

INDICADORES AMBIENTAIS DE SOLOS SOB MATA NATIVA, HORTICULTURA E SISTEMA AGROFLORESTAL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.VI-002>

Rita de Cássia Silva Oliveira (*), Nicolas Spineli Villaverde, Ana Eva Rezende Kumakura, Elaine de Arruda Oliveira Coringa

* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - Campus Cuiabá - Bela Vista.

E-mail: rita.oliveira@estudante.ifmt.edu.br

RESUMO

O solo é fundamental para o ecossistema, desempenhando papéis essenciais na ciclagem de nutrientes e na regulação hídrica. As práticas agrícolas afetam suas características, tornando a avaliação da qualidade do solo essencial para o manejo sustentável. Muitos métodos de análise são complexos e caros, mas a Cromatografia Pfeiffer se apresenta como uma alternativa acessível e eficaz para integrar dados sobre a saúde do solo. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade de solos sob diferentes usos e correlacionar os resultados com a análise por Cromatografia Pfeiffer. As amostras de solo foram coletadas em Rondônia e Cuiabá (mata nativa, horticultura e sistema agroflorestal) a uma profundidade de 20 cm. As análises incluíram parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os resultados mostraram que a textura dos solos variou entre areia franca e franco arenosa. O solo sob mata nativa apresentou melhor qualidade nutricional, com maior teor de Ca+Mg e baixos níveis de condutividade elétrica. Já o solo sob horticultura teve a maior umidade gravimétrica, enquanto o sistema agroflorestal destacou-se em matéria orgânica e estoque de carbono. Os cromatogramas indicaram que o solo sob mata nativa teve a melhor classificação visual, embora a respiração basal fosse menor em comparação ao solo do sistema agroflorestal. No geral, o estudo concluiu que a qualidade do solo varia conforme o uso, sendo a mata nativa a mais saudável, enquanto o sistema agroflorestal foi considerado de pior qualidade, segundo os indicadores analisados.

PALAVRAS-CHAVE: Cromatografia Pfeiffer, indicadores ambientais, qualidade do solo, sistema agroflorestal.

INTRODUÇÃO

O solo é um componente extremamente importante na manutenção do ecossistema, sendo este um importante componente nas interações bióticas e abióticas. Dentre as suas funções está a ciclagem de nutrientes, promove o crescimento vegetal (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007) e contribui na regulação hídrica do ambiente (SILVA et al, 2020).

As atividades agrícolas podem alterar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, desta forma, a avaliação da qualidade é essencial no monitoramento ambiental e, assim, contribui para o planejamento de práticas sustentáveis de manejo (CRUZ et. al, 2023). Porém, muitos desses métodos são custosos, requerem habilidades e conhecimentos, dependem de uma boa infraestrutura e equipamentos de apoio. É nesse sentido que a utilização de métodos mais acessíveis para analisar a qualidade do solo é muito importante, e isso também permite que famílias agricultoras sejam a ponte na construção desse processo. São essas pessoas que possuem o conhecimento das suas terras e as características daqueles solos (MELO et. al, 2019).

A Cromatografia Pfeiffer, método simples e prático, é uma ferramenta que permite a avaliação de forma integrada dos componentes do solo (COARACY et. al, 2019). Consiste num tipo de cromatografia circular de papel, um método físico de separação de diferentes componentes para caracterização de substâncias complexas, baseadas no princípio da retenção seletiva (PINHEIRO, 2015).

Agregando os indicadores convencionais de qualidade do solo a técnicas alternativas permite uma visão integrativa sobre a saúde do solo, a fim de interpretar as suas deficiências e fragilidades conjuntamente com as análises químicas.

OBJETIVOS

Avaliar a qualidade de solos sob diferentes usos utilizando indicadores ambientais físicos, químicos e biológicos, e sua correlação com a análise qualitativa por Cromatografia Pfeiffer.

METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido em três tipos de solos sob mata nativa, horticultura e sistema agroflorestal, que entre outras características apresentam diferentes tipos de manejo. A área do solo sob mata nativa se situa no município de Campo Novo de Rondônia, no estado de Rondônia, sem atividade antrópica. A área sob horticultura se situa na zona rural de Cuiabá, onde é exercido manejo constante de agricultura familiar com produção de hortaliças. Por fim, a área do solo sob sistema agroflorestal, também se situa na zona rural de Cuiabá, onde é exercido um manejo regular quinzenal, com objetivo de melhorar a qualidade natural do solo com práticas agroflorestais, ainda em fase de implementação.

Tabela 1. Identificação e localização das áreas dos diferentes tipos de solos. Fonte: Autores do Trabalho.

TRATAMENTO	BIOMA	ESTADO	MUNICÍPIO	LOCAL	DATA DA COLETA	MANEJO ANTRÓPICO
Mata nativa (Solo 1)	Amazônia	RO	Campo Novo de Rondônia	10°39'14"S 63°39'07"W	07/04/2024	Sem
Horticultura (Solo 2)	Cerrado	MT	Cuiabá	15°28'59"S 56°08'08"W	20/04/2024	Diário
SAF (Solo 3)	Cerrado	MT	Cuiabá	15°31'21"S 56°10'33"W	21/04/2024	Quinzenal



Figura 1: Áreas de coleta. Fonte: Autores do Trabalho.

A amostragem dos solos foi realizada na profundidade de aproximadamente 20 cm, com o auxílio do trado holandês. Para cada área foi amostrada uma quantidade suficiente de amostras simples em um balde, onde foram homogeneizadas e transferidas para sacos plásticos para compor as amostras compostas. As amostras destinadas às análises biológicas foram mantidas sob refrigeração, enquanto as destinadas às demais análises foram secas ao ar por 72 horas, peneiradas em malha 2,0 mm para obtenção da TFSA (terra fina seca ao ar). Todas as análises foram efetuadas no Laboratório de Solos do IFMT.



Figura 2: Detalhes das amostras de solos. Fonte: Autores do Trabalho.

As análises dos indicadores ambientais das amostras de solos foram divididas em químicas (pH em água e em KCl pelo método potenciométrico; carbono orgânico total pelo método da combustão em mufla; teor de cálcio e magnésio; acidez potencial do solo), físicas (análise granulométrica pelo método da pipeta; umidade gravimétrica; densidade do solo) e

biológicas (respiração basal do solo, estoque de carbono e matéria orgânica). Cada amostra foi analisada, em triplicata, de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2011) e do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC, 2009). Adicionalmente, foi realizada análise qualitativa da qualidade dos solos pela Cromatografia Circular de Pfeifer (CCP) segundo FORD et al. (2021). Para cada amostra de solo, foram preparados dois cromatogramas por CCP em papel filtro tipo Whatman nº 4, com 150 mm de diâmetro, impregnados com solução de nitrato de prata 0,5% (solução reveladora) e as amostras de solos extraídas em solução de NaOH 1% (solução extratora). Os cromatogramas foram analisados de forma qualitativa, onde foi observada a presença ou ausências das distintas zonas e suas interações e cores, o que indica quando existentes, o grau de atividade microbiana, aeração do solo, estrutura, diversidade mineral e a biodisponibilidade de nutrientes às plantas (PILON et al., 2018). Os cromatogramas também passaram por um diagnóstico quantitativo, utilizando critérios de interpretação onde se considera atributos relacionados à Integração, presença de Plumões, Picos e a Cor das zonas do cromatograma, resultando em uma nota de 1 a 5 (escores) para cada atributo, que somados deram a nota do cromatograma por solo.

Os resultados das análises e o escore total dos cromatogramas foram submetidos à análise estatística descritiva e à análise de correlação de Pearson e agrupamento hierárquico, ao nível de significância de 5%, utilizando o software Action (Estatcamp).

RESULTADOS

Os resultados das análises dos indicadores ambientais dos solos 1 (mata nativa), 2 (horticultura) e 3 (SAF) estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2. Resultados das análises físicas dos solos. Fonte: Autores do Trabalho.

SOLO	Classe textural	Ug %	Ds g.cm ⁻³
1 – MN	Areia franca	--	--
2 – HOR	Areia franca	31,15	0,97
3 – SAF	Franco arenosa	18,75	1,07

Tabela 3. Resultados das análises químicas dos solos. Fonte: Autores do Trabalho.

SOLO	pH H ₂ O	pH KCl	Al ⁺³ cmol/kg	H+Al cmol/kg	Ca+Mg cmol/kg	CE uS/cm	COT g/kg
1 – MN	6,16	4,50	0,29	2,89	16,05	15,00	25,8
2 – HOR	6,34	5,86	0,14	3,38	5,55	151,00	47,5
3 – SAF	6,99	6,61	0,34	0,83	9,95	121,00	59,0

Tabela 4. Resultados das análises biológicas dos solos. Fonte: Autores do Trabalho.

SOLO	MO %	EC Mg C/ha	RBS (mg C-CO ₂ / kg / h)
1 – MN	4,44	--	0,219
2 – HOR	8,19	92,42	0,161
3 – SAF	10,17	126,06	0,541

Nos três tratamentos estudados (Tabela 1), a classificação textural apresentou resultados bem similares, com o teor de areia variando entre 73% a 85%, caracterizando as amostras entre areia franca e franco arenosa.

Para os atributos físicos de umidade e densidade, não foi possível realizar a análise do solo sob mata nativa em Rondônia. Entre as amostras indeformadas coletadas na área rural de Cuiabá, apesar de ambas amostras apresentarem resultados acima do mínimo recomendado (UG > 10%), o solo sob horticultura apresentou melhores resultados na umidade gravimétrica com 31,15% contra 18,75% do solo sob SAF, possivelmente pela melhor distribuição, controle e aproveitamento da irrigação em solos com característica arenosa.

Para o parâmetro de densidade, ambas amostras apresentaram resultados médios similares, entre $0,97 \text{ g.cm}^{-3}$ a $1,07 \text{ g.cm}^{-3}$, onde é possível identificar que a estrutura dos solos não apresenta restrições para o crescimento do sistema radicular e desenvolvimento das plantas, com base no limite crítico de textura arenosa e teor de argila $< 20\%$ ($D_s > 1,65 \text{ g/cm}^3$).

Nas análises dos atributos químicos, o pH do solo em H_2O apresentou valores entre 6,16 mL e 6,99 mL, classificados como de Acidez fraca, conforme classificação de Thomé Jr (1997), sendo este nível de acidez considerado bom para o desenvolvimento das plantas. Os resultados do parâmetro de acidez trocável (Al^{+3}) demonstra que o solo sob Horticultura apresenta o menor valor, de $0,14 \text{ cmol/kg}$ (classificação = muito baixa) e os solos sob mata nativa e SAF apresentam valores entre $0,29 \text{ cmol/kg}$ e $0,34 \text{ cmol/kg}$, ambos considerados como baixo na classificação de acidez trocável. Na acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$) o solo sob SAF apresenta o menor valor, $0,83 \text{ cmol/kg}$ (classificação = muito baixa) e os solos de mata nativa e horticultura apresentam a classificação média, com os valores de $2,89 \text{ cmol/kg}$ e $3,38 \text{ cmol/kg}$, respectivamente.

É possível observar que o solo sob mata nativa possui uma concentração significativamente maior dos nutrientes $\text{Ca}+\text{Mg}$, $16,05 \text{ cmol/kg}$, com o solo sob SAF apresentando valor intermediário de $9,95 \text{ cmol/kg}$ e o solo sob horticultura com o menor índice, $5,55 \text{ cmol/kg}$. Esses nutrientes na mata nativa e no solo SAF provém da decomposição natural da matéria orgânica pela microbiota, enquanto que no solo sob horticultura pela adubação.

Os teores dos nutrientes nos solos apresentaram correlação significativa negativa com o pH ($r = -0,70$, $p < 0,05$), indicando que a retenção de cátions no solo é favorecida pelo pH mais elevado, uma vez que os sítios de troca não estão ocupados pelo H e Al em grande quantidade nesses solos.

A análise de condutividade elétrica do solo indica a presença de íons na solução do solo, e apresentou uma grande variação do solo de Rondônia para as amostras de solo da área rural de Cuiabá, possivelmente pelas diferentes condições climáticas, onde na mata nativa (15 uS/cm) a chuva é mais constante, a irrigar o solo, e nas áreas onde estão localizadas a horticultura (151 uS/cm) e o SAF (121 uS/cm) o período de seca é maior, se fazendo necessária a utilização de irrigação por poços artesianos, onde a água tem uma tendência natural de ser mais salina, influenciando desta forma os valores de condutividade elétrica.

Os resultados da análise de carbono orgânico total e matéria orgânica, os solos apresentaram a ordem decrescente sob manejo: SAF $>$ horticultura $>$ mata nativa. O solo sob SAF apresentou maiores valores possivelmente pela maior quantidade de matéria orgânica inserida neste sistema e pouco revolvimento do solo, sendo este mesmo fator, uma possível causa dos resultados obtidos na análise de estoque de carbono, com $126,06 \text{ Mg C/ha}$ para o SAF e $92,42 \text{ Mg C/ha}$ para a horticultura. Para o solo sob mata nativa não foi realizado o cálculo de estoque de carbono por não ter sido possível a realização da análise de densidade do solo.

A análise da respiração basal do solo (RBS) apresentou seu menor índice no solo sob horticultura com $0,161 \text{ mg C-CO}^2 / \text{kg} / \text{h}$, seguido pelo solo sob mata nativa com $0,219 \text{ mg C-CO}^2 / \text{kg} / \text{h}$. O solo sob SAF apresentou o maior índice com $0,541 \text{ mg C-CO}^2 / \text{kg} / \text{h}$. A respiração basal do solo indica a atividade da biomassa microbiana, e no caso do solo sob SAF, a diversidade e quantidade de material orgânico decomponível corrobora seu maior valor entre os solos amostrados. No solo sob horticultura, a RBS é afetada pelo manejo, o que pode impactar a atividade da microbiota do solo, diminuindo o seu valor.

O pH dos solos apresentou correlação significativa com os indicadores biológicos MO, COT e RBS ($r = 0,88$, $0,99$ e $0,94$, $p < 0,01$), indicando que em valores maiores de pH a microbiota do solo e a dinâmica da matéria orgânica são favorecidos, como demonstrado no solo sob SAF (pH em água = 6,99 e pH em KCl = 6,61, Tabela 3).

Os cromatogramas obtidos dos solos das áreas em estudo são apresentados na figura 3.

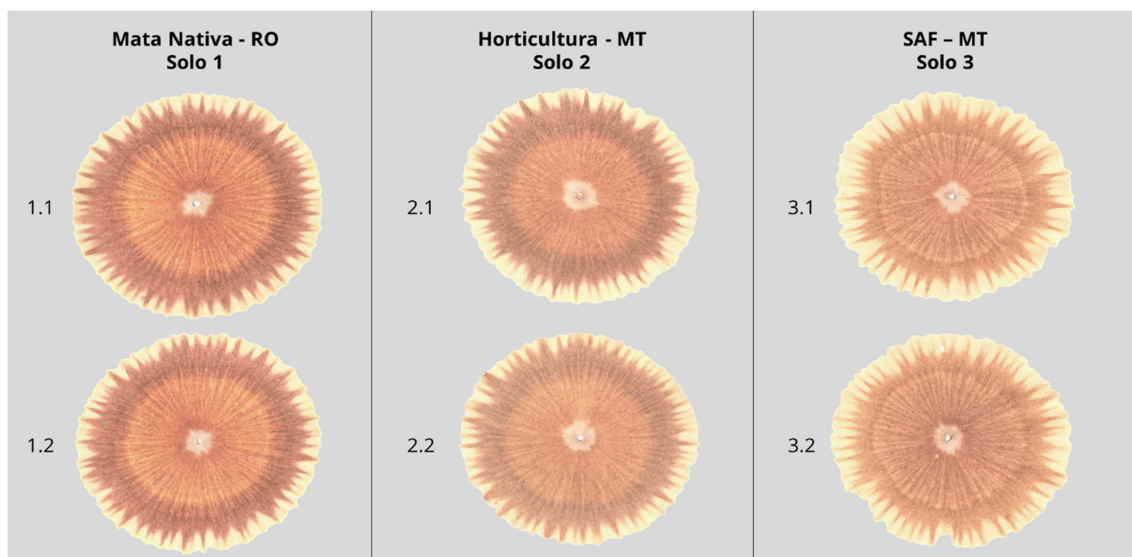
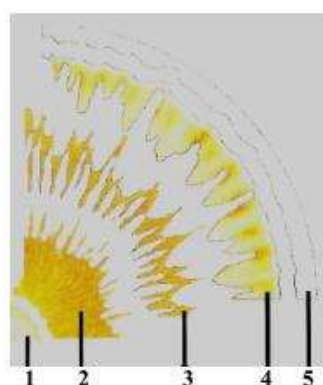


Figura 3: Cromatogramas em duplicatas dos solos. Fonte: Autores do Trabalho.

A interpretação dos cromatogramas seguiu o Guia prático de Cromatografia Pfeiffer da Embrapa (PILON et. al, 2018), conforme figura 4.



1. Zona central: zona da atividade mineral, processos de mineralização, oxigenação e sistema poroso do solo.
2. Zona interna: zona da química do solo. Relaciona-se com atividade microbiológica (fungos e bactérias); observa-se aqui também a textura do solo e propriedades da argila.
3. Zona intermediária: zona da matéria orgânica do solo. Refere-se também à zona da fauna do solo.
4. Zona externa: zona do alimento potencial do solo, também zona do húmus disponível e atividade enzimática/microbiológica.
5. Borda externa: zona de manipulação e identificação do cromatograma. Região não atingida pelas soluções reagentes.

Figura 4: Zonas de interpretação dos cromatogramas. Fonte: Pilon et. al, 2018.

A caracterização dos padrões visuais foi realizada conforme a Figura 4. Para análise visual foram estabelecidos escores de 1 a 5, em que valores próximos a 1 inferem sobre padrões inferiores do solo, e valores próximos a 5 padrões superiores do solo. De uma forma geral, os cromatogramas obtidos dos três tratamentos apresentaram aspectos similares, principalmente entre os solos sob horticultura e SAF, considerando que estão localizados em áreas próximas e que ambas se utilizam de práticas conservacionistas do solo. Através da interpretação conforme o Guia prático de Cromatografia Pfeiffer da Embrapa (PILON et al., 2018), foi possível diferenciar a qualidade dos solos pelos indicadores analisados e cromatogramas obtidos, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultado da interpretação dos cromatogramas. Fonte: Autores do Trabalho.

CARACTERÍSTICAS	MATA NATIVA <i>Solo 1</i>	HORTICULTURA <i>Solo 2</i>	SAF <i>Solo 3</i>
Integração entre zonas	4	4	3
Plumas	4	3	3
Picos	3	3	3
Cor	4	3	3
Total combinado	15	13	12

O solo sob mata nativa apresentou maior escore na CCP, seguido do solo sob horticultura e SAF. Isso pode ser explicado pelos critérios cor, integração e presença de plumas no cromatograma, que indicam maior atividade da microbiota e de enzimas.

Todas as amostras de solo apresentaram zona central de cor clara nos seus cromatogramas, e a coloração bege clara da zona central indica bom metabolismo microbiano aeróbico. Como a textura dos solos foi predominantemente arenosa, os solos possuem boa aeração e porosidade, refletindo na cor dessa zona.

A zona interna indica a capacidade de retenção de ar e umidade do solo, e a presença de linhas radiais claras indicam solo não compactado. Todas as amostras apresentam essas características, uma vez que não há ação antrópica nesses solos.

A zona intermediária deve ser integrada à zona interna e externa do cromatograma, e espinhosa e suficientemente larga para expressar a matéria orgânica do solo. Nenhuma amostra de solo apresentou integração total entre as zonas, sendo o solo sob SAF observada uma linha delimitadora entre as zonas.

A zona externa ilustra a presença de húmus disponível e a atividade enzimática e biológica do solo, com substâncias de maior peso molecular (proteínas, enzimas, substâncias húmicas). A presença de manchas de cor marrom escura e formas irregulares no término do cromatograma indica atividade enzimática no solo, consequência da intensa atividade biológica no solo e disponibilidade de nutrientes. Nos solos sob mata nativa e horticultura observou-se a presença da cor mais escura na zona externa, aumentando o escore desse critério.

Ao realizar a análise de agrupamento hierárquico utilizando os resultados das análises químicas, físicas e biológicas e os escores da CCP, observou-se que o solo manejado com horticultura e SAF formaram um grupo separado do solo sob mata nativa, indicando que seus indicadores ambientais e a CCP foram similares (Figura 5).

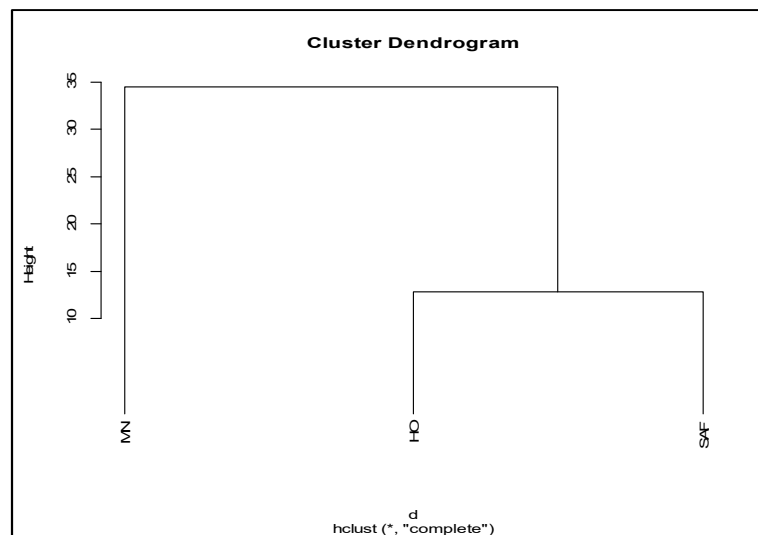


Figura 5: Dendrograma das variáveis químicas, físicas e biológicas e os escores da CCP dos solos em estudo (MN: mata nativa; HO: horticultura; SAF: sistema agroflorestal). Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

Através deste estudo foi possível diferenciar a qualidade dos solos pelos indicadores analisados e cromatogramas obtidos.

O solo que apresentou a melhor qualidade foi sob mata nativa, nutricionalmente considerando o maior valor de Ca+Mg, nutrientes essenciais ao desenvolvimento de plantas. Em relação aos valores de matéria orgânica e respiração basal do solo, apesar de não apresentar os maiores índices entre as áreas comparadas, este solo apresenta níveis considerados de boa qualidade. Na análise de cromatografia, o solo sob mata nativa foi que acumulou maior número de escores para análise e descrição visual.

O solo sob horticultura e sistema agroflorestal apresentaram valores próximos, com menores teores de nutrientes minerais (Ca+Mg), porém com pH mais elevado e melhores indicadores biológicos, tais como matéria orgânica e respiração basal do solo elevados, representando assim um grupo isolado na análise de agrupamento hierárquico.

Conclui-se que os indicadores biológicos (MO e RBS) e químicos (Ca+Mg e pH) determinaram as diferenças entre os solos, e foi corroborado pela análise qualitativa e quantitativa pela Cromatografia Circular de Pfeiffer, sendo possível interpretar a saúde e a qualidade ambiental de solos sob diferentes manejos utilizando análises químicas aliadas à essa ferramenta qualitativa, de baixo custo, porém com validação estatística comprovada por este estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
2. COARACY, T. N.; MELO, D. M. A.; ALMEIDA, G. C.; GIOVANNINI, L. F.; DINIZ, B. L. M. T. Qualidade do solo em uma área agrícola experimental através da Cromatografia de Pfeiffer. **Revista Verde**, Pombal, v. 14, n.5 (Edição Especial), p.678-682, 2019.
3. CRUZ, S. N. *et al.* Qualidade do solo estimada por técnica de baixo custo: cromatografia de Pfeiffer como ferramenta de avaliação agrícola e ambiental de solos na agricultura familiar. **Revista Valore**, Volta Redonda, v. 8 (Edição Especial), p. 85 - 102, 2023.
4. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Embrapa Solos 3 ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 230 p, 2011.
5. FORD, B. M. et al. **Paper chromatography**: An inconsistent tool for assessing soil health. *Geoderma*, v. 383, 2021.
6. MELO, D. M. A.; SILVA, W. A. O.; REIS, E. F.; RODRIGUES, G. T.; SILVA, G. J.; ARAÚJO, A. E. Qualidade do solo através da Cromatografia de Pfeiffer de um agroecossistema em transição agroecológica no Brejo paraibano. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n.7, 2019. Disponível em <<https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/CVADS/article/view/7052/7046>>. Acesso em: 03 ago. 2024.
7. MENDES, I. C., SOUSA, D. M. G., DANTAS, O. D., LOPES, A. A. D. C., REIS JUNIOR, F. B. D., OLIVEIRA, M. I., CHAER, G. M. Soil quality and grain yield: A win-win combination in clayey tropical Oxisols. **Geoderma**, v. 388, 2021.
8. MENDES, I. D. C., SOUZA, L. M. D., SOUSA, D. M. G., LOPES, A. A. D. C., REIS JUNIOR, F. B. D., LACERDA, M. P. C., MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology** 139, 85-93, 2019.
9. PFEIFFER, E. **Chromatography Applied to Quality Testing: The Art and Science of Composting**. Bio-Dynamic Literature, 1980. 44p.
10. PILON, L. C.; CARDOSO, J. H.; MEDEIROS, F. S. **Guia Prático de Cromatografia de Pfeiffer**. Embrapa Clima Temperado. Documentos 455. Pelotas, 2018.
11. RAZERA, R. Avaliação da qualidade do solo em manejo agroflorestal utilizando a cromatografia circular de Pfeiffer e indicadores microbiológicos. **Trabalho de conclusão de curso**: Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, 2021.
12. RIVERA, J. R.; PINHEIRO, S. **Cromatografía: imágenes de vida y destrucción del suelo**. Cali: Feriva, 2011. 252 p.
13. SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p.47838 - 47855, jul. 2020.