e interpretação dos padrões formados nas distintas zonas, é possível ter ideia das condições físicas, químicas e biológicas presentes no sistema.

**Palavras chave:** arilsulfatase; bioindicadores; cromatografia circular de Pfeiffer; fosfatase; teste de cromas; respiração basal

#### Introdução

As práticas agrícolas intensivas durante as últimas décadas foram reconhecidas como elemento central da degradação ambiental, com relevante impacto sobre o solo e a água (Zalidis et al. 2002). A aplicação de insumos químicos, como fertilizantes solúveis e agrotóxicos, é a principal fonte de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, bem como promotora de alterações negativas na capacidade produtiva e resiliência dos solos (Weerasekara 2016). Assim, torna-se imprescindível o monitoramento e avaliações constantes dessa atividade, a fim de minimizar e mitigar os potenciais impactos (Mendes 2015).

As análises de solo possuem uma longa história na agricultura e tem contribuído significativamente para o desenvolvimento de sistemas de produção em base científica. Esse acompanhamento permite a manutenção da qualidade do solo, conservação da biodiversidade e a

proteção do meio ambiente, promovendo segurança alimentar e nutricional das populações e garantindo a sustentabilidade dos agroecossistemas (Pemural et al. 2016).

O ponto central para gerenciar essa qualidade perpassa o componente biológico, pois este apresenta estreita inter-relação com os componentes físicos e químicos, os quais influenciam em conjunto a produtividade das culturas e garantem a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Mendes 2015). Apesar do pequeno volume, os microrganismos desempenham um papel fundamental nas reações do solo, incluindo aquelas envolvidas na decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, formação da fração estável da matéria orgânica (MO) e promoção de estrutura (Silva 2015).

No entanto, em razão da complexidade dos solos, é indicado que o monitoramento de sua qualidade seja realizado por meio de um conjunto de indicadores que congreguem atributos biológicos, físicos e químicos e suas inter-relações, uma vez que estes isolados, não são suficientes para um diagnóstico eficiente (Carneiro et al. 2009; Cherubin 2015). Os indicadores devem apresentar como aspectos relevantes, simplicidade e facilidade de medição, aplicabilidade em diferentes escalas, respostas rápidas após perturbações, aspectos do funcionamento do ecossistema, baixo custo de aplicação, simplicidade de análise e de interpretação (Turco e Blume 1999).

Um dos grandes desafios enfrentados no uso de indicadores biológicos para avaliação da qualidade do solo é a interpretação e compreensão dos valores resultantes, dado que sua inclusão nessas avaliações pressupõe o estabelecimento de parâmetros que possam separar os solos em diferentes condições de sustentabilidade (Trasar-Cepeda et al. 1997; Arshad e Martin 2002; Tótola e Chaer 2002; Gil-Sotres et al. 2005; Mendes 2015). Outro aspecto relevante, é que os valores considerados ideais para os bioindicadores, podem variar de acordo com o tipo de solo e as condições climáticas do local em estudo (Mendes 2015).

A cromatografia de Pfeiffer (CP) constitui o único dos métodos analíticos cromatográficos que não é utilizado com o objetivo de separar misturas, mas para leitura dos padrões das imagens

formadas a partir de seu emprego como indicador da qualidade da amostra (Kokornaczyk 2016). Trata-se de um método de diagnóstico simples, rápido e de baixo custo, que pode ser realizado pelo agricultor, possibilitando acompanhamento constante das respostas do solo aos manejos empregados. A análise do croma permite avaliação dos componentes minerais, orgânicos e proteicos presentes no sistema, no entanto, é uma ferramenta pouco conhecida por agricultores e técnicos, não difundida na academia e que demanda estudos para sua padronização e validação científica.

O emprego da CP para análise de qualidade já foi avaliado, em condições experimentais, como indicador de qualidade dos solos (Pfeiffer 1984; Voithl e Guggenberger 1986; Kokornaczyk et al. 2016; Maseda 2016) e de compostos (Hassold-Piezunka 2003). Outros autores, como Khemani et al. (2008), Sagar et al. (2014) e Pemural et al. (2016), sob o pressuposto de que cromas similares apresentam propriedades do solo semelhantes, buscaram desenvolver *softwares* para análise dos cromas, onde por meio de comparações com banco de dados abastecido por correlações entre cromas e resultados químicos de diversos solos, seria possível diagnosticar a qualidade química do solo.

De acordo com Pfeiffer (1984), a CP não substitui qualquer outra análise puramente química, contudo sua simplicidade possibilita uma rápida orientação quanto as necessidades de manejo. Este trabalho tem por objetivo analisar a correspondência da CP com outros indicadores da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso, a fim de contribuir para sua validação científica.

## **Material e métodos**

### ***Caracterização da área de estudo***

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP, no *campus Luíz Meneghel* (CLM) em Bandeirantes - PR. As amostras de solo foram

coletadas na área do CLM em diferentes sistemas de manejo, em uma propriedade situada no município de Santa Amélia - PR e no Parque Estadual Mata São Francisco em Santa Mariana - PR.

Os municípios situam-se no terceiro planalto e apresentam geologia uniforme com presença de extensos lençóis de lavas de origem vulcânica que constituem o Trapp do Paraná. Em virtude da uniformidade geológica e à pequena variação climática, os solos são muito homogêneos, encontrando-se extensas áreas com o mesmo padrão (Brasil 1971).

Os solos da região de estudo são classificados como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, textura argilosa, horizonte A moderado, fase floresta tropical subperenifólia e relevo suave ondulado (Bherin 2008). O clima da região é classificado como Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfa), de verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com tendência de concentração nos meses de verão, com temperatura média anual de 21°C, precipitações entre 1.200 e 1.400 mm e umidade relativa do ar de 75%, conforme a classificação de Köppen.

Os tratamentos avaliados conforme sistemas de uso do solo foram: área de preservação permanente de uma nascente (T1), cultivo mínimo (T2), integração lavoura floresta (T3), integração pecuária floresta (T4), transição agroecológica (T5), horta convencional (T6), plantio direto (T7), pastagem (T8), agricultura biodinâmica (T9), remanescente florestal de Mata Atlântica (T10), área de preservação permanente em processo de recuperação (T11) e solo exposto sem manejo (T12).

**Tabela 1** - Descrição das áreas e das atividades empregadas em cada sistema de uso do solo.

<b>SISTEMA DE USO DO SOLO</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS E MANEJOS EMPREGADOS</b>
<b>T1</b>	Área de mata que evolui uma nascente com aproximadamente 2 hectares, está em estágio de recuperação com predominância de espécies pioneiras e algumas secundárias (23°06'29.18''S e 50°21'09.63''W).

- T2** Área destinada ao cultivo de grãos com rotação de soja (*Glycine max*), trigo (*Triticum spp.*), milho (*Zea mays*) e aveia (*Avena sativa*). O manejo dessa área é mecanizado com a utilização de grade para preparo do solo e adubação química, além de aplicações de agrotóxicos para controle de pragas, doenças e plantas espontâneas. No momento da coleta a área estava cultivada com trigo (23°06'39.42''S e 50°21'16.94''W).
- T3** Área de base florestal eucalipto (implantado em 2010) onde entre renques se cultiva grãos no manejo convencional, com preparo de solo mecanizado e adubação química, além de aplicações de agrotóxicos para controle de pragas, doenças e plantas espontâneas. No momento da coleta a área estava cultivada com trigo (23°07'11.35''S e 50°21'35.43''W).
- T4** Área de consórcio entre eucalipto (implantado em 2010) e pastagem onde se cria ovinos em pastejo rotacionado. As espécies cultivadas são grama estrela (*Cynodon plectostachyus*) e capim aruana (*Panicum maximum cv. Aruana*), com aplicação anual de fertilizantes químicos e esterco de suíno (23°06'58.99''S e 50°21'37.98''W).
- T5** Área em transição agroecológica que estava em pousio e desde 2016 vem sendo manejada. É cultivada com hortaliças, recebe adubação orgânica à base de esterco de gado e galinha e faz-se rotação com adubos verdes. No momento da coleta a área estava cultivada com adubos verdes (23°06'35.76''S e 50°21'44.15''W).
- T6** Área de olericultura em manejo convencional intensivo, com alto grau de revolvimento do solo e de aplicações de insumos químicos. No momento da coleta a área estava cultivada com cenoura (23°06'32.42''S e 50°21'38.63''W).
- T7** Área sob plantio direto há 4 anos, destinada ao cultivo de grãos com adubação orgânica a base de microrganismo (produto comercial) e controle químico de pragas, doenças e plantas espontâneas. No momento da coleta a área estava em pousio com baixo estande de plantas espontâneas e pouca palhada da cultura do milho precedente (23°06'48.21''S e 50°21'30.05''W).
- T8** Área de pastejo rotacionado cultivada com capim mombaça (*Panicum maximum cv. Mombaça*) onde se cria gado leiteiro. Recebe adubação química anualmente e tem, como período médio de ocupação e descanso do pasto, 3 e 30 dias respectivamente (23°06'53.77''S e 50°21'35.08''W).
- T9** Área de olericultura biodinâmica com adubação à base de esterco de vaca, preparados biodinâmicos e compostos orgânicos, onde se adota preparo de solo mecanizado. No momento da coleta a área estava cultivada com batata doce (23°16'51.68''S e 50°20'03.22''W).

- T10** Área de mata natural (Floresta Estacional Semidecidual) com 832,5 hectares, que se encontra em estágio de clímax e apresenta serapilheira de aproximadamente 10 cm de altura (23°09'00.29"S e 50°34'59.89"W).
- T11** Área em torno de uma nascente com predomínio de leucena (*Leucaena leucocephala*) que tinha sido recém manejada com o corte raso das árvores para introdução de espécies nativas em sistema agroflorestal (23°07'07.34"S e 50°21'37.93"W).
- T12** Área mantida descoberta onde se faz aplicações periódicas de herbicidas (23°06'27.56"S e 50°21'42.42"W).
- 

### *Amostragens e análises realizadas*

Esses tratamentos foram avaliados em quintuplicada, por meio de amostras compostas constituída de dez amostras simples coletadas ao acaso, em agosto de 2017. Para tanto foi utilizado trado holandês na profundidade de 0-10 cm, formando uma massa final de aproximadamente 500 g. Subsequentemente as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas em caixas de isopor com gelo para análises laboratoriais.

As amostras foram tamisadas em peneira de 2 mm, separadas em embalagens de plástico, identificadas e, após o processamento, submetidas às análises de Carbono da biomassa microbiana, atividade respiratória, atividade das enzimas  $\beta$ -glucosidase (ciclo do C), fosfatase ácida (ciclo do P), arilsulfatase (ciclo do S), análises químicas, granulométrica e cromatografia de Pfeiffer.

Para as análises de atividade e biomassa microbiana, as mesmas permaneceram por um dia em geladeira (4°C), para as análises de atividade enzimática, foram secas ao ar e armazenadas em congelador (- 4°C) por até 20 dias, para análise química, secas ao ar e mantidas por 30 dias em temperatura ambiente e para análise cromatográfica, foram secas ao ar e na sequência procedeu-se a metodologia.

O carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) foi determinado pelo método de fumigação-extração (Vance et al. 1987; De-Polli e Guerra 1997). A respiração microbiana do solo

(RB) foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Jenkinson e Powlson (1976), mediante a quantificação da evolução de C-CO<sub>2</sub>.

O carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação úmida com dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 0,75 mol L<sup>-1</sup>) e ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>), conforme descrito por Walkley e Black (1934), modificado por Tedesco et al. (1995). O quociente metabólico (*q*CO<sub>2</sub>) foi determinado pela relação C-CO<sub>2</sub> liberado/CBMS proposto por Anderson e Domsch (1993), e o quociente microbiano (*q*MIC) foi calculado pela razão entre CBMS e COT proposto por Wardle (1994).

Para avaliação da atividade enzimática do solo, utilizaram-se métodos propostos por Dick et al. (1996). Empregou-se, no entanto, a adaptação proposta por Verchot e Borelli (2005), que descartaram o uso de tolueno para inibir a atividade microbiana no processo de análise, tendo em vista que não houve diferença entre amostras em que se usou o inibidor microbiano e aquelas em que não houve adição deste.

As análises químicas foram realizadas de acordo com metodologia proposta pela Embrapa (2009): cálcio, magnésio e alumínio trocáveis extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, potássio e fósforo disponível por Mehlich-1, acidez potencial (H+Al) com solução tamponada de acetato de cálcio a pH 7,0 e para o pH foi utilizada solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, na relação 1:2,5 (solo:solução). Com base nesses resultados, foram calculadas a soma de bases, a capacidade de troca catiônica, saturação por bases e saturação por alumínio.

A determinação da resistência do solo à penetração foi realizada com penetrômetro de impacto modelo IAA/ Planalsucar-Stolf, sendo amostrado quatro pontos por sistema de uso do solo na profundidade de 0-40 cm. Para composição granulométrica foram realizadas três repetições, sendo determinadas pelo método do hidrômetro, utilizando como dispersante químico NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e agitação sob rotação acima de 6000 rotações por minuto (rpm) por 15 minutos em agitador elétrico “stirrer”, seguindo metodologia proposta pela Embrapa (1997).

### ***Cromatografia de Pfeiffer***

A cromatografia de Pfeiffer foi realizada em duplicada, em um único dia para proporcionar as mesmas condições ambientais, com temperatura entre 23 e 30° C e umidade relativa (UR) entre 60 e 75%. O método foi realizado conforme Pfeiffer (1984), complementado por Restrepo e Pinheiro (2011), porém com adaptações de Balzer-Graf e Balzer (1989) para controle dos volumes de impregnação do papel filtro com  $\text{AgNO}_3$  0,5% e difusão do extrato do solo, 0,5 e 1,3 mL respectivamente, de acordo com a descrição a seguir:

### ***Preparo das amostras de solo***

As amostras previamente secas e peneiradas em tamis de malha 2 mm foram maceradas em almofariz com pistilo e posteriormente peneiradas em tamis de malha 0,125 mm, obtendo uma massa de 5 g por amostra.

### ***Extração das amostras de solo (solução extratora de NaOH 1%)***

Para obtenção do extrato, utilizou-se 5 g de cada amostra de solo e adicionou-se 50 mL de NaOH (Hidróxido de Sódio) a 1%. Procedeu-se na sequência o processo de agitação das amostras em mesa orbital a 220 rpm durante um minuto, sendo este procedimento realizado por três vezes, com intervalos de 0, 15 e 60 minutos. Após a última agitação as amostras permaneceram em decantação por 5 horas, a fim de obtenção do sobrenadante (extrato do solo).

### ***Preparo do papel filtro***

Os papéis filtro (PF) da marca Whatman nº 4, de 15 cm de diâmetro foram marcados no centro e nas distâncias 3,8 e 6 cm a partir do centro. Para isto, um molde do mesmo PF foi confeccionado, o centro foi encontrado dobrando o PF por duas vezes ao meio e, em seguida, com um vazador de 2 mm efetuou-se um furo no mesmo. Com auxílio de régua e agulha fina, foram marcadas as

distâncias 3,8 e 6 cm a partir do centro, ambas nos dois eixos cartesiano para orientação da difusão das soluções, sendo que a primeira (3,8 cm), orienta o processo de impregnação do PF com a solução reveladora (solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5%), e a segunda (6 cm), orienta a difusão do extrato do solo.

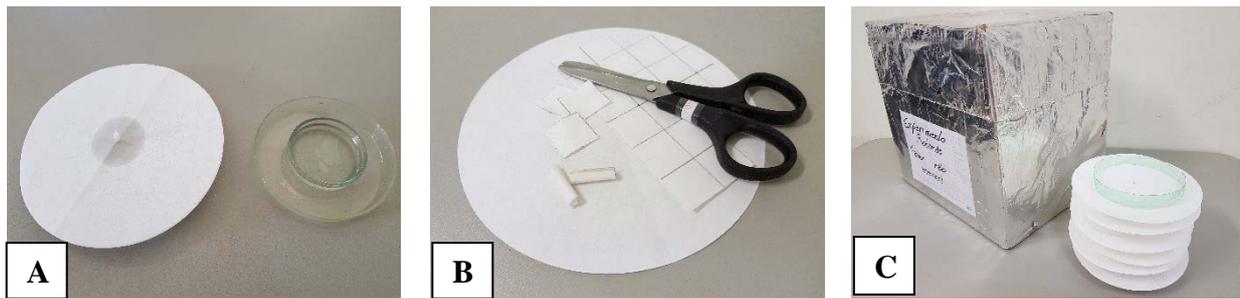
### ***Impregnação do PF com solução reveladora (solução de $\text{AgNO}_3$ 0,5%)***

Durante o intervalo de decantação das amostras, os PF previamente preparados, foram impregnados com solução de  $\text{AgNO}_3$  (Nitrato de Prata) na concentração 0,5%. Para isso, os PF foram alocados sobre duas Placas de Petri, uma de 5 cm de diâmetro onde foi colocada a solução de  $\text{AgNO}_3$  à 0,5%, que fica posicionada dentro da outra de 10 cm de diâmetro, onde se repousa o PF (Figura 1A).

Quadrículas de 2 x 2 cm elaboradas com PF, foram enroladas em formato cilíndrico (canudos) e utilizadas para direcionar a ascensão da solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5% por capilaridade, sendo estas colocadas no centro do PF e em contato com a solução (Figura 1B).

Os PF foram impregnados com  $\text{AgNO}_3$  0,5% até a primeira marca (3,8 cm). Para obter melhor controle da difusão da solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5%, utilizou-se o volume de 0,5 mL por PF conforme indicação de Balzer-Graf e Balzer (1989).

Após impregnação, os PF foram secos em local isento de iluminação durante 3 horas consecutivas. Para isso foi utilizada caixa de papelão embrulhada com papel alumínio, sendo os PF dispostos dentro da caixa entre tiras cilíndricas de garrafa pet com 2 cm de altura cada, evitando contato entre os PF e permitindo ventilação (Figura 1C).



**Figura 1.** Impregnação com solução de  $\text{AgNO}_3$  a 0,5% (A). Preparo das quadrículas (B). Secagem dos PF impregnados com  $\text{AgNO}_3$  em caixa escura (C).

### *Difusão dos extratos das amostras de solo*

Após 5 horas de decantação dos extratos de solo, foi realizada a difusão dos mesmos nos PF impregnados com solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5% devidamente secos. O processo de difusão dos extratos do solo no PF foi semelhante ao descrito anteriormente para solução de  $\text{AgNO}_3$  0,5%, porém para difusão utilizou-se os extratos dos solos, de forma que os mesmos difundiram até a marca de 6 cm. Para melhor controle da difusão utilizou-se o volume 1,3 mL, conforme Balzer-Graf e Balzer (1989).

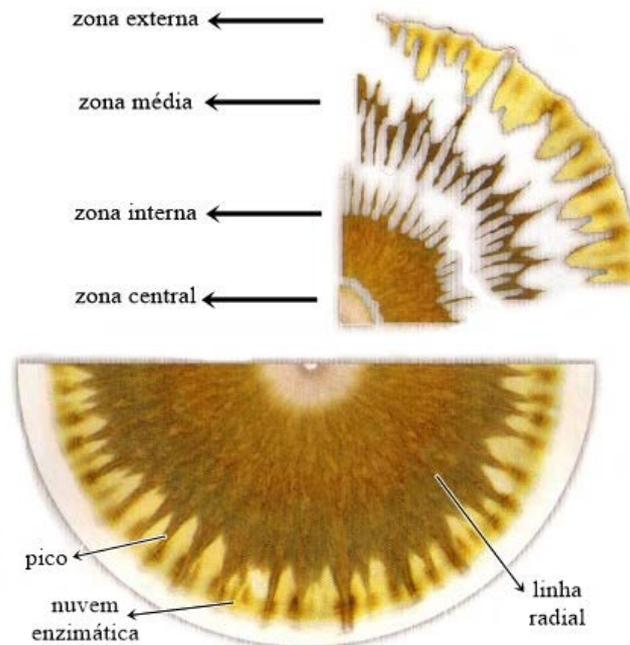
### *Revelação, caracterização e avaliação dos cromas*

Os PF foram depositados sobre papel sulfite por 30 minutos, para pré-secagem. Posteriormente, foram expostos, durante sete dias consecutivos, à iluminação indireta, em condições ambientais de dias ensolarados, conforme Pfeiffer (1984). Após revelação, os cromas foram digitalizados a fim de preservar a qualidade das imagens.

De acordo com Pfeiffer (1984) e Restrepo e Pinheiro (2011) o cromograma está dividido em: zona central (ZC) que reflete as condições de aeração e tem relação com a estrutura do solo, zona interna (ZI) que indica as condições de desenvolvimento mineral, zona média (ZM) que tem relação com a matéria orgânica e, zona externa (ZE) que está relacionada à atividade enzimática ou nutricional.

Para os tratamentos previamente descritos (T1-T12), cada zona do cromograma (Figura 2) foi avaliada visualmente, em duplicada. Entretanto, por se tratar de um método qualitativo, realizou-se

a categorização dos cromas utilizando como parâmetro uma escala de notas (Soiltech Solutions), com modificações descritas a seguir.



**Figura 2.** Identificação esquemática das principais zonas de um cromograma (adaptado de Restrepo e Pinheiro 2011).

Para ZC foram considerados os critérios tamanho e coloração, para a ZI, foram avaliadas linhas radiais e integração com as demais zonas, para ZM avaliou-se tamanho e forma das terminações, e para ZE, avaliou-se coloração e formato. Adicionalmente, foi estabelecida nota geral para cada cromograma, levando em consideração, além dos critérios acima descritos, a proporção entre as zonas, a transição entre elas e o aspecto geral do cromograma como harmonia entre as cores, tamanhos e formas.

### *Análise estatística*

Os resultados obtidos que seguem distribuição normal foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a nível de 5% de significância. As correlações foram analisadas pelo teste t para correlações de Spearman e análise de componentes principais. As mesmas foram processadas por meio do software R versão 5.0 (R Core Team 2016).

## Resultados e discussão

Os distintos sistemas de uso do solo, apesar da diferença estatística, apresentaram classe textural muito argilosa, porém diferiram quanto aos valores apresentados por algumas variáveis químicas, conforme resultados apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Características químicas e granulométrica dos solos em estudo.

Sistema de uso do solo	P	MO	pH	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	CTC	Teor Argila	
	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----								%
<b>T1</b>	10,6 e	26,5 c	5,5 c	0,0 c	3,60 c	8,22 a	0,46 e	1,9 c	10,6 b	14,2 a	73,6 a	
<b>T2</b>	19,7 d	24,4 d	4,6 e	0,3 b	6,66 a	4,44 d	0,53 e	3,2 a	8,2 c	14,8 a	74,0 a	
<b>T3</b>	20,8 d	23,4 d	5,3 d	0,0 c	3,82 c	6,64 c	0,91 c	3,0 a	10,6 b	14,4 a	74,0 a	
<b>T4</b>	11,4 e	26,0 c	5,8 b	0,0 c	2,74 d	8,04 a	0,91 c	2,8 a	11,8 a	14,5 a	73,6 a	
<b>T5</b>	23,0 c	26,8 c	6,3 a	0,0 c	2,15 e	8,30 a	1,02 b	1,8 c	11,1 b	13,2 b	73,6 a	
<b>T6</b>	104,7 a	19,6 e	5,7 b	0,0 c	2,95 d	8,08 a	0,65 d	1,8 c	10,5 b	13,5 b	74,0 a	
<b>T7</b>	18,9 d	22,3 d	4,7 e	0,2 b	5,15 b	4,32 d	0,52 e	2,6 b	7,4 d	12,5 c	74,0 a	
<b>T8</b>	4,8 g	34,4 a	5,3 d	0,0 c	3,60 c	7,44 b	0,62 d	2,3 b	10,4 b	13,7 b	73,6 a	
<b>T9</b>	33,2 b	26,8 c	6,2 a	0,0 c	1,83 e	7,66 a	1,42 a	2,8 a	11,9 a	13,8 a	68,3 c	
<b>T10</b>	1,7 h	33,6 a	4,3 f	0,5 a	5,02 b	3,02 e	0,13 g	1,3 d	4,4 e	9,5 d	71,6 b	
<b>T11</b>	1,8 h	30,6 b	5,1 d	0,0 c	3,76 c	7,30 b	0,28 f	3,2 a	10,8 b	14,5 a	73,6 a	
<b>T12</b>	7,2 f	15,0 f	4,7 e	0,2 b	3,71 c	3,08 e	0,19 g	1,6 c	4,9 e	8,6 e	74,0 a	
<b>F</b>	900,5	25,6	58,9	29,9	41,1	82,2	159,3	26,9	152,2	73,0	17,3	
<b>CV (%)</b>	9,67	9,45	3,40	64,9	12,5	7,9	10,4	12,2	4,9	4,0	0,94	

Nota: MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica. Sistemas de uso do solo: área de preservação permanente de uma nascente (T1), cultivo mínimo (T2), integração lavoura floresta (T3), integração pecuária floresta (T4), transição agroecológica (T5), horta convencional (T6), plantio direto (T7), pastagem (T8), agricultura biodinâmica (T9), remanescente florestal de Mata Atlântica (T10), área de preservação permanente em processo de recuperação (T11) e solo exposto sem manejo (T12).

\*Dados submetidos à análise de variância a 0,05 de significância. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Os diferentes sistemas de uso e manejo do solo influenciaram a concentração de MO, sendo os maiores valores encontrados em T8, T10 e T11. Solos de pastagens bem manejados tendem apresentar alto teor de MO, pois o denso sistema radicular de gramíneas, com alto teor de lignina, favorece esse acúmulo (Primavesi 1982). Da mesma forma acontece com solos de mata, onde ocorre intensa deposição de resíduos vegetais complexos (Júnior et al. 2017).

Nos sistemas agrícolas mecanizados (T2, T3 e T6), o revolvimento do solo causa quebra dos agregados e exposição das frações da MO à oxidação, acelerando assim sua decomposição (Freitas

2017). Em T12, o baixo teor de MO prende-se ao fato do solo ser mantido descoberto, sem reposição de fontes de carbono e exposto à altas temperaturas, favorecendo a mineralização (Moreira e Siqueira 2006).

Os solos brasileiros, de maneira geral possuem baixa quantidade de fósforo (BASTOS et al. 2008), sendo considerado nível crítico, para solos com mais de 60% de argila, o teor de  $3\text{mg dm}^{-3}$  de P. (Malavolta 1980). As maiores concentrações deste elemento foram encontradas nos solos cultivados (T2, T3, T5, T6, T7 e T9), o que se justifica pelas adubações fosfatadas nestes sistemas. Em ambientes de mata como T10, os baixo teores de nutrientes do solo podem ser explicados por estarem constituindo a vegetação, além da pobreza química dos LATOSSOLOS e seu alto grau de intemperismo (PORTUGAL et al. 2008).

Os valores de acidez ativa (pH) também variaram entre os sistemas, apresentando comportamento similar ao mostrado pelos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ , que geralmente encontra-se em baixa concentração nos solos ácidos (Malavolta 1980). Os valores baixos de nutrientes no solo cultivados com grãos (T2 e T7) devem-se, provavelmente, à grande exportação pelas culturas, lixiviação dos nutrientes, intensificação do ciclo da matéria orgânica e pelo próprio manejo da fertilidade, com aplicações de fertilizantes com efeito acidificante (Malavolta 1980).

No T10, a acidez pode estar relacionado ao maior teor de MO, já que a mesma apresenta vários grupos funcionais, especialmente os grupos carboxílicos e fenólicos, que podem liberar o  $\text{H}^+$  para o complexo de troca (Rangel e Silva 2007). Para o sistema T12, os níveis de pH e  $\text{Ca}^{2+}$  devem-se basicamente à intensidade dos processos de erosão e lixiviação, que resultam na perda de bases trocáveis e aumento nos teores de hidrogênio e alumínio (Malavolta 1980).

O maior teor de  $\text{K}^+$  nas áreas cultivadas (T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 e T9) deve-se, principalmente, as adubações químicas, que restituem os nutrientes exportados pelas culturas e/ou, perdidos pelos processos de erosão e lixiviação (Freitas 2017). De maneira geral o teor de  $\text{Mg}^{2+}$ , apesar das diferentes concentrações entre os sistema de uso, apresentou relação balanceada com  $\text{Ca}^{2+}$

e  $K^+$ . O balanço na concentração dos cátions do solo é mais importante que a quantidade presente, pois a competição pelos sítios de adsorção pode afetar o desenvolvimento das plantas (MOREIRA et al. 1999).

Com relação aos bioindicadores da qualidade do solo, os diferentes sistemas de uso apresentaram qualidades distintas conforme resultado expressos na tabela 3.

**Tabela 3.** Bioindicadores da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso.

<b>Sistema de uso do solo</b>	<b>CBMS</b> mg C Kg <sup>-1</sup> solo	<b>RB</b> mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup>	<b>COT</b> g Kg <sup>-1</sup>	<b>qMIC</b> %	<b>qCO<sub>2</sub></b> mg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> BMS C h <sup>-1</sup>	<b>Fosfatase</b> -----mg p-nitrofenol Kg <sup>-1</sup> de solo h <sup>-1</sup> -----	<b>Arilsulfatase</b>	<b>β-glucosidase</b>
<b>T1</b>	118,33 d	0,43 d	15,11 b	0,79 d	3,64 c	646,18 b	166,42 a	112,46 b
<b>T2</b>	122,60 d	0,24 f	14,18 c	0,86 d	1,98 d	480,97 c	47,37 d	104,67 b
<b>T3</b>	135,06 c	0,36 e	13,55 c	1,00 c	2,62 d	672,78 b	100,14 c	142,92 a
<b>T4</b>	138,54 c	0,51 d	15,11 b	0,92 d	3,68 c	708,46 b	146,20 b	166,02 a
<b>T5</b>	111,87 d	0,32 e	15,58 b	0,73 d	2,83 d	577,60 b	103,72 c	142,34 a
<b>T6</b>	62,99 e	0,14 f	11,37 d	0,56 e	2,16 d	434,09 c	53,31 d	84,16 c
<b>T7</b>	108,20 d	0,22 f	12,93 c	0,84 d	2,21 d	606,24 b	54,12 d	119,60 b
<b>T8</b>	253,32 b	0,57 d	19,94 a	1,27 b	2,33 d	923,23 a	156,89 b	124,85 b
<b>T9</b>	52,01 e	1,15 b	15,58 b	0,34 e	20,65 a	439,87 c	95,64 c	83,84 c
<b>T10</b>	418,55 a	1,53 a	19,48 a	2,16 a	3,59 c	985,96 a	169,22 a	50,74 d
<b>T11</b>	159,37 c	0,54 d	18,20 a	0,88 d	3,41 c	542,09 c	148,33 b	121,35 b
<b>T12</b>	110,31 d	0,90 c	8,72 e	1,33 b	8,32 b	424,30 c	21,57 e	40,98 d
<b>F</b>	108,55	65,78	27,89	27,13	139,45	13,88	66,43	10,29
<b>CV (%)</b>	14,18	20,00	9,14	20,24	20,87	13,75	10,51	18,68

Nota: CBMS = carbono da biomassa microbiana do solo; RB = respiração basal; COT = conteúdo orgânico total; qMIC = quociente microbiano; qCO<sub>2</sub> = quociente metabólico. Sistemas de uso do solo: área de preservação permanente de uma nascente (T1), cultivo mínimo (T2), integração lavoura floresta (T3), integração pecuária floresta (T4), transição agroecológica (T5), horta convencional (T6), plantio direto (T7), pastagem (T8), agricultura biodinâmica (T9), remanescente florestal de Mata Atlântica (T10), área de preservação permanente em processo de recuperação (T11) e solo exposto sem manejo (T12).

\*Dados submetidos à análise de variância a 0,05 de significância. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

### **COT, CBMS e qMIC**

No que se refere à variável CBMS, sabe-se que existe relação direta com o COT do solo (Alvarez 1995), assim, os sistemas que apresentaram maior valor de COT como T8 e T10, contribuíram para manutenção de maior biomassa microbiana. De forma inversa, os sistemas T6, T7 e T12, que apresentaram os menores valores para COT, aportaram menor CBMS.

O T6 apresentou baixos COT e CBMS possivelmente devido ao reduzido aporte de material orgânico no solo, substituído pelo uso de adubos solúveis e, pelo intenso revolvimento, que acelera o processo de decomposição da MO (Lisboa 2012). O T9, apesar de apresentar COT de  $15,58 \text{ g Kg}^{-1}$ , apresentou o menor valor de CBMS juntamente com o T6. Atribuiu-se a tal fato, a coleta ter sido realizada uma semana após o plantio da área, que foi intensamente mecanizada com subsolador e encanteradeira, rompendo a estrutura do solo e expondo as frações protegidas da MO, acarretando em redução do CBMS.

Corroborando com estes resultados, Loureiro (2016) comparou sistemas orgânicos hortícolas e verificou menor teor de CBMS no sistema intensivo, reforçando que a grande movimentação do solo provoca ruptura dos agregados e, conseqüentemente, exposição da MO às altas temperaturas, ambiente este desfavorável ao desenvolvimento da biomassa microbiana.

Os sistemas T4 e T8, submetidos ao constante aporte de material orgânico, advindo do esterco dos animais, apresentaram valores correspondentes a COT  $15,11$  e  $19,94 \text{ g Kg}^{-1}$  e a CBMS  $138,54$  e  $253,32 \text{ mg C Kg}^{-1}$  solo, respectivamente. Corroborando com estes dados, Carneiro et al. (2008) observaram valor de CBMS em área de pastagem 50% superior à área de cerrado nativo. O intenso desenvolvimento e ciclagem do sistema radicular de gramíneas, na camada superior dos solos, favorece o desenvolvimento de microrganismos (Souza et al. 2010).

Para  $q_{MIC}$ , que expressa a relação entre o CBMS e o COT e fornece indicações da qualidade da MO, os sistemas T8, T10 e T12 apresentaram maiores resultados. O grande aporte de material orgânico em T10, com uma serrapilheira de 10 cm de altura e a intensa ciclagem do sistema radicular das gramíneas somada a constante deposição de esterco em T8, justificam o  $q_{MIC}$  elevado. Com o incremento de material orgânico de boa qualidade ou término de uma situação de estresse, ocorre importante acréscimo da biomassa microbiana, assim como do  $q_{MIC}$ , ainda que os valores de COT permaneçam praticamente iguais (Powlson e Brookes 1987).

Considerando que o sistema T12 corresponde à um solo praticamente sem reposição de

material orgânico, o reduzido valor de COT e o teor relativamente alto de CBMS podem estar indicando intensas mineralização e imobilização da MO, pois as altas temperaturas e a ausência de revolvimento favorecem a atividade microbiana (Da Silva 2012). Os sistemas T6 e T9, cujos solos são intensamente revolvidos no preparo dos canteiros, demonstraram valores baixos para  $q_{MIC}$ . Em condições estressantes no solo, a capacidade de utilização do C pelos microrganismos é menor, acarretando decréscimo de  $q_{MIC}$  (Wardle 1994).

### ***RB e $qCO_2$***

Com relação a RB, os sistemas T2, T3, T5, T6 e T7 apresentaram menores valores, correspondendo, com exceção de T7, aos manejos em que se emprega preparo do solo mecanizado. Esta prática, acelera o processo de decomposição da MO, pois aumenta a atividade microbiana logo após perturbação. Caso não haja resíduos o suficiente para manter a população, a mesma decai, diminuindo assim sua atividade (Cherubin 2015). Sistemas agrícolas conservacionistas, que proporcionam a manutenção da cobertura do solo tendem a apresentar atividade microbiana mais estável. Este fato ocorre devido ao aporte gradual de carbono, menor amplitude térmica e manutenção da umidade na camada superficial (Bradford e Peterson, 2000).

No T7, o baixo valor para RB pode estar relacionado ao recente estabelecimento do sistema de plantio direto, o qual ainda não provocou aumento no valor de COT ( $12,93 \text{ g Kg}^{-1}$ ) e, ao reduzido aporte de material vegetal da cultura anterior (milho). Outro fator que pode ter influenciado este resultado foi o reduzido estande de plantas no momento da coleta, que se traduz em menor presença de raízes, as quais contribuem para a entrada de substratos carbonados no sistema, via exudatos radiculares, importantes para manutenção da atividade microbiana (Bopaiiah e Shetti 1991).

No T10, solo de mata nativa com grossa camada de serra pilheira, a maior liberação de  $CO_2$  pode ser decorrente da alta ciclagem de resíduos, que promove aumento da biomassa microbiana e,

consequentemente, da atividade biológica (Kuzyakov 2010). De acordo com Brookes (1995), a taxa de respiração do solo depende, principalmente, da disponibilidade de substrato, umidade e temperatura, portanto em ambiente de mata, altos teores de respiração podem significar altas taxas de decomposição.

Os sistemas T9 e T12 apresentaram maiores valores para o quociente metabólico, índice que pode indicar ambientes em estresse, onde há maior consumo de C para manutenção da biomassa microbiana. Em T9, o intenso revolvimento do solo poucos dias antes da coleta pode ter estimulado atividade microbiana. Já em T12, o estímulo deve ter sido ocasionado pelas altas temperaturas do solo devido a falta de cobertura. Acréscimos nos valores de  $qCO_2$  relacionam-se à mineralização da biomassa microbiana (Melloni et al. 2008), assim como também, indicam maiores perdas de C com a respiração por unidade de C microbiano (Martins et al. 2010).

### ***Fosfatase, arilsulfatase e $\beta$ -glucosidase***

Para enzima fosfatase, os sistemas T8 e T10 apresentaram os maiores valores, demonstrando que manejos conservacionistas, com alta reposição de material orgânico e baixo revolvimento do solo, promovem ambiente favorável aos microrganismos e consequentemente proporcionam maior atividade enzimática. A manutenção da fosfatase ácida em solos tropicais altamente intemperizados é de fundamental importância, pois grande proporção do fósforo está na forma orgânica, e assim, a hidrólise catalítica pode desempenhar importante papel na disponibilização desse elemento (Kedi et al. 2013).

Os sistemas T2, T6 e T9 apresentaram baixos valores para fosfatase ácida, o que reflete o impacto do revolvimento do solo na atividade dos microrganismos produtores de enzimas fosfatases (Nannipieri et al. 2011). A expressão da atividade catalítica dessas enzimas pode ser influenciada pelos valores de fósforo no solo, pH, temperatura e MO (Tabatabai 1994), o que pode explicar os valores baixos para solos que recebem adubação à base de fósforo como T2, T6 e T9, e com baixo

teor de COT como o T12.

Do mesmo modo para enzima arilsulfatase, os manejos com alta ciclagem de nutrientes e ausente revolvimento do solo como os sistemas T1, T4, T8, T10 e T11 apresentaram maiores valores. De acordo com Nogueira e Melo (2003), a manutenção da matéria orgânica do solo, é essencial para atividade da arilsulfatase, pois constitui a principal fonte de reserva de ésteres de sulfato, os quais são substratos desta enzima. Assim, a atividade enzimática está relacionada as concentrações orgânicas de carbono, que refletem a disponibilidade de substratos sobre os quais as enzimas podem atuar (Silva 2015).

Os sistemas com baixo teor de COT (T6, T7 e T12) e com revolvimento do solo (T2, T6 e T9) apresentaram menores valores para enzima arilsulfatase. Manejos que desfavorecem o acúmulo de MO e que provocam perturbação no solo, influenciam de maneira negativa as populações de fungos e, conseqüentemente, à atividade da arilsulfatase (Lisboa 2012). Corroborando com este autor, Matias et al. (2009) refere que o revolvimento do solo durante as atividades agrícolas pode diminuir a biomassa pelo dano direto às células microbianas.

Em relação à enzima  $\beta$ -glucosidase, os sistemas T3, T4 e T5 demonstraram maiores valores. Este resultado provavelmente foi decorrente do fato de que T3 e T4 corresponderem a sistemas de integração com eucalipto, espécie rica em celulose, e T5 sistema que estava cultivado com grande biomassa de plantas adubadeiras a base de esterco. Esta enzima atua na decomposição da MO do solo, está envolvida na etapa final da biodegradação da celulose, principal componente de polissacarídeos de plantas, e na liberação de fonte de energia lábil para microrganismos (Tabatabai 1994; Martínez et al. 2007; Stott et al. 2010).

Em contrapartida, os sistemas T6, T9, T10 e T12 apresentaram os menores valores para  $\beta$ -glucosidase. Importante ressaltar que e solos intensamente mecanizados (T6 e T9), e com baixo aporte de material orgânico (T12) tendem apresentar menor atividade desta enzima, já que a mesma reflete a condição da MO e os processos de decomposição que ocorrem no solo (Ferreira, 2017).

Entretanto, a menor atividade desta enzima em T10, pode ser reflexo da maior complexidade dos resíduos vegetais que retornam ao solo neste sistema, onde o carbono não está prontamente mineralizável, já que esta enzima atua sobre substratos menos complexos (Matsuoka et al. 2003).

### *Cromatografia de Pfeiffer*

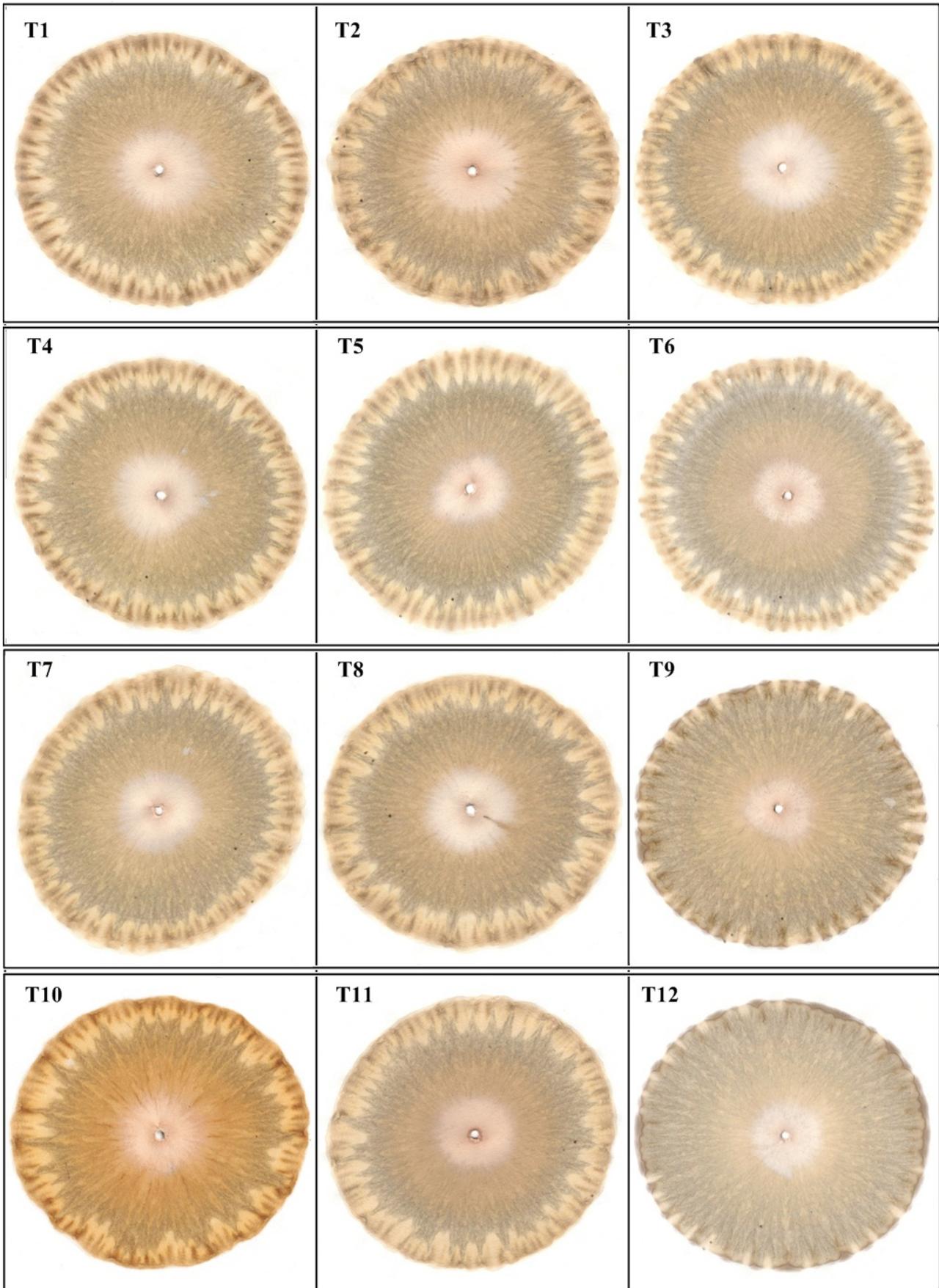
No que se refere a CP, o presente estudo considerou um número pequeno de repetições, o que permitiu trabalhar com um grande número de amostras simultaneamente, e obter assim, um melhor conjunto de dados para as correlações de resultados da CP, com resultados dos outros indicadores de qualidade do solo (foco principal da experimentação). Os resultados, conforme categorização descrita na metodologia, estão apresentados na Tabela 4 e Figura 3.

**Tabela 4.** Notas atribuídas aos cromas dos diferentes sistemas de uso do solo a partir de escala elaborada por laboratório holandês (Soiltech Solution).

Sistema de uso do solo	ZC	ZI	ZM	ZE	Nota Geral
<b>T1</b>	8	8	9	9	8,5
<b>T2</b>	8	9	8	8	8
<b>T3</b>	7	8	8	8	8
<b>T4</b>	7	8	9	9	8,5
<b>T5</b>	7	8	8	8	8
<b>T6</b>	8	7	6	7	7
<b>T7</b>	7	8	9	8	8
<b>T8</b>	7	9	9	9	9
<b>T9</b>	8	6	4	5	5,5
<b>T10</b>	10	10	10	10	10
<b>T11</b>	8	8	9	9	8,5
<b>T12</b>	7	5	4	3	4,5

Nota: ZC = zona central; ZI = zona interna; ZM = zona média; ZE = zona externa.

Sistemas de uso: área de preservação permanente de uma nascente (T1), cultivo mínimo (T2), integração lavoura floresta (T3), integração pecuária floresta (T4), transição agroecológica (T5), horta convencional (T6), plantio direto (T7), pastagem (T8), agricultura biodinâmica (T9), remanescente florestal de Mata Atlântica (T10), área de preservação permanente em processo de recuperação (T11) e solo exposto sem manejo (T12).



**FIGURA 3.** Cromatografia de Pfeiffer nos diferentes sistemas de uso do solo.

Nota: área de preservação permanente de uma nascente (T1), cultivo mínimo (T2), integração lavoura floresta (T3), integração pecuária floresta (T4), transição agroecológica (T5), horta convencional (T6), plantio direto (T7), pastagem (T8), agricultura biodinâmica (T9), remanescente florestal de Mata Atlântica (T10), área de preservação permanente em processo de recuperação (T11) e solo exposto sem manejo (T12).

Os sistemas que apresentaram cromas de menor pontuação foram o T12 seguido pelo T9 e T6.

Observa-se nos respectivos cromas, os seguintes aspectos negativos: zonas desproporcionais, mal integradas, colorações mais escuras e aspecto desarmônico. Em T9 e T12 as terminações da ZM não apresentam picos e a ZE é quase inexistente, com ausência de “nuvens enzimáticas”, caracterizando solos com baixa atividade biológica e enzimática (Pfeiffer 1984; Restrepo e Pinheiro 2011).

Os cromas dos sistemas T1, T2, T3, T4, T5, T7, T8 e T11 apresentaram características similares, coloração marrom, zonas integradas de tamanhos proporcionais e estrutura radial bem marcada. Entretanto, T1, T4, T8 e T11 diferem dos demais por apresentarem picos da ZM distribuídos irregularmente, de coloração castanho suave e marcada formação das “nuvens enzimáticas” na ZE, características de solos com boa atividade biológica e enzimática (Pfeiffer 1984; Restrepo e Pinheiro 2011).

Com relação ao T10, é possível identificar padrões para solo de alta qualidade indicado por Pfeiffer (1984), como a relação harmônica entre as cores e tamanhos das zonas, a integração entre elas, o formato e nitidez das radiações, terminações em forma de picos irregulares da ZM, presença das “nuvens enzimáticas” na ZE e a tonalidade de cor marrom claro em todo cromograma, transmitindo aspecto positivo de solo saudável.

Considerando que a ZC do cromograma relaciona-se com a estrutura do solo (Restrepo e Pinheiro 2011), no presente estudo a mesma foi correlacionada com os valores obtidos a partir da análise de resistência à penetração (Tabela 5).

**Tabela 5.** Coeficientes de correlação de Spearman entre a zona central dos cromas e a resistência à penetração dos solos sob os diferentes sistemas de uso (T1 – T12).

	ZC	Estr	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	15-20 cm	20-25 cm	25-30 cm	30-35 cm	35-40 cm	RP m
<b>ZC</b>	1,00										
<b>Estr</b>	-0,45	1,00									
<b>0-5 cm</b>	-0,49	0,88**	1,00								
<b>5-10 cm</b>	-0,47	0,99**	0,82**	1,00							
<b>10-15 cm</b>	-0,47	0,94**	0,74**	0,97**	1,00						
<b>15-20 cm</b>	-0,47	0,86**	0,60*	0,91**	0,97**	1,00					
<b>20-25 cm</b>	-0,62*	0,87**	0,68*	0,91**	0,94**	0,95**	1,00				
<b>25-30 cm</b>	-0,66*	0,84**	0,65*	0,89**	0,92**	0,93**	0,99**	1,00			
<b>30-35 cm</b>	-0,62*	0,89**	0,70*	0,92**	0,94**	0,93**	0,94**	0,95**	1,00		
<b>35-40 cm</b>	-0,64*	0,88**	0,70*	0,91**	0,93**	0,92**	0,94**	0,94**	0,99**	1,00	
<b>RPm</b>	-0,62*	0,95**	0,81**	0,97**	0,96**	0,92**	0,95**	0,94**	0,98**	0,97**	1,00

Nota: ZC = Zona central; Estr. = média das profundidades de 0 a 10 cm; RPm = média das profundidades de 0 a 40 cm. Legenda da significância: '\*\*' = 0,01; '\*' = 0,05; n=12.

A ZC também é conhecida por zona de oxigenação do solo, pois reflete as condições de aeração, além de sinalizar o conteúdo de nitrogênio. Restrepo e Pinheiro (2011), observaram que solos compactados, com menor presença de oxigênio e tendência ao metabolismo anaeróbico, apresentam ZC de coloração escura, enquanto que solos bem aerados, com tendência ao metabolismo aeróbico apresentam coloração amarela e creme. Em solos com alta presença de nitrogênio solúvel, esta zona se manifesta com coloração branca.

De acordo com o presente estudo, a ZC apresentou correlação negativa com a resistência à penetração do solo a partir dos 20 cm de profundidade, sendo que em relação a média para o intervalo 0 a 40 cm (RPm) de profundidade, também houve significância a nível de 5%. Contudo, todas as profundidades expressaram relação inversa a resistência à penetração, confirmando que quanto maior essa resistência, menor é a qualidade da ZC do cromograma.

Bezerra (2018) encontrou correlação positiva ao comparar a ZC com a macroporosidade do solo em diferentes sistemas agroflorestandos. Solos que apresentaram valores adequados para este parâmetro físico, receberam boa avaliação e os que apresentaram valores inadequados, receberam avaliação negativa para ZC. A macroporosidade indica a capacidade de aeração, pois é uma medida da taxa de difusão de oxigênio no solo (LIMA et al. 2017).

Em relação a ZI do croma, que traduz o comportamento mineral do solo (Pfeiffer, 1984), e as variáveis presentes na análise química, observou-se correlação positiva com o COT (Tabela 6).

**Tabela 6.** Coeficientes de correlação de Spearman entre a zona interna dos cromas e as diferentes variáveis apresentadas pela análise química do solo.

	ZI	pH	COT	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
<b>ZI</b>	1,00											
<b>pH</b>	-0,54	1,00										
<b>COT</b>	0,58*	0,04	1,00									
<b>P</b>	-0,48	0,64*	-0,46	1,00								
<b>K</b>	-0,27	0,80**	0,01	0,80**	1,00							
<b>Ca</b>	-0,24	0,86**	0,13	0,49	0,61*	1,00						
<b>Mg</b>	0,15	0,01	0,06	0,14	0,31	0,02	1,00					
<b>Al</b>	0,33	-0,83**	-0,18	-0,36	-0,63*	-0,82**	-0,23	1,00				
<b>H+Al</b>	0,51	-0,92**	-0,18	-0,41	-0,62*	-0,78**	0,22	0,71**	1,00			
<b>SB</b>	-0,33	0,86**	0,25	0,43	0,71**	0,77**	0,41	-0,82**	-0,75**	1,00		
<b>CTC</b>	0,28	0,13	0,16	0,07	0,28	0,29	0,85**	-0,37	0,05	0,48	1,00	
<b>V</b>	-0,45	0,97**	0,16	0,55	0,76**	0,88**	0,05	-0,84**	-0,93**	0,88**	0,16	1,00

Nota: ZI = zona interna; COT = conteúdo orgânico total; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases. Legenda da significância: '\*\*' = 0,01; '\*' = 0,05; n=12.

Corroborando com este resultado, Kokornaczyk et al.(2016) correlacionaram a cromatografia de Pfeiffer com variáveis químicas do solo em diferentes sistemas de manejo e encontraram correlação positiva entre os teores de matéria orgânica e as formações radiais. De acordo com este autor, estas formações estão relacionadas com as características positivas do solo (alto teor de matéria orgânica, nitrogênio total e fósforo).

Linhas radiais, que se estendem a partir do meio do croma e alcançam a ZE, exprimem para Runge (1795 – 1867) as forças formativas do solo (Maseda 2016). Estas forças indicam a qualidade do mesmo em fornecer as condições necessárias para o desenvolvimento biológico e para construção do equilíbrio dinâmico com as frações químicas e físicas presentes no sistema.

Para Restrepo e Pinheiro (2011), “a vida é a integração das energias eletromagnéticas”, e como “os minerais vivos” (metabolizado pelos microrganismos) apresentam carga elétrica e magnetismo distintos, isso se expressa nos cromas por meio das radiações, formas e cores da ZI. Segundo Kokornaczyk et al. (2016), as formações radiais e coloração intensa dos padrões são sinais de boa qualidade do solo, enquanto padrões concêntricos e cores borradas indicam baixa fertilidade.

A ZI também reflete a estrutura e capacidade de retenção de umidade do solo (Kokornaczyk et al. 2016), o que remete a decomposição da MO e produção dos ácidos poliurônicos, responsáveis pela agregação e formação de grumos (Primavesi 1982). Desta forma, solos com maior teor de MO e atividade microbiana, tendem a apresentar boa estrutura, refletindo em padrões desejados na ZI.

Para correlação entre a ZM do cromograma e as variáveis biológicas CBMS, RB,  $qCO_2$ ,  $qMIC$  e COT, constatou-se forte correlação positiva com o CBMS (Tabela 7).

**Tabela 7.** Coeficientes de correlação de Spearman entre a zona média da cromatografia e as variáveis biológicas.

	ZM	CBMS	RB	$qCO_2$	$qMIC$	COT
ZM	1,00					
CBMS	0,74**	1,00				
RB	0,14	0,38	1,00			
$qCO_2$	-0,10	-0,05	0,75**	1,00		
$qMIC$	0,42	0,74**	0,50	0,10	1,00	
COT	0,55	0,63*	0,55	0,17	0,16	1,00

Nota: ZM = Zona média; CBMS = carbono da biomassa microbiana do solo; RB = respiração basal;  $qCO_2$  = quociente metabólico;  $qMIC$  = quociente microbiano; COT = conteúdo orgânico total. Legenda da significância: \*\*\* = 0,01; \* = 0,05; n=12.

Conforme Restrepo e Pinheiro (2011) a ZM ou biológica, expressa os processos ativos de decomposição da MO, quando esta apresenta cores claras e integradas às ZI e ZE, é sinal de boa atividade microbiológica. Essa zona deve apresentar picos de diferentes tamanhos e coloração marrom, sendo que cores claras indicam processos mais estáveis (Restrepo e Pinheiro 2011).

A ZE do cromograma, que expressa as substâncias complexas de alto peso molecular, como proteínas, enzimas e vitaminas (Pfeiffer, 1984), apresentou no presente estudo forte correlação positiva com as enzimas fosfatase ácida e arilsulfatase (Tabela 8).

**Tabela 8.** Coeficientes de correlação de Spearman as enzimas fosfatase ácida, arilsulfatase e  $\beta$ -glucosidase, e a zona externa dos cromogramas.

	ZE	Fosfatase ácida	Arilsulfatase	$\beta$ -glucosidase
ZE	1,00			
Fosfatase	0,87**	1,00		
Arilsulfatase	0,83**	0,80**	1,00	
$\beta$ -glucosidase	0,42	0,49	0,30	1,00

Nota: ZE = Zona externa. Legenda da significância: \*\*\* = 0,01; \* = 0,05; n=12.

As características da ZE do cromas são bem marcantes e de fácil observação. A presença das “nuvens enzimáticas”, manchas de coloração marrom que aparecem entre, e ao final, dos picos da ZM, são indicações de atividade enzimática e formação de húmus (Pfeiffer 1984, Restrepo e Pinheiro 2011).

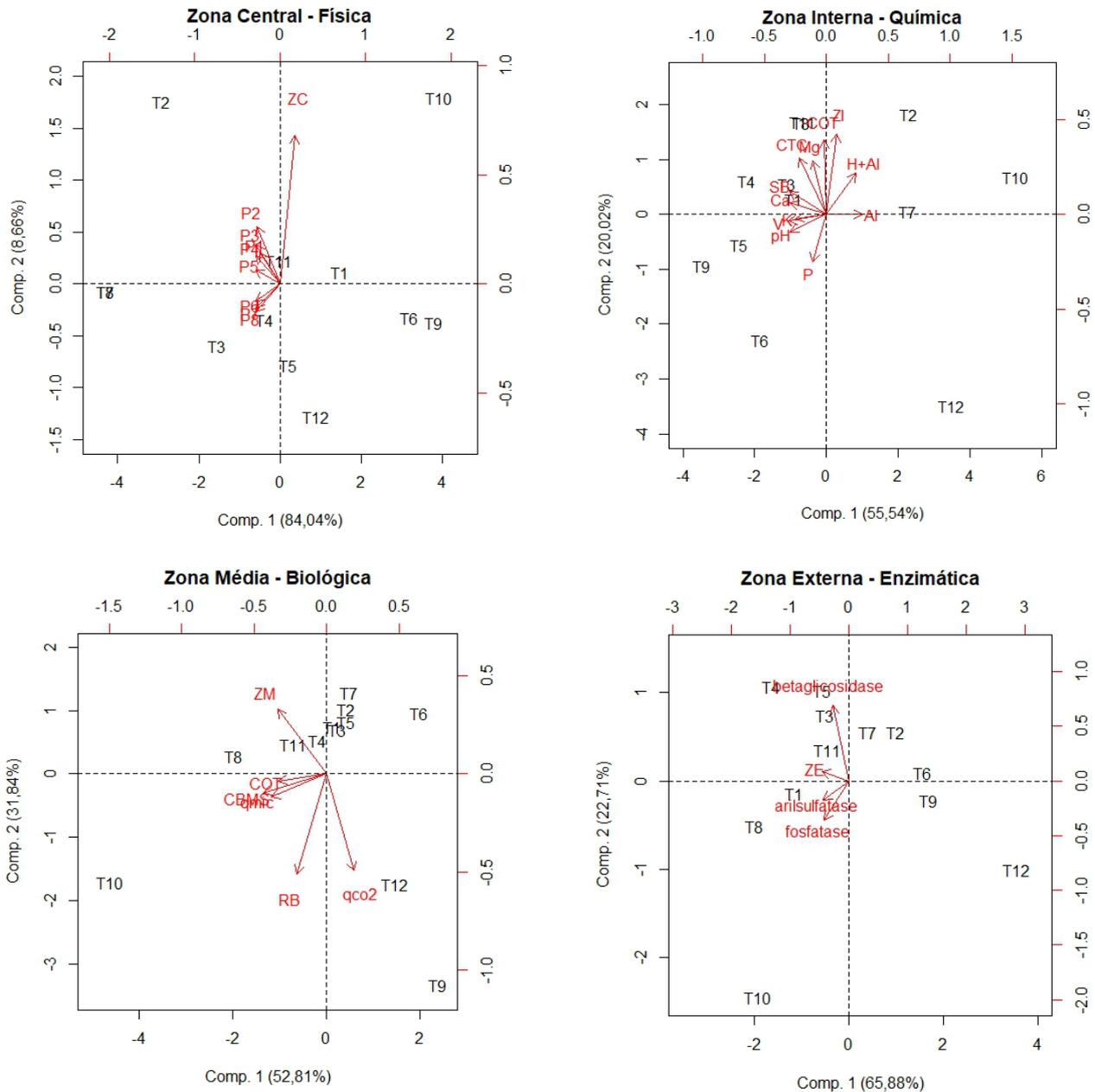
Primavesi (1982) afirmou que para um solo ativo e de boa qualidade, avaliar apenas a quantidade de microrganismos vivos não é suficiente. Salienta, que a atividade que esses microrganismos desempenham, expressa pela presença de enzimas extracelulares catalizadoras de inúmeros processos bioquímicos, representa importante parâmetro à ser avaliado.

Os gráficos de autovetores de componentes principais foram construídos a partir da relação entre as zonas dos cromas e os respectivos indicadores correlatos (ZC e resistência à penetração, ZI e parâmetros químicos do solo, ZM e indicadores biológicos e ZE e atividade enzimática). Estes gráficos agrupam os tratamentos de acordo com as variâncias, permitindo o estabelecimento de relações entre as variáveis quantitativas dos indicadores e qualitativas do cromas (Tabela 9 e Figura 4).

**Tabela 9.** Autovetores dos dois primeiros componentes principais agrupados por tipo de variável.

<b>Fís.</b>	<b>C.1</b>	<b>C.2</b>	<b>Quím.</b>	<b>C.1</b>	<b>C.2</b>	<b>Bio.</b>	<b>C.1</b>	<b>C.2</b>	<b>Enz.</b>	<b>C.1</b>	<b>C.2</b>
<b>ZC</b>	0,224	0,850	<b>ZI</b>	0,102	0,529	<b>ZM</b>	-0,421	0,415	<b>ZE</b>	-0,567	0,105
<b>P1</b>	-0,296	0,178	<b>pH</b>	-0,367	-0,116	<b>CBMS</b>	-0,547	-0,123	<b>F. àc.</b>	-0,520	-0,449
<b>P2</b>	-0,337	0,328	<b>COT</b>	-0,024	0,490	<b>RB</b>	-0,255	-0,638	<b>Arils.</b>	-0,541	-0,216
<b>P3</b>	-0,350	0,225	<b>P</b>	-0,143	-0,311	<b>COT</b>	-0,417	-0,044	<b><math>\beta</math>-glu.</b>	-0,338	0,861
<b>P4</b>	-0,355	0,164	<b>K</b>	-0,311	-0,028	<b>qMIC</b>	-0,478	-0,150			
<b>P5</b>	-0,358	0,081	<b>Ca</b>	-0,366	0,078	<b>qCO<sub>2</sub></b>	0,236	-0,618			
<b>P6</b>	-0,356	-0,098	<b>Mg</b>	-0,137	0,357						
<b>P7</b>	-0,352	-0,135	<b>Al</b>	0,364	-0,001						
<b>P8</b>	-0,349	-0,162	<b>H+Al</b>	0,299	0,271						
			<b>SB</b>	-0,375	0,151						
			<b>CTC</b>	-0,275	0,371						
			<b>V</b>	-0,383	-0,045						

Nota: Fís. = física; P1 = 0-5 cm; P2 = 5-10 cm; P3 = 10-15 cm; P4 = 15-20 cm; P5 = 20-25 cm; P6 = 25-30 cm; P7 = 30-35 cm; P8 = 35-40 cm; C. = componente; Quím. = química; Bio. = biológica; enz. = enzimática; ZC = zona central; ZI = zona interna; COT = conteúdo orgânico total; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases ZM = zona média; CBMS = carbono da biomassa microbiana do solo; RB = respiração basal; qMIC = quociente microbiano; qCO<sub>2</sub> = quociente metabólico; ZE = zona externa; F. àc. = fosfatase ácida; Arils. = arilsulfatase;  $\beta$ -glu. =  $\beta$ -glucosidase.



**Figura 4.** Gráficos de autovetores dos dois primeiros componentes principais agrupados por tipo de variável.

Nota: P1 = 0-5 cm; P2= 5-10 cm; P3 = 10-15 cm; P4 = 15-20 cm; P5 = 20-25 cm; P6 = 25-30 cm; P7 = 30-35 cm; P8 = 35-40 cm; ZC = zona central; ZI = zona interna; COT = conteúdo orgânico total; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases; ZM = zona média; CBMS = carbono da biomassa microbiana do solo; RB = respiração basal; qMIC = quociente microbiano; qCO2 = quociente metabólico; ZE = zona externa.

Sistemas de uso do solo: área de preservação permanente de uma nascente (T1), cultivo mínimo (T2), integração lavoura floresta (T3), integração pecuária floresta (T4), transição agroecológica (T5), horta convencional (T6), plantio direto (T7), pastagem (T8), agricultura biodinâmica (T9), remanescente florestal de Mata Atlântica (T10), área de preservação permanente em processo de recuperação (T11) e solo exposto sem manejo (T12).

Com relação à análise física do solo, no componente 1 que traduziu 84,04% das variações, a ZC

agrupou os tratamentos T1, T5, T6, T9, T10, T11 e T12 que correspondem aos solos com menor

resistência à penetração. É possível observar como características em comum da ZC, nos respectivos cromas, o tamanho proporcional entre as demais zonas e a coloração bege, corroborando para os padrões de solo estruturado descrito por Restrepo e Pinheiro (2011). Estes solos estavam ocupados com mata (T1, T10 e T11), hortaliças (T5, T6 e T11) e em pousio prolongado (T12), o que explica o menor grau de compactação dos mesmos.

Em contrapartida, os tratamentos T2, T3, T4, T7 e T8 foram agrupados por apresentarem maior valor de resistência à penetração do solo, sendo estes caracterizados pelo cultivo de grãos ou de pastagem, que tendem a compactar o solo devido ao intensivo uso de maquinários pesados e do pisoteio de animais. Esses sistemas apresentaram ZC de tamanho maior e com menor proporção em relação às demais zonas, características que indicam problemas na aeração do solo (Pfeiffer 1984; Restrepo e Pinheiro 2011).

Para análise química, é possível observar em relação ao componente 1, que explicou 55,54% das variações, que as variáveis H+Al e Al agruparam os tratamentos T2, T7, T10 e T12, correspondendo aos solos mais ácidos. As variáveis V, SB, Ca<sup>2+</sup>, pH e K<sup>+</sup> agruparam os demais tratamentos, que correspondem aos solos menos ácidos. Para este agrupamento, não se observou características comuns entre as ZI dos cromas que pudessem estar relacionados à acidez dos solos.

Já o componente 2, que explicou 20,02% das variações, as variáveis ZI e COT agruparam os tratamentos T1, T2, T3, T4, T7, T8, T10 e T11 que correspondem aos sistemas cujos manejos empregam baixo revolvimento do solo. Os respectivos cromas se distinguiram dos demais por apresentarem ZI mais integrada às zonas adjacentes, e pela coloração de tonalidade marrom. O teor de P agrupou nesse componente, os tratamentos T5, T6 e T9 que apresentaram alta concentração deste nutriente no solo. Nota-se na ZI destes cromas, como característica comum que os diferem dos demais, coloração de tonalidade castanho escura com tons esverdeados entre as radiações. Entretanto, o sistema T12, que exibiu baixo teor de fósforo no solo, também apresentou esses padrões de cores na ZI, o que provavelmente está relacionado ao desequilíbrio químico deste solo.

Com relação às análises biológicas, para o componente 1 que explicou 52,81% das variações, as variáveis CBMS,  $q_{MIC}$ , COT e ZM agruparam os tratamentos T4, T8, T10 e T11, que correspondem aos solos de melhor qualidade biológica. Os cromas destes solos apresentaram como características em comum, ZM proporcional e integrada às zonas adjacentes e menor número de picos, porém com diferentes tamanhos e larguras, o que confirma os padrões de boa qualidade biológica indicados por Pfeiffer (1984) e Restrepo e Pinheiro (2011).

Para o componente 2 que explicou 31,84% das variações, a variável  $q_{CO_2}$  agrupou os tratamentos T9 e T12, caracterizados como ambientes estressados segundo a teoria de Odum (1985). Nesta teoria é proposto, que o aumento nas taxas de respiração da comunidade microbiana pode estar relacionado à reparação de danos causados por distúrbios no solo, o que requer desvio da energia destinada ao crescimento e reprodução para manutenção celular. Os cromas destes solos apresentaram em comum na ZM: coloração castanho escura, terminações uniformes em formato cilíndrico de número elevado e aspecto desarmônico. Estas características confirmam os padrões negativo para esta zona apontados por Pfeiffer (1984) e Restrepo e Pinheiro (2011).

No que se refere às análises enzimáticas, para o componente 1, que explicou 65,88% das variações, as variáveis fosfatase ácida, arilsulfatase e ZE agruparam os tratamentos T1, T3, T4, T5, T8, T10 e T11. Nos respectivos cromas, observa-se como características em comum da ZE a coloração amarela de tonalidade mais escura, presença de “nuvens enzimáticas” e tamanho proporcional às demais zonas do cromograma, confirmando os padrões de boa atividade enzimática indicados por Pfeiffer (1984) e Restrepo e Pinheiro (2011).

Quanto ao componente 2, que traduziu 22,71% das variações, a variável  $\beta$ -glucosidase agrupou os tratamentos T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T11. Entretanto, ao se avaliar as ZE dos respectivos cromas, não foi possível destacar diferenças perceptíveis que os distinguissem dos demais tratamentos.

## Conclusões

A ZC do cromas demonstrou correlação negativa com a resistência à penetração do solo abaixo dos 20 cm de profundidade, assim como também na média dentro do intervalo 0 – 40 cm. Isto é, quanto mais compactado estava o solo, menor foi a qualidade da ZC, tendo se confirmado os padrões de qualidade.

A ZI apresentou correlação positiva com o COT, além de demonstrar sensibilidade para problemas na estrutura do solo, estes relacionados à intensidade de revolvimento. Os padrões de qualidade analisados nesta zona dos cromas, como radiações bem marcadas, coloração marrom e integração com as demais zonas, se confirmaram neste estudo.

A ZM do cromas apresentou forte correlação positiva com o CBMS, evidenciando a relação desta zona com a biologia do solo. Os padrões que indicam qualidade para esta zona, como terminações em formato de picos irregulares, coloração marrom e proporção às demais zonas, também se comprovaram neste estudo.

Em relação a ZE, houve expressiva correlação positiva com as enzimas fosfatase ácida e arilsulfatase, evidenciando sua relação com a atividade enzimática do solo. As expressões das “nuvens enzimáticas” e colorações de tonalidade amarela também puderam ser confirmadas como indicadores de qualidade para esta zona.

Por fim, conclui-se que a CP se mostrou um sensível método para diagnóstico da qualidade do solo, demonstrando que a partir da análise e interpretação dos padrões formados nas distintas zonas, é possível ter ideia das condições físicas, químicas e biológicas desse sistema. Cabe ressaltar a importância do aprofundamento nos estudos deste método, pois seu baixo custo, fácil execução e interpretação, permitem que os agricultores tenham autonomia na avaliação dos manejos empregados, possibilitando a manutenção da qualidade dos solos.

## Referências bibliográficas

- Alvarez R. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from tree tillage systems. **Soil Tillage Res.** 31: 17-28.
- Anderson TH, Domsch KH. 1993. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> ( $q\text{CO}_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biol Biochem.** 25: 393-395.
- Arshad MA, Martin S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. **Agricult Ecosys Environ.** 88: 153-160.
- Balzer-Graf UR, Balzer FM. 1989. Rundfilterchromatogramm nach Pfeiffer-eine ganzheitliche Untersuchungsmethode. [Round filter chromatography according to Pfeiffer's holistic research method]. Labor für Bodenuntersuchungen und Spurenmetall-Analytic Dr.Balzer, Amönau. Germany.
- Bastos AL, Costa JPV, Silva IF, Raposo RWC, Souto JS. 2008. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas.[ Influence of phosphorus doses in diffusive flow in the soils of Alagoas]. **Rev bras eng agríc ambient.** 12(2): 136-142. Portuguese.
- Bhering SB. 2008. Mapa de solos do estado do Paraná: legenda atualizada. [Map of soils of the state of Paraná: updated legend]. 1ª ed. Rio de Janeiro: Imprensa Oficial. Portuguese.
- Bezerra LP. 2018. Implantação de Sistemas Agroflorestais na Agricultura Familiar: um caminho para a transição agroecológica. [Implantation of Agroforestry Systems in Family Agriculture: a path to the agroecological transition] [master's thesis]. São Carlos (SP): Universidade Federal de São Carlos. Portuguese.
- Bopaiiah BM, Shetti HS. 1991. Soil microflora and biological activities in the rhizospheres and root regions of coconutbased multistoreyed cropping and coconut monocropping systems. **Soil Biol Biochem.** 17:297-302.
- Bradford JM, Peterson GA. 2000. Conservation tillage. In: SUMNER, ME., ed. Handbook of soil science. Boca Raton, CRC Press. p.247-266.
- Brasil. 1971. Ministério da agricultura. Levantamento de reconhecimento de solos do nordeste do Paraná. [Land survey survey of the northeast of the state of Paraná]. Boletim técnico n.º 16. Portuguese.
- Brookes DC. 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biol Fertil Soils.** Berlin, 19: 269-279.
- Carneiro MAC, Assis, PCR, Melo LBDC, Pereira HS, Paulino HB, Silveira Neto AN. 2008. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. [biochemical attributes of two savannah soils under different management systems and use]. **Pesq Agropec Trop.** 38 (4): 276-283. Portuguese.

- Carneiro, MAC, Souza ED, Reis EF, Pereira HS, Azevedo WR. 2009. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. [impact of organic residue management on soil quality indicators during replanting of eucalypt stands]. **R Bras Ci Solo.** 33: 147-157. Portuguese.
- Cherubin MR, Eitelwein MT, Fabbris C, Weirich SW, Silva RF, Silva VR, Basso CJ. 2015. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. [physical, chemical, and biological quality in an oxisol under different tillage and fertilizer sources]. **R Bras Ci Solo.** 39(2). Portuguese.
- Da Silva CF, Pereira, MG, Miguel DL, Feitora JCF, Loss A, Menezes CEG, da Silva, EMR. 2012. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). [Total organic carbon, microbial biomass and soil enzyme activity areas of agriculture, forestry and grassland in the middle Valley of Paraíba do Sul River (RJ)]. **R Bras Ci Solo.** 36(6): 1680-1689. Portuguese.
- De-Polli H, Guerra JGM. 1997. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método da fumigação-extração. [Determination of soil microbial biomass carbon: fumigation-extraction method]. Seropédica: Embrapa/Cnpab; (Documentos, 37). Portuguese.
- Dick, RP, Breac Kwell DP, Turco RF. 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: Doran JW e Jones AJ., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, SSSA. p.247-271. (SSSA Special Publication, 49)
- Embrapa. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo [Manual of soil analysis methods] /Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro. 212p. Portuguese.
- Embrapa. 2009. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes [Manual of chemical analyzes of soils, plants and fertilizers] / editor técnico, Silva FC. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p. Portuguese.
- Ferreira EPB, Stone LF, Martin-Didonet CCG. 2017. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. [Population and microbial activity of the soil under an agro-ecological production system]. **Rev Ciênc Agron.** 48(1), 22-31. Portuguese.
- Freitas L, Oliveira IA, Silva LS, Frare JCV, Filla VA, Gomes, RP. 2017. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. [Indicators of the chemical and physical quality of the soil under different management systems]. **Acta Sci., Agron.** 26(1-2). Portuguese.
- Gil-Sotres F, Trasar-Cepeda C, Leirós MC, Seoane S. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. **Soil Biol Biochem.** 37(5): 877-887.
- Hassold-Piezunka N. 2003. Eignung des Chroma-Boden-Test zur Bestimmung on Kompostqualitaet und Rottegrad. [Suitability of the chroma soil test to determine compost quality and degree of rotting]. [dissertation], Universität Oldenburg, Alemania. Germany.
- Jenkinson DS, Powlson DS. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biol Biochem.** 8: 167-177.

- Júnior DDV, Valadão FCA, Silva GJ. 2017. Atributos físicos e matéria orgânica de um latossolo sob diferentes manejo. [Organic matter and physical attributes of an oxisol under different management]. **Rev. Ciênc. Agron.** 26(3): 237-250. Portuguese.
- Kedi B, Sei J, Quiquampoix H, Staunton A. 2013. Persistence of catalytic activity of fungal phosphatases incubated in tropical soils. **Soil Biol Biochem.** 56: 69-74.
- Khemani D, Joseph MM, Variganti S. 2008. Case based interpretation of soil chromatograms. In European Conference on Case-Based Reasoning. Springer, Berlin, Heidelberg. 587-599.
- Kokornaczyk MO, Primavera F, Luneia R, Baumgartner S, Betti L. 2016. Analysis of soils by means of Pfeiffer's circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. **Biol Agric Horticult.** 33(3): 143-157.
- Kuzyakov Y. 2010. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. **Soil Biol Biochem.** 42(9): 1363-1371.
- Lima JSS, Silva SA, Souza GS, Altoé MS. 2017. Análise multivariada de atributos físicos em argiloso vermelho-amarelo em diferentes ambientes. [Multivariate analysis of physical attributes in ultisol from different environments]. **REVENG.** 25(5): 396-406. Portuguese.
- Lisboa BB, Kayser Vargas L, Oliveira da Silveira A, Ferreira Martins A, Selbach PA. 2012. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. [Microbial indicators of soil quality in different management systems]. **R Bras Ci Solo.** 36(1). Portuguese.
- Loureiro DC, De-Polli H, de Aquino AM, Sá MMF, Guerra JGM. 2016. Influência do uso do solo sobre a conservação de carbono em sistemas orgânicos de produção. [Influence of soil use on carbon conservation in organic production systems]. **Rev Bras Agroec.** 1(1). Portuguese.
- Malavolta, E. 1980. Elementos de nutrição mineral de plantas. [Elements of mineral nutrition of plants]. São Paulo: Ceres. 251p. Portuguese.
- Martínez VA, Cruz L, Ramírez D S, Alegría VA. 2007. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. **Appl Soil Ecol.** 35: 35-45.
- Martins CM, Galindo ICL, Souza ER, Poroca HA. 2010. Atributos químicos e microbianos do solo de área sem processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. [Microbiological and chemical soil properties in desertifying areas in the semiarid region of Pernambuco State, Brazil]. **R Bras Ci Solo.** 34: 1883-1890. Portuguese.
- Maseda MT. 2016. Desarrollo y caracterización del método de dinamólisis capilar para el análisis de suelos contaminados: estudio de los suelos de Linares. [Development and characterization of the capillary dynamolysis method for the analysis of contaminated soils: study of the soils of Linares] [dissertation]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Spanish
- Matias MCBS, Salviano AAC, Leite LFC, Araújo ASF. 2009. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do estado do Piauí. [Microbial biomass

and C and N stocks in soil under different management systems in the 'Cerrado' of Piauí State]. **Acta Sci Agron.** 31:517-521. Portuguese.

Matsuoka M, Mendes IC, Loureiro MF. 2003. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). [microbial biomass and enzyme activities in soils under native vegetation and under annual and perennial cropping systems at the Primavera do Leste region - Mato Grosso State]. **R Bras Ci Solo.** 27(3): 425-433. Portuguese.

Melloni R, Perreira EGM, Alvarenga MIN. 2008. Indicadores da qualidade do solo. [Soil quality indicators]. **Inf Agropec.** 29: 17-29. Portuguese.

Mendes IC, Sousa DMG, Reis Junior FB. 2015. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. [Soil quality bioindicators: from the research laboratories to the field]. **CC&T.** 32(1/2): 191-209. Portuguese.

Moreira A, Carvalho JG, Evangelista AR. 1999. Influência da relação cálcio:magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. [Influence of calcium:magnesium ratio in limestone on nodulation, dry matter yield and mineral composition of alfalfa]. **Pesq agropec bras.** 34(2): 249-255. Portuguese.

Moreira FMS, Siqueira JO. 2006. Microbiologia e Bioquímica do Solo. [Microbiology and Soil Biochemistry]. 2. ed. Lavras: Ufla. 729 p. Portuguese.

Nannipieri P, Giagnoni L, Landi L, Renella G. 2011. Role of phosphatase enzymes in soil. In: Bünemann, E.K., Oberson, A., Frossard, E. (Eds.), Phosphorus in Action, Series: **Soil Biol.** 26: 215-243.

Nogueira MA, Melo WJ. 2003. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. [Sulphur availability to soybean and arilsulphatase Activity in a soil treated with phosphogypsum]. **R Bras Ci Solo.** 27: 655-63. Portuguese.

Odum EP. 1985. Trends expected in stressed ecosystems. **BioScience.** 35(7): 419-422.

Perumal K, Selvaraj A, Jayaraman A. 2016. Innovative and simplest Alternative Analytical Technology (AAT) for testing soil nutrients. **J Soil Sci.** 1(1): 22-31.

Pfeiffer EE. 1984 Chromatography applied to quality testing. Wyoming, USA: Bio-Dynamic Farming and Gardening Association:44 p.

Polson DS, Brookes PC. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic mater due to straw incorporation. **Soil Biol Biochem.** 19:159-164.

Portugal AF, Costa ODV, Costa LME, Santos BCM. 2008. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háptico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. [Soil chemical and physical attributes of aninceptisol under different land uses, in the zonada mata of minas gerais state, brazil]. **R Bras Ci Solo.**32(1): 249-258. Portuguese.

Primavesi A. 1982. Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais. [Ecological soil management: agriculture in tropical regions]. São Paulo: Nobel, 549 p. Portuguese.

Rangel OJP, Silva CA. 2007. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. [Carbon and nitrogen storage and organic fractions in latosol submitted to different use and management systems]. **R Bras Ci Solo**. 31(80): 1609-1623. Portuguese.

R Core Team .2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Restrepo JR, Pinheiro S. 2011. Cromatografía: imágenes de vida y destrucción del suelo. [Chromatography: images of life and destruction of the soil]. Cali: Impresora Feriva, 252 p. Spanish.

Sagar PM, Khan MA, Agrawal PR. 2014. Soil nutrient detection through image processing in chromatogram image. **IJPRET**. 2(8): 360-364.

Silva ASD, Colozzi Filho A, Nakatani AS, Alves SJ, Andrade DDS, Guimarães MDF. 2015. Microbial characteristics of soils under an integrated crop-livestock system. **R Bras Ci Solo**. 39(1): 40-48.

Soiltech Solutions: Chromabeoordeling. 2005 – 2018. Biezenmortel, Netherlands. [accessed 2018 Apr 20]. <https://www.bio-ron.com/images/stories/files/chroma-analyse.pdf>.

Souza ED, Costa SEVGA, Anghinoni I, Lima CVS, Carvalho PCF, Martins AP. 2010. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração-lavoura em plantio direto, submetido a intensidade de pastejo. [Soil microbial biomass in a no-tillage integrated Crop-livestock system under different grazing intensities]. **R Bras Ci Solo**, v. 34, p. 79-88. Portuguese.

Stott DE, Andrews SS, Liebig MA, Wienhold BJ, Karlen DL. 2010. Evaluation of  $\beta$ -glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. **Soil Biol Biochem**. 74(1): 107–119.

Tabatabai MA. 1994. Soil enzymes. In: Weaver RW, Angle S, Bottomley P, Bezdicek D, Smith S, Tabatabai A, Wollum ARW (Ed.). *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. Madison: **Soil Sci Am J**. p. 775-833. (Soil Science Society of America Book Series, 5).

Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Volkweiss SJ. 1995. Análises de solo, plantas e outros materiais. [Analysis of soil, plants and other materials]. Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174p. (Boletim Técnico, 5). Portuguese.

Tótola MR, Chaer GM. 2002. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. [Microorganisms and microbiological processes as indicators of soil quality]. *Tópicos em Ciência do Solo*. 2: 195-276. Portuguese.

Trasar-Cepeda C, Leirós C, Gil-Sotres F, Seoane S. 1997. Towards a biochemical quality index for soils: an expression relating several biological and biochemical properties. **Biol Fertil Soils**. 26(2): 100-106.

Turco RF, Blume E. 1999. Indicators of soil quality. In: Siqueira JO [et al.] (eds.) Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. [Soil fertility, soil biology, and nutrition interrelationships]. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, p.529-550.

Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol Biochem.** 19: 703-707.

Verchot LV, Borelli T. 2005. Application of para-nitrophenol (pNP) enzyme assays in degraded tropical soils. **Soil Biol. Biochem.** 37: 625-633.

Voitl H, Guggenberger E. 1986. Der Chroma-Boden-Test: die Bodenqualität bestimmen, bewerten und verbessern: ein unentbehrlicher Ratgeber für Landwirte, Berufs-und Hobbygärtner. [Chroma soil test: to determine, evaluate and improve soil quality: an indispensable guide for farmers, professionals and gardeners]. Verlag Orac, Wien, ISBN 3-7015-0036-3. Germany.

Walkley A, Black IA. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of chromic acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29-38.

Wardle DA. 1994. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. [Methodology for quantification of soil microbial biomass]. In: Hungria M, Araujo RS (Ed.). Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. [Manual of methods used in agricultural microbiology studies]. Brasília: Embrapa-SPI, p.419-436. Portuguese.

Weerasekara C, Udawatta RP, Jose S, Kremer RJ. 2016. Soil quality differences in a row-crop watershed with agroforestry and grass buffers. **Agrofor Syst.** 90(5): 829-838.

Zalidis G, Stamatiadis S, Takavakoglou V, Eskridge K, Misopolinos N. 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. **Agricult Ecosys Environ.** 88(2): 137-146.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cromatografia de Pfeiffer é um método com amplo potencial para diagnóstico da qualidade do solo, pois tem baixo custo, sua execução é simples e não carece de equipamentos sofisticados nem condições controladas para ser realizado. O processo de aprendizagem do método é rápido e sua análise não demanda alto nível de escolaridade, sendo acessível à qualquer pessoa. Esses pontos demonstram seu diferencial como instrumento de análise, pois empoderam os agricultores perante os assédios e abusos do setor corporativista, gerando autonomia na avaliação dos manejos empregados no campo.

Por meio da análise visual dos cromas, é possível perceber um padrão de formas e cores específicos para cada zona, o que permite estabelecer relações entre os componentes físicos, químicos e biológicos que integram o solo. Contudo, é preciso abrir os sentidos para captar outras informações que apenas imagens podem transmitir, não se delimitando a transformar qualidades em números, assim como a ciência racionalista se propõe a fazer.

As intenções originais de Pfeiffer e Steiner com a CP era possibilitar um exame holístico do solo, pela ótica da vitalidade, compreendendo-o como um órgão vivo na individualidade agrícola, capaz de expressar sua saúde através do cromograma. As expressões harmônicas e rítmicas que se revelam nas imagens são sinais dessa vitalidade, assim como as formações radiais e concêntricas. Deste modo, espera-se que a busca por validação científica da metodologia, com um carácter reducionista, não estabeleça limites para análise e interpretação dos cromogramas, fechando as portas para as percepções sensitiva e intuitivas.