

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E HORTALIÇAS EM HORTAS CULTIVADAS POR AGRICULTORES LOCALIZADAS NA UFRB

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.XI-033>

Beatriz Santana Sampaio (*), Cauã Matos Miranda da Silva, Erlan Aragão Pacheco, Toshik Iarley da Silva, Sirlene Barbosa Lima

* Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Graduação em Bacharelado Interdisciplinar em Ciências Ambientais, e-mail: beatrizsampaio@aluno.ufrb.edu.br

RESUMO

Este trabalho avaliou a qualidade do solo e das hortaliças cultivadas por agricultores na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em Cruz das Almas – BA, por meio das técnicas de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e fluorescência de raios X (XRF). As amostras de solo foram coletadas ao redor de uma lagoa utilizada para irrigação, e as hortaliças analisadas incluíram rúcula, coentro, manjerição, alface, cebolinha e couve. A análise por FTIR revelou a presença de bandas características de minerais de argila, como caulinita e ilita, e grupos funcionais associados a compostos orgânicos e fenólicos. Os resultados de XRF (Figura 04) mostraram composição elementar variada, com destaque para SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e P_2O_5 , indicando solos ricos em silicatos e com potencial de acúmulo de nutrientes. As hortaliças apresentaram variação nos teores de macro e micronutrientes, sugerindo bioacumulação diferenciada conforme a espécie vegetal. Os resultados reforçam a importância do monitoramento químico de solos e alimentos, a fim de garantir a sustentabilidade agrícola e a segurança alimentar.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade do solo, hortaliças, FTIR, XRF, bioacumulação.

INTRODUÇÃO

A qualidade ambiental dos sistemas agrícolas é um fator essencial para a produção de alimentos seguros e sustentáveis. A intensificação das atividades agrícolas, aliada ao uso de insumos químicos e à expansão de áreas cultivadas próximas a corpos hídricos, tem gerado preocupações crescentes acerca da contaminação de solos e vegetais, especialmente em sistemas de produção irrigada (KABATA-PENDIAS, 2011). Cui *et al.* (2023) reforçam essa preocupação ao demonstrarem que hortaliças cultivadas em áreas agrícolas próximas a regiões mineradoras podem acumular metais pesados, como cádmio e chumbo, representando riscos à saúde humana.

O solo atua como um compartimento fundamental na dinâmica dos ecossistemas, sendo responsável por sustentar a produtividade vegetal, regular o ciclo de nutrientes e armazenar água. No entanto, a presença de elementos-traço e compostos potencialmente tóxicos pode comprometer sua qualidade, afetando diretamente a segurança alimentar e a saúde humana (MARSCHNER, 2012).

No contexto da agricultura familiar, como a praticada na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), a proximidade entre áreas de cultivo e corpos d'água, aliada ao uso de fontes superficiais para irrigação, pode favorecer o acúmulo de nutrientes e metais no solo e nas hortaliças. Essa realidade torna indispensável o monitoramento ambiental por meio de técnicas analíticas capazes de identificar a composição química e as possíveis contaminações (MADEJOVÁ, 2003).

Dentre essas técnicas, destacam-se a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), que permite identificar grupos funcionais e compostos orgânicos no solo e nos vegetais, e a fluorescência de raios X (XRF), que fornece informações sobre a composição elementar e os teores de óxidos metálicos presentes nas amostras (PIRIE *et al.*, 2005; SPENCE & KELLEHER, 2012). De acordo com Nguyen *et al.* (2023), o uso da técnica de XRF é eficaz para determinar metais no solo e correlacionar sua presença com o teor de compostos bioativos em plantas alimentares, evidenciando sua aplicabilidade no monitoramento ambiental.

Além disso, estudos recentes, como os de Ribeiro *et al.* (2024), têm utilizado a EDXRF para prever parâmetros de fertilidade do solo com alta precisão, reforçando a relevância dessas ferramentas para a agricultura de precisão.

O estudo da composição química do solo e das hortaliças é essencial para compreender os processos de bioacumulação de elementos essenciais e tóxicos. Elementos como cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K) são indispensáveis ao crescimento vegetal, enquanto outros, como cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn), atuam como micronutrientes em baixas concentrações (MARSCHNER, 2012). Entretanto, níveis elevados desses ou de outros elementos-traço, como chumbo (Pb), cádmio (Cd) e cromo (Cr), podem representar riscos ambientais e sanitários (KABATA-PENDIAS, 2011).

Nesse contexto, torna-se relevante a aplicação de análises espectroscópicas para identificar as características químicas do solo e avaliar a qualidade das hortaliças produzidas em sistemas agrícolas irrigados. A utilização de FTIR possibilita

detectar a presença de compostos orgânicos, minerais de argila e grupos funcionais associados a nutrientes, enquanto a XRF permite quantificar elementos e óxidos metálicos, fornecendo subsídios para a avaliação da fertilidade e de possíveis contaminações (LI *et al.*, 2023; MIRABDOLAFZALI *et al.*, 2022).

A região do Recôncavo Baiano, onde se localiza a UFRB, caracteriza-se por elevada atividade agrícola e uso de recursos naturais para irrigação, o que demanda práticas de manejo sustentável e controle ambiental contínuo. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade do solo e das hortaliças cultivadas por agricultores locais, por meio das técnicas de FTIR e XRF, com vistas à identificação de grupos funcionais, composição mineralógica e perfil elementar, buscando compreender possíveis riscos à saúde e ao meio ambiente.

OBJETIVO

Avaliar a qualidade, do solo e das hortaliças cultivadas por agricultores no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), por meio de análises espectroscópicas (FTIR e XRF), visando identificar possíveis riscos ambientais e à saúde.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado no campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em Cruz das Almas, BA, onde pequenos agricultores cultivam hortaliças irrigadas com água proveniente de uma lagoa localizada dentro da instituição. No dia 2 de abril de 2025, foram coletadas amostras de solo na área de plantio e ao redor da lagoa, além de hortaliças em diferentes pontos da área cultivada, conforme indicado na Figura 1. Este estudo faz parte das atividades do componente curricular Técnicas de Análises Ambientais.



Figura 1: Representação dos pontos de coleta das amostras de solo e hortaliças realizadas neste estudo. Fonte: Autores, 2025.

As amostras de solo foram coletadas em diferentes pontos ao redor da lagoa e na área de cultivo. A coleta foi realizada com um auxílio de uma pá de polietileno previamente esterilizada. As amostras foram acondicionadas individualmente em sacos plásticos, devidamente rotulados com identificação dos pontos da coleta. Em seguida, as amostras foram transportadas ao laboratório para o devido tratamento e análise. As amostras de solos foram submetidas à secagem em estufa, modelo ACB da marca Labor, a uma temperatura de 100°C, por 24 h. Após a secagem as amostras foram peneiradas em 100 mesh. As frações obtidas foram acondicionadas em potes plásticos previamente higienizados, rotulados e submetidas à caracterização por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e fluorescência de raios X (FRX).

As amostras de hortaliças foram obtidas em uma horta localizada na área de influência de uma lagoa utilizada como fonte de irrigação. Foram adquiridas seis espécies: rúcula (*Eruca sativa*), coentro (*Coriandrum sativum*), manjerição (*Ocimum basilicum*), alface (*Lactuca sativa*), cebolinha (*Allium fistulosum*) e couve (*Brassica oleracea*). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas ao laboratório para posterior tratamento prévio e análises. No laboratório, foram selecionadas apenas as folhas dos vegetais para análise. As folhas de cada espécie foram acondicionadas em sacos de tecido tipo tule, devidamente rotuladas, e congeladas a -50 °C para preservar suas propriedades bioquímicas até o processamento. Na etapa seguinte, as amostras foram submetidas à liofilização em equipamento da marca ACB Labor, por um período de 24 horas a -40 °C sob vácuo, visando à remoção da umidade sem degradação térmica do material vegetal. Após a liofilização, o material foi macerado até a obtenção de um pó homogêneo. As amostras secas foram, então, submetidas às análises de FTIR e FRX.

RESULTADOS

A Figura 2 ilustra os espectros obtidos por FTIR das amostras de solo, permitindo a identificação dos principais grupos funcionais presentes nos materiais analisados.

Observa-se a presença de diversas bandas características associadas à composição química dos solos das amostras P1, P2, P3 e P4. As bandas mais intensas situadas na região de 3700 a 3400 cm^{-1} são atribuídas às vibrações de estiramento da ligação O–H, típicas de hidroxilas presentes em argilas e de água fisissorvida (MADEJOVÁ, 2003). É verificado também uma banda em torno de 1645 cm^{-1} atribuída à deformação angular da molécula de água (O–H). Uma das bandas mais significativas aparece entre 1040 e 1010 cm^{-1} , características das vibrações de estiramento assimétrico Si–O–Si e Si–O–Al, presentes em minerais silicatos, especialmente nas argilas (MADEJOVÁ, 2003). Essa banda foi intensa em todas as amostras, sugerindo elevada presença de quartzo e minerais ricos em argila.

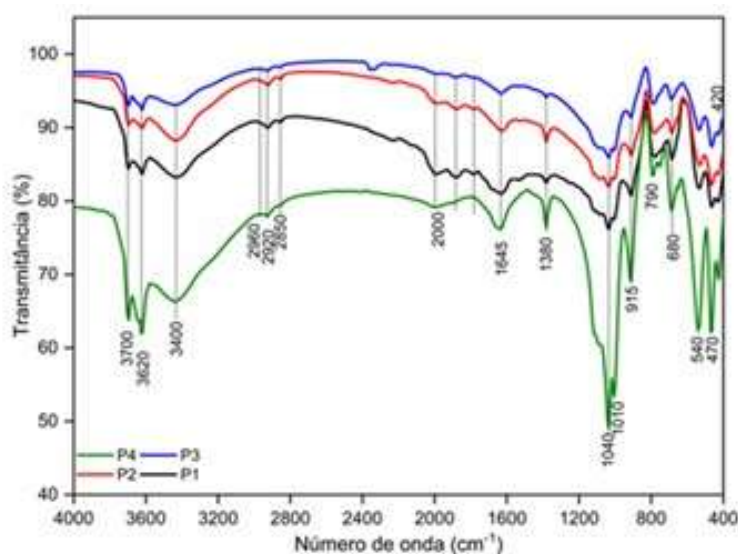


Figura 2: Espectros de FTIR das amostras de solos coletadas. Fonte: Autores, 2025.

As bandas em 915 , 790 e 690 cm^{-1} são atribuídas a vibrações das ligações Al–OH e deformações estruturais Si–O, indicando a presença de minerais como caulinita e ilita. A composição do solo em argilominerais foi reforçada pela presença das bandas em 540 e 470 cm^{-1} , relacionados às vibrações de ligações Al–O e Si–O em estruturas octaédricas e tetraédricas (PIRIE *et al.*, 2005; SPENCE e KELLEHER, 2012).

Na Figura 3, estão apresentados os espectros de FTIR das hortaliças coletadas. De modo geral, os espectros evidenciam grupos funcionais semelhantes nas hortaliças.

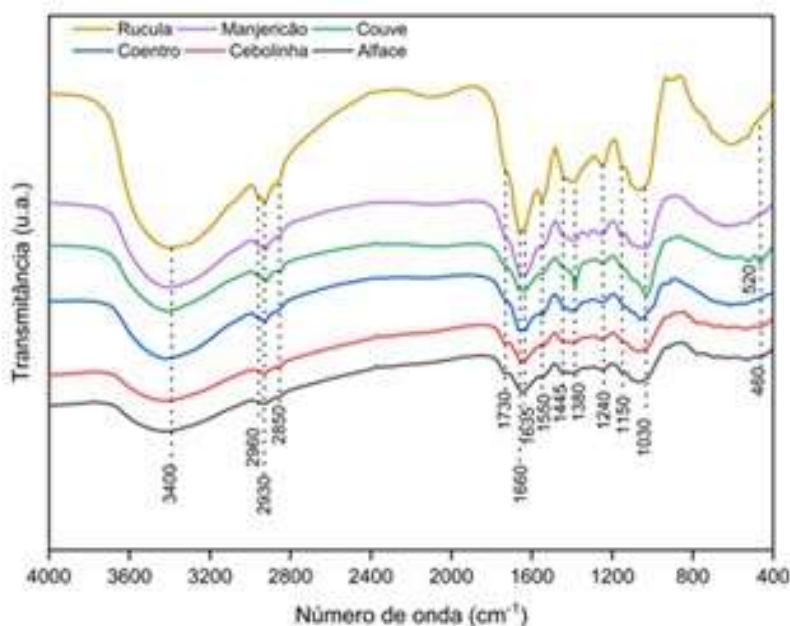


Figura 3: Resultados da análise por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) das hortaliças coletadas no estudo. Fonte: Autores, 2025.

Em todos os espectros é verificada bandas em torno de 3400 cm^{-1} , atribuída à vibração de estiramento da ligação O–H, típica de grupos hidroxila de compostos fenólicos, álcoois e água associada (LI *et al.*, 2023). Bandas entre $2930\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ de vibrações de estiramento assimétrico e simétrico de ligações C–H, de compostos lipídicos e cadeias alifáticas. Na região de 1730 cm^{-1} , existe uma banda, associada ao estiramento da ligação C=O de ésteres e ácidos carboxílicos, componentes de lipídios e pectinas. As bandas em 1545 cm^{-1} e 1450 cm^{-1} estão relacionadas às vibrações N–H e C–N o que reforça a presença de compostos nitrogenados como proteínas (MIRABDOLAFZALI *et al.*, 2022). Entre 1200 a 1000 cm^{-1} , é verificado um conjunto de bandas relacionadas às vibrações de estiramento C–O e C–C, típicas de carboidratos, como celulose, hemicelulose e pectinas. Por outro lado, bandas entre 600 e 400 cm^{-1} são atribuídas a vibrações de deformação fora do plano, envolvendo ligações O–H relacionados à compostos fenólicos.

A Figura 4 apresenta o perfil elementar obtido por meio da análise de XRF das amostras de solo coletadas no entorno da lagoa e na área de cultivo. Observa-se a predominância de óxidos de silício (SiO_2) e alumínio (Al_2O_3), componentes majoritários em solos minerais, especialmente aqueles com elevada fração de argila e presença de minerais como caulinita e ilita (MADEJOVÁ, 2003; SPENCE & KELLEHER, 2012). A presença significativa de Fe_2O_3 sugere contribuição de minerais ferrosos, como hematita ou goethita, que influenciam na cor e na capacidade de adsorção de contaminantes do solo (PIRIE *et al.*, 2005).

Elementos como K_2O , MgO e CaO também foram detectados, evidenciando boa disponibilidade de macronutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal. Entretanto, a presença de elementos-traço como Zr, ainda que em concentrações reduzidas, sugere a necessidade de atenção, pois o acúmulo contínuo pode levar a contaminações que afetam a qualidade do solo e dos alimentos produzidos (KABATA-PENDIAS, 2011).

Esses resultados apontam que o solo da área estudada apresenta composição favorável ao cultivo agrícola, mas a presença de óxidos metálicos e elementos-traço requer monitoramento contínuo para evitar riscos ambientais e sanitários.

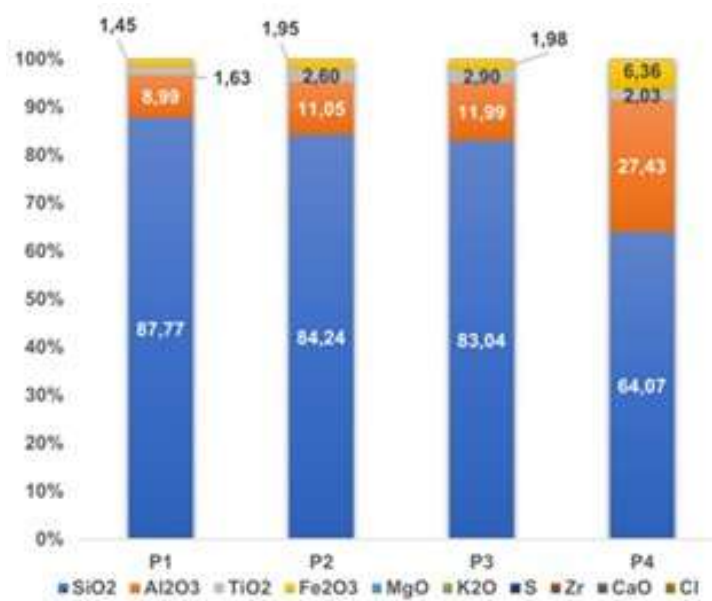


Figura 4: Perfil elementar obtido por meio de análise de XRF de amostras de solos coletadas durante o estudo. Fonte: Autores, 2025.

A Figura 5 exhibe a distribuição percentual de elementos químicos e óxidos em amostras das hortaliças (rúcula, coentro, manjerição, alface, couve). Os resultados revelam informações importantes sobre a bioacumulação de nutrientes e elementos-traço pelas plantas.

De modo geral, observa-se que as hortaliças apresentam distintos padrões de bioacumulação dos elementos analisados, refletindo tanto as características fisiológicas de cada espécie quanto a disponibilidade de nutrientes no solo e na água de irrigação. Os óxidos de potássio (K_2O), enxofre (S) e fósforo (P_2O_5) apresentaram maiores percentuais nas amostras de alface e couve, indicando a maior capacidade dessas espécies em absorver e acumular nutrientes essenciais ao crescimento e ao metabolismo energético das plantas. Já os percentuais de CaO e MgO foram mais expressivos nas amostras de rúcula e couve, sugerindo maior demanda metabólica desses elementos, que participam da fotossíntese, da formação da parede celular e da regulação iônica (MARSCHNER, 2012).

O teor de Al_2O_3 foi mais elevado na amostra de alface e relativamente baixo nas demais espécies, indicando absorção limitada de alumínio, condição desejável, uma vez que concentrações elevadas podem refletir contaminação do solo. Micronutrientes como zinco (Zn) e manganês (Mn) apresentaram valores significativos em couve e alface, evidenciando boa capacidade de absorção desses elementos, essenciais para funções enzimáticas e mecanismos antioxidantes nas plantas (KABATA-PENDIAS, 2011). Entre as hortaliças analisadas, coentro, couve e manjeriço apresentaram os menores teores de metais.

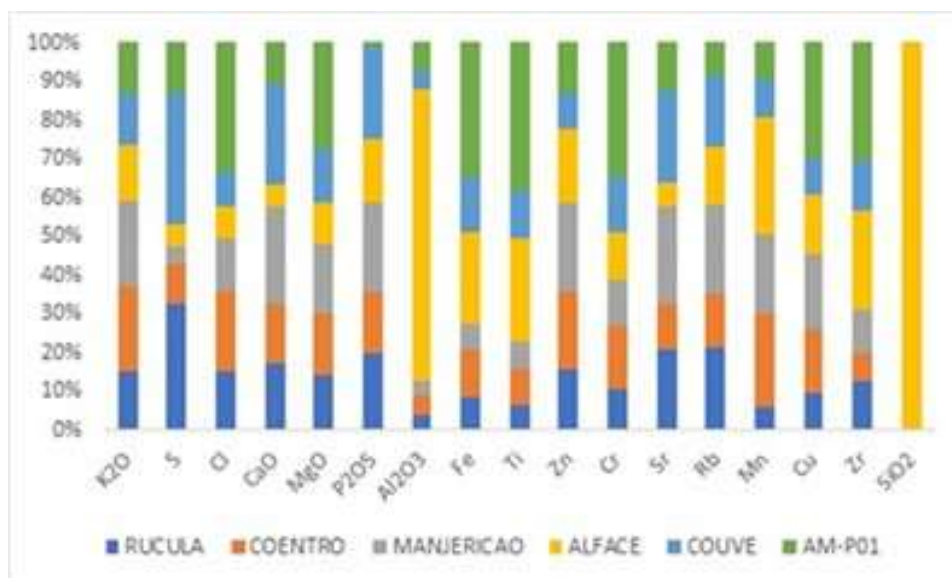


Figura 5: Perfil elementar obtido por meio de análise de XRF das hortaliças coletadas durante o estudo. Fonte: Autores, 2025.

O cobre (Cu) e o cromo (Cr) ocorreram em baixas concentrações em todas as espécies, indicando ausência de contaminação relevante por metais pesados. Elementos como rubídio (Rb), titânio (Ti), estrôncio (Sr) e zircônio (Zr) estiveram presentes em proporções menores e variáveis, refletindo a absorção natural de traços do solo, sem indícios de bioacúmulo significativo.

A combinação das técnicas de FTIR e XRF mostrou-se eficaz para caracterizar a composição química e mineralógica do solo e das hortaliças, fornecendo informações relevantes para o manejo agrícola sustentável.

CONCLUSÃO

A avaliação da qualidade do solo e das hortaliças cultivadas na UFRB evidenciou um ambiente agrícola com boa disponibilidade de nutrientes essenciais, porém com potencial de acúmulo de elementos-traço que demandam monitoramento. As análises por FTIR identificaram grupos funcionais associados a compostos orgânicos e minerais de argila, enquanto os resultados de XRF revelaram altos teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e P_2O_5 , refletindo a composição natural do solo e possíveis influências de práticas agrícolas. As hortaliças analisadas apresentaram bioacumulação variável de macro e micronutrientes, indicando absorção seletiva conforme a espécie vegetal. A presença de elementos-traço, mesmo em baixas concentrações, reforça a importância de programas de controle ambiental e de qualidade, garantindo a segurança alimentar e a sustentabilidade dos sistemas de produção. Recomenda-se a continuidade das análises e o uso de técnicas complementares para uma avaliação mais abrangente da contaminação e fertilidade do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CUI, S.; Wang, Z.; LI, X.; et al. comprehensive assessment of heavy metal(loid) contamination in leafy vegetables grown in two mining areas in Yunnan, China, a focus on bioaccumulation of cadmium in Malabar spinach. **Environmental Science and Pollution Research**, 30, 14959-14974, 2023.
2. KABATA-PENDIAS, A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. **CRC Press**, 2011.
3. LI, Y. et al. ATR-FTIR spectroscopy for rapid detection of phenolic compounds in leafy vegetables. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 304, 122037, 2023.
4. MADEJOVÁ, J. FTIR techniques in clay mineral studies. **Vibrational Spectroscopy**, v. 31, p. 1–10, 2003.
5. MARSCHNER, P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3. ed. Londres: Academic Press, 2012.
6. MIRABDOLAFZALI, M. et al. Application of infrared spectroscopy to assess protein structures in green leafy vegetables. **Food Analytical Methods**, v. 15, p. 1005–1015, 2022.

7. NGUYÊN, H. M.; HUYNH, N. T. K.; HA, L. T.; et al. Utilizing X-ray fluorescence (XRF) method to evaluate the content of metal elements in soil and their effects on the total phenolic and flavonoid contents of some medicinal plants. **Environmental Monitoring and Assessment**, 195:963, 2023.
8. PIRIE, A.; SINGH, B. & ISLAM, K. Ultra-violet, visible, nearinfrared, and mid-infrared diffuse reflectance spectroscopic techniques to predict several soil properties. **Austr. J. Soil. Res.**, 43:713-721, 2005.
9. RIBEIRO, J. V.; DOS SANTOS, F. R.; ALVES, J. V. DE O.; FOSSALUZA, M. S.; NOGUEIRA, I. M.; DE OLIVEIRA, J. F.; MELQUIADES, F. L. EDXRF and Machine Learning for Predicting Soil Fertility Attributes. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 45, e51475, 2024.
10. SPENCE, A.; KELLEHER, B. P. FT-IR spectroscopic analysis of kaolinite-microbial interactions. **Vibrational Spectroscopy**, v. 61, p. 151–155, 2012.