# FITORREMEDIAÇÃO NO CONTROLE DE SOLOS CONTAMINADOS COM AGROTÓXICOS

**Emily Silva Lemes, Maria Regina de Aquino Silva.**

Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, emilylemes@outlook.com, mregina@univap.br.

**Resumo**

O presente estudo objetivou avaliar o potencial de fitorremediação da espécie *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco) no tratamento de solos contaminados com o herbicida glifosato. A metodologia consistiu no plantio em condições controladas com aplicação de glifosato diluído, utilizando-se a espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier para análise de solo e fitológico. Os resultados obtidos via FTIR revelaram a presença de grupos funcionais característicos do glifosato nos tecidos vegetais, especialmente nas sementes, confirmando a capacidade da planta de absorver e acumular o contaminante. Além disso, observaram-se indícios da degradação do herbicida em seu metabolito AMPA no solo. A *C. ensiformis* apresenta potencial promissor para a remediação ambiental, embora a persistência de resíduos nos tecidos vegetais exija cautela devido ao risco de entrada na cadeia alimentar, reforçando a necessidade de controle rigoroso e monitoramento do uso de herbicidas.

Palavras-chave: Fitorremediação. Glifosato. *Canavalia ensiformis*. Solo.

## Introdução

O solo é um recurso natural essencial para a manutenção dos ecossistemas, para a produção de alimentos e para a conservação da biodiversidade. Seu equilíbrio depende da interação entre componentes minerais, matéria orgânica, água, ar e uma grande diversidade de organismos presentes. Para Primavesi (2002), o solo deve ser compreendido como um sistema vivo, cuja conservação depende da manutenção de sua atividade biológica e do equilíbrio entre seus diferentes componentes.

O uso intensivo e inadequado de agrotóxicos pode comprometer o equilíbrio provocando alterações nas propriedades do solo e afetando organismos importantes para o funcionamento desses ecossistemas. Além disso, determinados contaminantes podem permanecer no ambiente, ser transportados pela água podendo alcançar outros sistemas e organismos por meio da cadeia alimentar (FRAZER et al., 2026).

Entre os agrotóxicos utilizados na agricultura, destaca-se o glifosato, um herbicida sistêmico e não seletivo amplamente empregado no controle de plantas espontâneas. Sua ação ocorre por meio da inibição da enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), interferindo na síntese de compostos essenciais ao desenvolvimento vegetal. Após a aplicação, o composto pode ser absorvido pelas folhas e transportado para diferentes regiões da planta, especialmente aquelas associadas ao crescimento e armazenamento (HENDERSON, 2019; MONQUERO et al., 2004).

A fitorremediação apresenta-se como uma alternativa baseada na natureza para a recuperação de áreas contaminadas, por meios do manejo sustentável, especialmente por utilizar processos naturais e apresentar potencial para a recuperação ambiental com menor impacto. Adicionalmente a utilização de vegetação pode favorecer a cobertura do solo, reduzir processos erosivos e criar condições para a recuperação das funções ecológicas do ambiente.

Para a avaliação dos processos relacionados à presença e à transformação de compostos no solo, técnicas analíticas como a espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) apresentam potencial de aplicação, configurando como uma importante ferramenta para caracterização química do solo. Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de fitorremediação de feijão de porco no tratamento de solos contaminados com o pesticida Glifosato.

**Metodologia**

Foram estabelecidos dois grupos experimentais: grupo controle (sem adição de glifosato) e grupo experimental (com glifosato), ambos mantidos em condições ambientais naturais. Cada sistema utilizado apresentou 1m de diâmetro e 0,60m de profundidade, sendo preenchidos com substrato orgânico fornecido pela Organe-se ®. Foram selecionadas quatro mudas de feijão de porco, sendo destinadas duas para cada grupo. Após o período de adaptação das plantas, realizou-se a aplicação controlada do herbicida glifosato no grupo experimental, utilizando-se 1 ml do produto diluído em 2 L de água, enquanto o grupo controle não recebeu a aplicação do herbicida.

Durante o experimento, as plantas foram monitoradas observando-se seu desenvolvimento e possíveis alterações decorrentes da exposição ao herbicida. Ao atingirem o estágio reprodutivo, caracterizado pela presença de flores, vagens e frutos, foram coletados amostras de solo, folhas e sementes dos dois sistemas de cultivo (pool) para análise via FTIR.

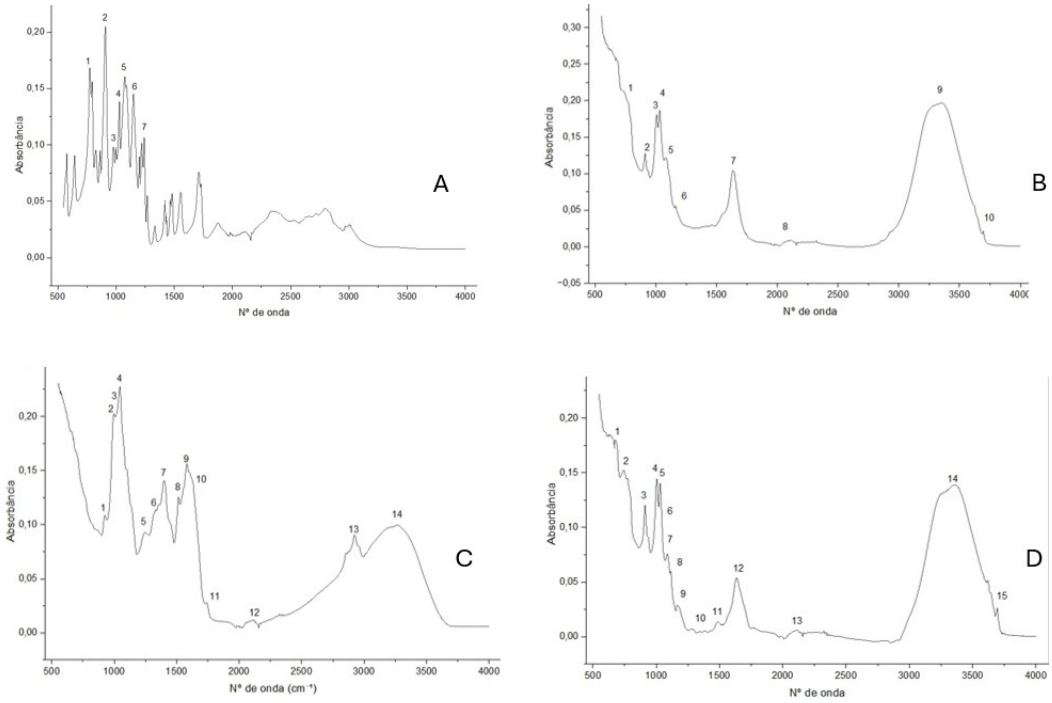
As amostras foram secas em estufa a 60 °C e submetidas ao tratamento com nitrogênio líquido para redução do tamanho das partículas. Em seguida, foram analisadas por FTIR no Instituto de pesquisas e desenvolvimento (IP&D), localizado na Universidade do Vale do Paraiba (UNIVAP), conforme metodologia adaptada de Banhara *et al.* (2022). Os espectros obtidos foram processados pelo programa Spectragryph 1.2, permitindo a representação gráfica e a identificação das principais bandas de absorção. A identificação dos compostos foi realizada com auxílio de bancos de dados espectroscópicos e de informações disponíveis na literatura científica. Para cada amostra foram realizadas 16 leituras, obtendo-se os espectros de cada uma, as quais foram comparadas com o

composto controle (glifosato), onde foram consideradas as bandas típicas de seus principais grupos funcionais: grupos fosfônico, amina e carboxílico. As amostras de material vegetal e solo também foram analisadas para verificar a ocorrência de bandas compatíveis com essas estruturas químicas.

**Resultados**

O gráfico 1 apresenta os espectros obtidos via FTIR para as amostras do contaminante glifosato, solo controle, tecidos vegetais e solo contaminado.

Gráfico 1: Espectros obtidos via FTIR para glifosato (A), solo controle (B), tecido vegetal (C) e solo contaminado




Fonte: A autora (2026)

As atribuições referentes aos grupos funcionais verificados para cada amostra analisada são apresentadas na Tabela 1 revelando a presença de bandas associadas aos grupos funcionais característicos de cada amostra, comparativamente ao apresentado pelo glifosato.

Tabela 1 – Grupos funcionais do glifosato versus as amostras analisadas

| Atribuições (Grupos funcionais) | Glifosato | Solo controle | Solo experimental | Semente experimental |
|---|---|---|---|---|
| $PO_3H^-$ | 798 | - | 740 | - |
| C-C | 904 | - | - | - |
| P-O | 911 | 912 | 911 | - |
| P-O | 917 | - | - | 917 |
| P-OH | 1001 | 1005 | 1005 | 1000 |
| P-O | 1033 | - | 1033 | 1033 |
| -COO⁻ | 1045 | - | 1040 | 1045 |
| C-N | 1083 | 1086 | 1083 | - |
| $PO_3H^-$ | 1092 | - | 1090 | - |
| $PO_3H_2$ | 1166 | - | - | - |
| C-N | 1174 | - | 1170 | - |
| N-H | 1580 | - | - | 1580 |
| -COO⁻ | 1630 | 1633 | 1630 | 1633 |
| -COO⁻ | 1660 | - | - | - |
| COOH | 1717 | - | - | - |
| COO- | 1733 | - | - | 1735 |
| C-H | 1867 | - | - | - |
| O-H | 2500 | - | - | - |
| P-O | 2900 | - | - | 2920 |
| O-H | 3300 | - | - | 3300 |
| N-H | 3400 | - | 3400 | - |

Fonte: Adaptado de FERREIRA (2015).

A análise do solo contaminado revelou uma proximidade da banda com o espectro estabelecido para o glifosato. Assim, observou-se ligações O-H na região de 3300 – 2500 $cm^{-1}$, características de grupos hidroxila, regiões próximas a 3500–3400 $cm^{-1}$ e 1580 $cm^{-1}$ que apresentaram bandas relacionadas às ligações N-H do grupo amina e, finalmente, bandas próximas a 1000–1100 $cm^{-1}$ e 911 $cm^{-1}$ as quais foram associadas às vibrações P-O do grupo fosfônico. Já no que se refere à análise do material vegetal, observou-se a presença de picos de 917 $cm^{-1}$, 1000 $cm^{-1}$ e 1033 $cm^{-1}$ referentes ao grupo fosfônico, 1045 $cm^{-1}$ ao grupo carboxílico, 1580 $cm^{-1}$ pertencente ao grupamento amina, 1633 $cm^{-1}$ e 1735 $cm^{-1}$ ao carboxílico e 2920$cm^{-1}$ e 3300 $cm^{-1}$ referentes às hidroxilas. (FERREIRA, 2015)

**Discussão**

A permanência do glifosato no ambiente é influenciada por fatores relacionados às características do solo, às condições climáticas e à atividade dos microrganismos. Após sua aplicação, o composto pode sofrer processos de degradação e originar produtos de transformação, entre os quais se destaca o ácido aminometilfosfônico (AMPA). Dessa forma, a avaliação da presença e do comportamento desses compostos no solo é importante para compreender seus possíveis efeitos ambientais e os processos envolvidos na sua permanência ou degradação (MONQUERO et al., 2004).

A análise do solo revelou uma proximidade da banda com o espectro do glifosato, principalmente nas regiões associadas três grupos funcionais polares (grupos carboxila, amino e fosfonato), indicando a

presença de sinais químicos compatíveis com o herbicida na amostra de solo após sua aplicação. (AUGUSTO; CESTARI, 2019).

A identificação de picos de 917 $cm^{-1}$, 1000 $cm^{-1}$, 1033 $cm^{-1}$, 1045 $cm^{-1}$ no material vegetal estão de acordo com o determinado por Sujatha Krishnaswan (sd), Undabeytia *et. al.* (2002) e Barja e Afonso (1998). Assim, no presente trabalho, a banda detectada em 911 $cm^{-1}$ pode ser atribuída ao grupo fosfônico, estando de acordo com a literatura.

Os picos 1633 $cm^{-1}$, 1735 $cm^{-1}$ e 3300 $cm^{-1}$ no material vegetal são referentes ao grupo carboxila e 1580 $cm^{-1}$, 2920 $cm^{-1}$ e referentes ao grupo amina. (FERREIRA, 2015).

Bandas de absorção típicas de aminoácidos em 1630 $cm^{-1}$ e 1045 $cm^{-1}$ correspondentes as bandas de estiramento de grupos carboxílicos.

A região entre 2900 e 2500 $cm^{-1}$ apresenta um conjunto de várias bandas largas que correspondem a grupos P-OH fortemente ligados por pontes de hidrogênio. A intensidade observada na região de 1033 $cm^{-1}$, associada à ligação P-O, sugere a absorção e o acúmulo de compostos fosforados nos tecidos vegetais.

Com relação ao grupo fosfonato as bandas de absorção em 1091 e 979 $cm^{-1}$ devem ser atribuídas aos modos de estiramento antissimétrico e simétrico de ligações P - O respectivamente.

Segundo Paiva *et al* (2012), o grupo relacionado ao O–H ocorre entre os números de onda de 3804,3 $cm^{-1}$ até 3834,0 $cm^{-1}$, entretanto esse modo vibracional é recorrente entre 3700 $cm^{-1}$ a 3600 $cm^{-1}$. (PAIVA et. al., 2012). Segundo os mesmos autores, os estiramentos N–H, C–O e C–C estão localizados aproximadamente em 3510,1 $cm^{-1}$, 1867 $cm^{-1}$ e 904,7 $cm^{-1}$ na respectiva ordem, para o glifosato. O grupo C–N apresenta vibrações para 1083,4 $cm^{-1}$ e 1174,1 $cm^{-1}$. Para os mesmos autores, o grupo funcional do carboxilato ($COO^-$) apresenta uma absorção na região de 1660 - 1820 $cm^{-1}$.

A comparação entre as diferentes amostras permitiu avaliar e compreender a ocorrência e a distribuição de grupos químicos relacionados ao glifosato no solo e no material vegetal.

**Conclusão**

A identificação do glifosato mesmo em quantidades reduzidas detectadas em diferentes amostras demonstra que pequenas quantidades podem permanecer no ambiente. Esse resultado reforça a necessidade de considerar não apenas a quantidade aplicada de um herbicida, mas também sua persistência, mobilidade, transformação ambiental e capacidade de transferência para organismos vivos.

O glifosato representa uma preocupação ambiental e toxicológica que ultrapassa sua função como agente de controle de plantas daninhas. Sua presença no solo e sua posterior identificação em tecidos vegetais demonstram a possibilidade de interação do composto com diferentes componentes do ecossistema. Além disso, a transformação do glifosato em produtos como o AMPA evidencia que a degradação da molécula original não significa necessariamente a completa eliminação do contaminante do ambiente, sendo fundamental avaliar também os seus produtos de transformação,

reforçando a importância do monitoramento de resíduos em solos e plantas, principalmente em áreas destinadas à produção de alimentos.

**Referências**

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE PESQUISA SOBRE O CÂNCER (IARC). Alguns inseticidas e herbicidas organofosforados. Lyon: IARC, 2015. (Monografias da IARC sobre a Avaliação dos Riscos Carcinogênicos para os Seres Humanos, v. 112). ISBN 978-92-832-0178-6.

AUGUSTO, Matheus Henrique; CESTARI, Alexandre. Um novo procedimento para detecção de glifosato em águas ambientais e de consumo humano via espectrometria no infravermelho com transformada de Fourier. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO IFSP, 10., 2019, Sorocaba, SP. Anais [...]. Sorocaba, SP: IFSP, 2019.

BARJA, B. C.; DOS SANTOS, M. Um estudo por ATR-FTIR do glifosato e de seu complexo com Fe(III) em solução aquosa. Environmental Science & Technology, 1998, v. 32, p. 3331–3335.

BRASIL. Ministério da Saúde. Painel de Vigilância em Saúde das Populações Expostas *a* Agrotóxicos, 2025

CARNEIRO, Fernando Ferreira *et al* (Org.). Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015.

FERREIRA, Matheus Gomes. Hidróxidos duplos lamelares intercalados com o ânion glifosato: preparação, caracterização e estudo de liberação controlada de glifosato em solução aquosa. 2015. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

HENDERSON, AM; Gervais, JA; Luukinen, B.; Buhl, K.; Stone, D.; Strid, A.; Cross, A.; Jenkins, J. 2010. Ficha Técnica do Glifosato; Centro Nacional de Informação sobre Pesticidas, Serviços de Extensão da Universidade Estadual do Oregon.

Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios; Rio de Janeiro: INCA, 2021.

MONQUERO, P. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; OSUNA, M. D.; DE PRADO, R. A. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida, 2004.

OGURA, Allan Pretti. *Fitotoxicidade e fitorremediação de água e solos contaminados com os agrotóxicos 2,4-D e fipronil aplicados no cultivo de cana-de-açúcar*. 2022. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

PRIMAVESI, Ana Maria. Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio. São Paulo: Expressão Popular, 2016. [1, 2]

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L. R. Fitorremediação de solos contaminados por herbicidas. 2006.

UNDABEYTIA, T.; MORILLO, E.; MAQUEDA, C. Estudo por FTIR de complexos de glifosato com cobre. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 50, n. 7, p. 1918-1921, 2002. DOI: 10.1021/jf010988w.