

ANÁLISE DE MÉTODO DE DETECÇÃO DE RESÍDUOS DO HERBICIDA ÁCIDO 2,4-DICLOROFENOXIACÉTICO (2,4-D): ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS

Isabelle Christine de Andrade Venceslau, Maria Letícia Carvalho da Rosa,
Vivian Mancini Souza Sales, Daniela Santos Silva, Verônica Cristina Pêgo
Fiebig Aguiar

Colégio Antônio Teixeira Fernandes/ Colégio Univap - Unidade Centro, Rua Paraibuna, 75 - Jardim
São Dimas, São José dos Campos - SP, 12245-020 - São José dos Campos - SP, Brasil,
isabellevenceslau2008@gmail.com, marialeticiac.rosa@gmail.com, vivian.mancini.souza@gmail.com,
danielass@univap.br, veronicafiebig@gmail.com

Resumo

Uso de agrotóxicos em plantações para extermínio de pragas é uma prática comum na sociedade, contudo também apresenta um perigo em potencial na contaminação de fatores bióticos e abióticos do ecossistema. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo analisar o uso da espectrofotometria UV-Vis (ultravioleta-visível) como métodos de detecção e quantificação de resíduos do herbicida ácido 2,4-D em matéria orgânica. A análise foi realizada por meio de comparações de artigos científicos, sendo buscado e observado os aspectos que mais se destacaram em cada pesquisa. Com relação aos resultados compreende-se que o método em questão se mostrou satisfatoriamente eficaz e apresentou boa precisão. Entretanto observa-se que ainda não é possível substituir o uso de curvas analíticas para assegurar a confiabilidade dos resultados.

Palavras-chave: Herbicida. Agrotóxicos. 2,4-D. Espectrofotometria. Cromatografia.

Curso: Técnico em Química

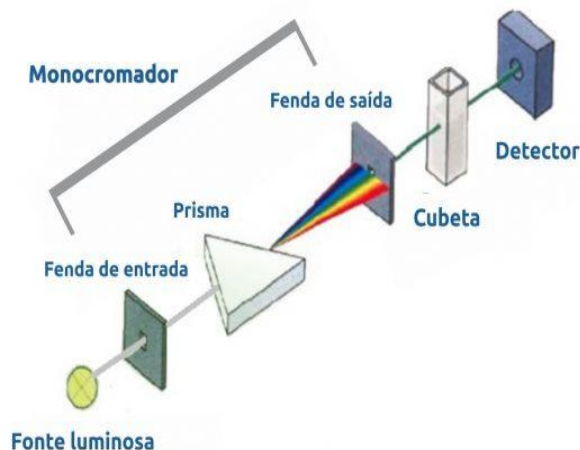
Introdução

O ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) é um herbicida sintético classificado como altamente perigoso devido à sua toxicidade, persistência ambiental, bioacumulação e potenciais efeitos mutagênicos sendo que o Brasil consome cerca de 10% da produção global, o que destaca a importância do monitoramento de seus resíduos em ecossistemas terrestres e aquáticos (Santos, 2021). Agrotóxicos como o 2,4-D podem ser transportados pelo vento e retornar por meio da chuva, contaminando solos urbanos e áreas não tratadas; no solo, estes compostos reduzem a matéria orgânica, aumentam a salinidade e afetam a microflora e microfauna naturais além de possíveis danos ao lençol freático pela ação da chuva, levando à contaminação de rios e lagos (Ogawa, 2019; Macedo Neto; Froehner; Machado, 2012).

O ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) é um herbicida classificado como análogo de auxina, atuando como imitador desse hormônio vegetal e provocando crescimento desordenado nas plantas daninhas, resultando em sua morte (Mendes; Silva; Mielke, 2022). Diante dos impactos ambientais causados por agrotóxicos, é fundamental adotar métodos eficazes para identificação dessas substâncias, visando reduzir seus efeitos sobre os ecossistemas e a saúde humana (Amarante *et al.*, 2003). Nesse contexto, destaca-se a espectrofotometria, uma técnica analítica que determina concentrações de substâncias por meio da interação da luz com a matéria; aplicada ao espectro UV-Vis, ela explora a sensibilidade da luz visível à cor (Souza *et al.*, 2021). A energia da luz é inversamente proporcional ao comprimento de onda, e, ao ser absorvida, excita elétrons que logo retornam ao estado fundamental, liberando energia, cada substância possui absorção específica de comprimentos de onda, e essa absorção é quantificada pela absorbância medida no espectrofotômetro onde, por meio dela, é possível determinar a concentração de uma amostra, conforme pode ser observado na Figura 1 (Souza *et al.*, 2021).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 1- Esquema do funcionamento de um espectrofotômetro



Fonte: Sinergia Científica (2021).

O presente artigo aborda o estudo das propriedades físico-químicas do herbicida 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), seu potencial de identificação por espectrofotometria UV-Vis e a aplicação de parâmetros de validação analítica. Com base em referências como as de Coelho *et al.* (2018), Gabardo (2015) e Schmachtenberg e Santos (2018), foi observado um padrão nas práticas experimentais dos autores supracitados envolvendo a preparação de soluções padrão de 2,4-D, com medições de absorvância entre 200 e 300 nm, para construção de uma curva de calibração. Posteriormente, Coelho *et al.* (2018) simula uma amostra aquosa contaminada com o herbicida com o objetivo de avaliar a eficácia do método. A análise comparativa entre os dados obtidos e a curva analítica permitiu a verificação de possíveis interferentes, bem como a avaliação de parâmetros como seletividade, linearidade, intervalo, precisão, limites de detecção e quantificação, exatidão e robustez.

Assim, tem-se por objetivo realizar uma revisão da literatura a fim de analisar e validar um método analítico baseado em espectrofotometria UV-Vis para a identificação e quantificação de resíduos do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) em meios abióticos, por meio de parâmetros de validação analítica.

Metodologia

Visando o desenvolvimento integral do presente artigo foi realizada a pesquisa, seleção, análise e interpretação de bases científicas atuais referentes às propriedades físico-químicas do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), bem como o seu potencial de identificação por espectrofotometria UV-Vis, incluindo parâmetros de validação de técnicas e construção de curvas analíticas, com o intuito de fomentar avanços na detecção – e, conseqüentemente, na mitigação – de resíduos de herbicidas nocivos ao ser humano e ao meio ambiente. A partir do estudo realizado, e tendo por referência os trabalhos de Coelho *et al.* (2018), Gabardo (2015) e Schmachtenberg e Santos (2018), observou-se um padrão nas práticas experimentais desses autores, para determinação da concentração do 2,4-D via espectrofotometria UV-Vis, ambos prepararam soluções de concentrações conhecidas do padrão de ácido 2,4-D solubilizados em água destilada - ou metanol no caso de Gabardo (2015)- aferindo-se a absorvância de cada amostra no espectrofotômetro, limitando o comprimento de onda à faixa entre 200 e 300 nm, a fim de construir uma curva de calibração (absorvância x concentração), com exceção de Schmachtenberg e Santos (2018) que analisaram a ferramenta SOLVER. Enquanto Gabardo (2015) e Schmachtenberg e Santos (2018) finalizaram o experimento na etapa anterior, Coelho *et al.* (2018) com o objetivo de avaliar a aplicabilidade da técnica em condições próximas às encontradas em áreas de contaminação por agrotóxicos, simulou uma amostra aquosa contaminada pelo escoamento superficial de precipitação sobre solo tratado com pesticidas por meio da diluição do herbicida em água e posteriormente realizou a leitura espectrofotométrica da amostra simulada. A comparação do resultado obtido a curva analítica previamente estabelecida permitiu identificar possíveis interferentes

que atuam no método, bem como avaliar parâmetros de desempenho analítico, incluindo seletividade, linearidade, intervalo, precisão, limites de detecção e quantificação, exatidão e robustez.

Resultados

Com base nos trabalhos selecionados, foi possível analisar a eficiência do método analítico para a detecção de resíduos do herbicida ácido 2,4-D. Vale ressaltar que cada autor se utilizou de uma metodologia própria que compartilham de objetivos similares. Na Tabela 1 são apresentados os dados relativos as análises realizadas por cada autor estudado.

Tabela 1- Análise dos resultados obtidos pelas referências estudadas

Concentrações do padrão	Solvente da solução padrão	Pico de absorvância	λ (lambda)	Coefficiente de determinação	Referências
20,0; 30,0; 50,0; 76,0; 100,0; 126,0; e 150,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$	Água	0,021 cm^{-1}	200 nm	$r = 0,9989$	Coelho <i>et al.</i> , (2018)
1; 2; 20; 25; 50 e 100 mg.L^{-1}	Metanol	—	200; 230 e 280 nm	$r^2 = 0,99197$ $r^2 = 0,99686$	Gabardo, (2015)
1; 2; 5; 10; 20 e 100 mg.L^{-1}	Água	—	285 nm	—	Schmachtenberg; Santos, (2018)

Fonte: Os autores, 2025.

Discussão

Coelho *et al.* (2018), apresenta diversos parâmetros de validação fundamentais para determinar o sucesso do método estudado, dentre eles o principal parâmetro considerado foi a linearidade, obtida a partir da construção de uma curva analítica. Dessa forma, por apresentar um coeficiente de correlação extremamente próximo de 1, entende-se que o resultado obtido é coerente de acordo com o comprimento de onda delimitado para o estudo, nesse caso 200 nm. Gabardo (2015), assim como Coelho *et al.* (2018), utilizou-se da construção de uma curva de calibração para determinar a veracidade dos resultados atingidos, obtendo coeficientes de correlação superiores a 0,99, porém abaixo do valor obtido por Coelho *et al.* (2018), optando por delimitar o comprimento de ondas a 230 nm. Embora tenha sido observado que no comprimento de onda de 200 nm houve uma maior absorção por parte do 2,4-D, Gabardo (2015) decidiu usar os resultados correspondentes à faixa de 230 nm devido ao risco de haver interferência de subprodutos provenientes da degradação do ácido 2,4-D no processo de absorvância.

Schmachtenberg e Santos (2018), não construíram uma curva analítica para determinar uma linearidade, pois a proposta de seu artigo era testar se a ferramenta SOLVER, desenvolvida pelos autores a partir do Excel poderia ser capaz de substituir a criação de uma curva analítica, contudo não obtiveram o sucesso esperado devido à divergência brusca de resultados.

É possível, portanto, compreender e definir que o uso da espectrofotometria UV-Vis na detecção de resíduos do herbicida 2,4-D mostrou-se eficaz e satisfatória, possibilitando identificar e quantificar de forma precisa e exata a sua presença em amostras contaminadas.

Conclusão

De acordo com as análises críticas realizadas nos trabalhos escolhidos para o estudo, é possível observar que o uso da técnica de espectrofotometria UV-Vis como método de detecção de resíduos do herbicida 2,4-D, demonstrou-se eficiente tanto em apontar a presença do ácido, quanto em quantificá-lo. No entanto, devido à ausência de estudos aprofundados direcionados aos subprodutos formados na degradação do herbicida, não foi possível utilizar o comprimento de onda de 200 nm pelo risco de comprometer a veracidade dos resultados.

Referências

AMARANTE Jr., O. P. *et al.* Breve revisão de métodos de determinação de resíduos do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). **Química Nova**, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000200015>. Acesso em: 11 maio 2025.

COELHO, E. R. C. *et al.* Desenvolvimento e validação de método analítico para análise de 2, 4-D, 2, 4-DCP e 2, 4, 5-T para monitoramento em água de abastecimento público. **SciELO Brasil**, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/thzgb7VXSgJ57xfYBrQdyWg/?lang=pt>. Acesso em: 11 maio 2025.

GABARDO, R. P. Estudo para determinação de herbicida 2,4-D em água através de CLAE-DAD. RIUT — **Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)**, 2015. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9587/1/CT_COPAM_2015_2_1.pdf#page=32.10. Acesso em: 15 de ago. 2025.

MACEDO NETO, D.; Froehner, S.; Machado, K. S. Avaliação do transporte do ácido 2,4-diclorofenoxiacético através de um lisímetro. **SciELO**, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/LbyqVqVmtBgwXFTgZYRPGnQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso: 15 ago. 2025.

MENDES, K. F.; Silva, A. A.; Mielke, K. C. Classificação, seletividade e mecanismos de ação de herbicidas. **Konekta Commerce**, 2022. Disponível em: https://konektacommerce.nyc3.cdn.digitaloceanspaces.com/TEXT_SAMPLE_CONTENT/plantas-daninhas-vol2-herbicidas-261800-1.pdf. Acesso em: 11 maio 2025.

OGAWA, Ednéia Avelar. Agrotóxicos, vida e produção: percepções, práticas e perspectivas no Assentamento São José Operário/Pedra Preta-MT. **Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Rondonópolis**, 2019. Disponível em: <https://ufr.edu.br/ppgeo/wp-content/uploads/2021/11/Dissertacao-de-EDNEIA-AVELAR-OGAWA.pdf>. Acesso em: 11 maio 2025.

SANTOS, R. A. T. *et al.* Degradação do herbicida 2,4-d em função de técnicas de biorremediação. **Revista Multidisciplinar De Educação E Meio Ambiente**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.51189/rema/1390>. Acesso em: 11 maio 2025.

SCHMACHTENBERG, N.; Santos, E.P. Alternativa para detecção do herbicida 2,4 D via espectrofotometria. **Siambiental**, 2018. Disponível em: https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=651&ano=_sexto. Acesso em: 20 fev. 2025.

SINERGIA CIENTÍFICA. Espectrofotômetro: Para que serve? Como funciona? Quais são seus componentes? **Sinergia Científica**, 2021. Disponível em: <https://www.sinergiacientifica.com.br/espectrofotometro-para-que-serve-como-funciona-quais-sao-seus-componentes/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

SOUZA, F. S.; Dutra, G. M. C.; Cruz, M. P. Determinação espectrofotométrica UV-Vis da corrosão do cobre. **Riuff**, 2021. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/24610>. Acesso em: 9 maio 2025.