

## 16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

### INFLUÊNCIA DE TRATAMENTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COMO BIODSORVENTE PARA d-SPE NA DETERMINAÇÃO DE CLORPIRIFÓS E PIRIDINOL EM TOMATE

CATHARINA MAFRA<sup>1</sup>, VANESSA C. G. CAMILLO<sup>2</sup>, CAROLINA LOURENCETTI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Bacharelado em Engenharia de Alimentos, Bolsista PIBITI-CNPq, IFSP, Campus Matão, catharina.mafra@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Docente (Doutora em Ciências dos Materiais), IFSP, Câmpus Matão, vanessa@ifsp.edu.br

<sup>3</sup> Docente (Doutora em Química), IFSP, Câmpus Matão, carollourencetti@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 5.07.01.05-3 Toxicologia e Resíduos de Pesticidas em Alimentos

**RESUMO:** Como continuidade de estudos prévios, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de tratamentos físicos e químicos na eficiência do bagaço de cana-de-açúcar (BC) como bioissorvente para extração em fase sólida dispersiva (d-SPE) na determinação do agrotóxico clorpirifós (O,O-diethyl O-3,5,6-trichloro-2-pyridylphosphorothioate) (CP) e do seu produto de degradação 3,5,6-tricloro-2-piridinol (TCP) em tomate por cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjo de diodos. Após extração dos analitos com acetonitrila acidificada (1% ácido acético, v/v) na presença de sais (MgSO<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub> e NaCl), 1 mL do extrato foi submetido à d-SPE com 150 mg de MgSO<sub>4</sub> e 7,5 mg de BC seco à diferentes temperaturas (30 °C, 60 °C, 80 °C e 120 °C). O BC foi tratado quimicamente (partículas > 0,30 mm) ou não (partículas > 0,30 mm e > 0,15 mm) com H<sub>2</sub>O, HCl 0,1mol/L, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5mol/L e NaOH 0,1mol/L. Os melhores resultados de porcentagem de recuperação (n=4) com amostras de tomate orgânico fortificadas em três níveis para CP (0,25-2,0 mg/kg) e TCP (0,17-1,4 mg/kg) foram obtidos com o BC seco à 60 °C, sem tratamento químico e com partículas > 0,15 mm, 73,8-77,2% e 61,6-65,2% para CP e TCP, respectivamente, com desvio padrão relativo < 4,9%.

**PALAVRAS-CHAVE:** agrotóxico; pesticida; adsorvente; extração em fase sólida dispersiva; CLAE-DAD.

### INFLUENCE OF PHYSICAL AND CHEMICAL TREATMENTS OF SUGARCANE BAGASSE AS A BIADSORBENT FOR d-SPE IN THE DETERMINATION OF CHLORPYRIFOS AND PYRIDINOL IN TOMATOES

**ABSTRACT:** As a continuation of previous studies, this work aimed to evaluate the influence of physical and chemical treatments on the efficiency of sugarcane bagasse (SB) as a biosorbent for dispersive solid phase extraction (d-SPE) in the determination of the pesticide chlorpyrifos (O,O-diethyl O-3,5,6-trichloro-2-pyridylphosphorothioate) (CP) and its degradation product 3,5,6-trichloro-2-pyridinol (TCP) in tomato by high performance liquid chromatography with diode array detector (HPLC-DAD). After extraction of the analytes with acidified acetonitrile (1% acetic acid, v/v) in the presence of salts (MgSO<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub> and NaCl), 1 mL of the extract was subjected to d-SPE with 150mg of MgSO<sub>4</sub> and 7.5mg of BC dried at different temperatures (30 °C, 60 °C, 80 °C and 120 °C). The SB was subjected (> 0.30mm) or not (> 0.30mm and > 0.15mm) to chemical treatments with H<sub>2</sub>O, HCl 0.1mol/L, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5mol/L and NaOH 0.1mol/L). The best recovery percentage results (n = 4) with organic tomato samples spiked at three levels for CP (0.25-2.0mg/kg) and TCP (0.17-1.4mg/kg) were obtained with SB dried at 60 °C, not chemically treated and with particles > 0.15mm, (73.8-77.2%) and TCP (61.6-65.2%), with relative standard deviation < 4.9%.

**KEYWORDS:** pesticide; adsorbent; dispersive solid phase extraction; HPLC-DAD.

## INTRODUÇÃO

De acordo com os últimos relatórios do Programa de Análise de Resíduos em Alimentos (PARA), publicados pela Anvisa (2024), o clorpirifós continua sendo um dos agrotóxicos encontrados em não conformidade (acima do limite máximo de resíduo (LMR) ou não registro para a cultura) em diversos alimentos, entre eles, o tomate. Em 2023, um total de 274 ingredientes ativos foram pesquisados em 255 amostras de tomate de mesa. As maiores frequências de detecção de resíduos não permitidos para a cultura foram relativas aos agrotóxicos clorpirifós (73 amostras), fipronil (64 amostras) e acefato (45 amostras) (Anvisa, 2024). O clorpirifós apresenta registro para uso apenas em tomate rasteiro (0,5 mg/kg), não sendo permitido e estabelecido o LMR para tomate de mesa (Anvisa, 2025).

Considerando a importância de métodos eficientes e de baixo custo, e como continuidade de estudos prévios, este trabalho objetiva propor um método de análise para determinar clorpirifós e seu produto de degradação piridinol em tomate (*Solanum lycopersicum*). Esse método é uma adaptação do método QuEChERS (Anastassiades et al., 2003), sigla em inglês de rápido, fácil, barato, eficaz, robusto e seguro (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe), no qual o adsorvente tradicional e de alto custo no Brasil (amina primária secundária) usado na extração em fase sólida dispersiva (d-SPE) será substituído pelo bagaço de cana-de-açúcar (BC). O BC é constituído de cerca de 18-25 % de lignina, 45-50 % de celulose e 25-28 % de hemicelulose, biopolímeros ricos em grupos funcionais como carboxila, hidroxila, carbonila dentre outros (Mendes et al., 2015; Soliman; Asmed; Fadl, 2011). Esses grupos funcionais conferem ao bagaço de cana-de-açúcar o potencial de interação com diferentes compostos orgânicos e inorgânicos e, por isso, tem sido apontado como possível suporte sólido a ser investigado em métodos cromatográficos para determinação de resíduos de agrotóxicos (Soliman et al., 2022). Nesse contexto, este trabalho explorou a aplicação de diferentes tratamentos físicos e químicos no BC, com o objetivo de avaliar a influência nas propriedades do material enquanto possível biossortevente para d-SPE.

## MATERIAL E MÉTODOS

O BC foi coletado em um comércio local após a extração do caldo e, em seguida, dividido em quatro porções. Cada porção foi disposta em prateleiras de uma estufa de aeração forçada e submetida a um gradiente de temperatura entre 30 °C e 120 °C. As quatro condições de temperaturas utilizadas foram: 30-34 °C, 60 °C, 80 °C e 120 °C. Após atingir massa constante na temperatura, os tempos de secagem observados foram de 72 horas, 54 horas e 18 horas, respectivamente. As amostras secas foram trituradas em moinho de martelos e peneiradas, resultando em frações de material sólido com intervalos de tamanhos de partículas > 1,2 mm, > 0,60 mm, > 0,30 mm, > 0,15 mm e < 0,15 mm.

Dois gramas de BC da fração granulométrica com partículas > 0,30 mm, obtidos a partir de cada condição de secagem, foram adicionados em erlenmeyers contendo 80 mL de cada um dos seguintes reagentes ou soluções: água deionizada, HCl 0,1 mol/L, NaOH 0,1 mol/L ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol/L. Após a homogeneização, as suspensões foram mantidas sob agitação em Shaker a 100 r.p.m, por 24 horas, a uma temperatura média de 25,4°C. Depois, os sobrenadantes foram descartados e o BC foi lavado com porções de 100 mL água deionizada, até neutralização. Tais materiais foram secos à 80 °C por 24 horas e mantidos em dessecador até massa constante. A caracterização morfológica dos BC foi realizada por microscopia ótica e por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Inicialmente, as amostras foram caracterizadas com auxílio de estereomicroscópio Leica EZ4 HD, equipado com iluminação de LED e câmera HD, sendo utilizado um aumento de 35 vezes. Em seguida, realizou-se a análise por MEV, utilizando um equipamento FEI Helios NanoLab 600i, operando a uma tensão de aceleração de 10 kV e corrente de feixe de 86 pA. Para a análise em MEV, as amostras foram previamente metalizadas com ouro em uma evaporadora Bal-Tec, modelo SCD050.

As determinações cromatográficas do CP e TCP foram feitas no CLAE-DAD Prominence Liquid Chromatograph 20A, da marca Shimadzu. O software LC Solution foi usado para tratamento dos cromatogramas e registro do espectro de absorvância dos analitos. Soluções padrão estoque (concentrações de 493,52 µg/mL para o TCP e 721,82 µg/mL para o CP) foram preparadas em acetonitrila a partir da dissolução do padrão sólido de clorpirifós (99,7%, Fluxa Pestanal®) em acetonitrila. Soluções de trabalho mistas foram preparadas por diluição a partir das soluções estoque e utilizadas para fortificação das amostras de tomate e para a quantificação por CLAE-DAD, cujo intervalo de trabalho variou entre 0,13 à 9,87 µg/mL para o TCP e 0,18 à 14,44 µg/mL para o CP. Coluna C18 (Ultra C18, 150 mm, 4,6 mm diâmetro interno e 5 µm tamanho da partícula, Restek®) foi utilizada

com condições cromatográficas adaptadas de trabalho prévio, com fase móvel, vazão de 0,5 mL/min, com modo de eluição gradiente iniciando com solução de ácido acético a 0,2%: acetonitrila (60:40, v/v), alterando para 40:60 (v/v), de 0 a 7 min, 10:90 (v/v) de 7 a 10 min, mantendo essa condição até o tempo 15 min, com alteração para 60:40 (v/v) entre 15 e 18 min e permanecendo nessa condição para equilíbrio até o tempo 28 min. A quantificação e confirmação dos picos cromatográficos do CP e TCP foram feitas a partir do comprimento de onda de máxima absorbância identificados no espectro de absorbância dos picos de CP (288 nm) e TCP (299 nm) dos cromatogramas obtidos a partir de injeções no CLAE-DAD de soluções padrão preparadas a partir de padrões do clorpirifós e do piridinol em acetonitrila.

Amostras compostas de tomate (*Solanum lycopersicum*) orgânico da espécie Italiano (500 g) foram previamente lavadas com detergente neutro, secas com papel toalha e trituradas em processador tipo doméstico até completa homogeneização. Inicialmente, para a comparação dos diferentes tratamentos aos quais o BC foi submetido, a amostra de tomate triturada foi fortificada (2,0 mg/Kg) para que o nível fosse correspondente a quatro vezes do limite máximo de resíduo estabelecido para CP em tomate de uso industrial (0,5 mg/kg) e 1,4 mg/kg para TCP.

Baseado em estudo prévio, a extração dos analitos foi conduzida em tubo Falcon (50 mL) com a adição de 10 mL de acetonitrila acidificada (1% ácido acético, v/v) à 20 g da amostra de tomate triturada na presença dos sais  $\text{MgSO}_4$  (6 g),  $\text{NaCl}$  (1,5 g) e  $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$  (1,5 g), homogeneização em vórtex (30 s) e extração assistida por ultrassom (20 min, 25 °C). Após centrifugação (9000 r.p.m, 20 min), a fase orgânica foi transferida para um balão de 10 mL e o volume ajustado com acetonitrila acidificada. Como etapa de purificação do extrato por d-SPE, alíquota de 1 mL do extrato foi transferida para tubos Falcon (15 mL) contendo 7,5 mg de BC submetido aos diferentes tratamentos e 150 mg de  $\text{MgSO}_4$ , agitação em vórtex (30 s) e filtração (PTFE hidrofílico, 45  $\mu\text{m}$ ) para frascos amostradores para a determinação do CP e TCP por CLAE-DAD.

A influência dos tratamentos do BC, isto é, a variação da temperatura de secagem e a realização ou não de tratamentos químicos, foram avaliadas a partir das porcentagens de recuperação comparadas aos valores observados em extratos controle fortificados para eliminação do efeito matriz. Para essa análise, foram utilizadas amostras do BC tratado quimicamente ( $> 0,30 \text{ mm}$ ) ou não ( $> 0,30 \text{ mm}$  e  $> 0,15 \text{ mm}$ ) e secos nas diferentes temperaturas avaliadas neste trabalho.

Para a avaliação do método empregou-se o BC seco à 60 °C e sem tratamento e com frações granulométricas  $> 0,30 \text{ mm}$  e  $> 0,15 \text{ mm}$ . Precedeu-se a análise de quatro repetições de amostras de tomate fortificadas em três níveis de fortificação para o CP (0,25 mg/kg, 0,5 mg/kg e 2,02 mg/kg) e o TCP (0,17 mg/kg, 0,35 mg/kg e 1,4 mg/kg). A recuperação e precisão foram avaliados em função da média da porcentagem de recuperação e do desvio padrão relativo (DPR), respectivamente, conforme orientação da Direção-Geral da Saúde e da Segurança dos Alimentos da Comunidade Europeia para o controle de qualidade analítico e procedimentos de validação de métodos para análise de resíduos de pesticidas em alimentos e rações (SANTE, 2021) e da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento do Brasil para a garantia da qualidade analítica referente à determinação de resíduos e contaminantes em alimentos, que inclui os agrotóxicos (Brasil, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fracionamento granulométrico por peneiramento apresentou comportamento semelhante entre as diferentes condições de secagem, com predominância de duas faixas de tamanho de partículas. As frações com tamanho de partículas entre 0,15 mm e 0,30 mm ( $> 0,15 \text{ mm}$ ) representaram 27,4 a 36,8 % da massa total, enquanto aquelas entre 0,30 mm e 0,60 mm ( $> 0,30 \text{ mm}$ ) corresponderam a 40,1 até 50,3 % da massa total. Esta última, por ser a maior fração em porcentagem mássica, foi selecionada para a realização do tratamento químico.

A análise por microscopia ótica demonstrou que as partículas obtidas após secagem em diferentes temperaturas, diferentes frações granulométricas e diferentes tratamentos químicos apresentam-se heterogêneas com predominância de formato alongado e irregular, com variação no grau de fragmentação e na integridade estrutural. Assim, a Figura 1 apresenta as imagens de micrografia do BC seco à 60 °C e tamanho  $> 0,30 \text{ mm}$ , isto é, BC (60° C e  $> 0,30 \text{ mm}$ ) com aumento de 35 vezes para a exemplificação. Pode-se observar que o BC sem tratamento químico apresenta partículas com formato irregular e superfície heterogênea e pouco definida e, que a lavagem do BC com água não resultou em mudanças estruturais significativas nas partículas. No entanto, as imagens do BC submetidos aos

tratamentos químicos com HCl, NaOH e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> apresentaram partículas com contornos mais definidos, o que pode indicar a solubilização de impurezas superficiais e/ou remoção de constituintes estruturais.

A integridade superficial do BC (60 °C, > 0,30 mm) sem tratamento com fibras compactadas e poucas fissuras aparentes pode ser observada na micrografia de MEV apresentada na Figura 2, que também contém as micrografias do BC (60 °C, > 0,30 mm) submetidos aos diferentes tratamentos químicos. A lavagem do BC com água e o tratamento com HCl resultou na exposição de feixe e espaços intersticiais, possivelmente devido a remoção de camadas superficiais. Já os tratamentos com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e NaOH resultaram em uma maior degradação da superfície, com desprendimento de fragmentos e maior irregularidade nas bordas das fibras. Tal efeito é mais evidente para o BC tratado com NaOH, no qual pode ser observado uma elevada ruptura dos feixes e a separação das camadas fibrosas, devido à remoção de hemicelulose e parte da lignina, deixando uma morfologia mais rugosa e porosa.

FIGURA 1. Micrografias óticas das partículas de BC (60 °C e > 0,3 mm) sem e com tratamento químico obtidas com aumento de 35 vezes.

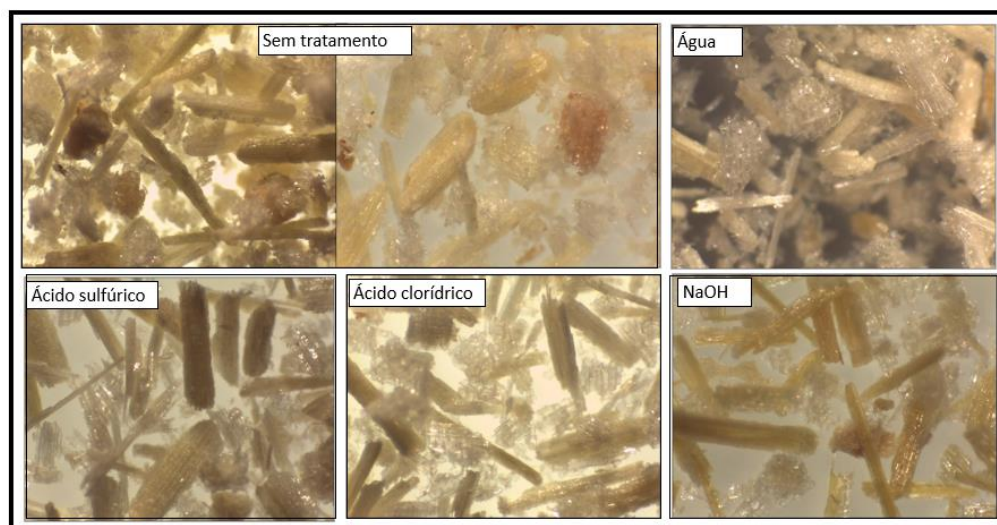
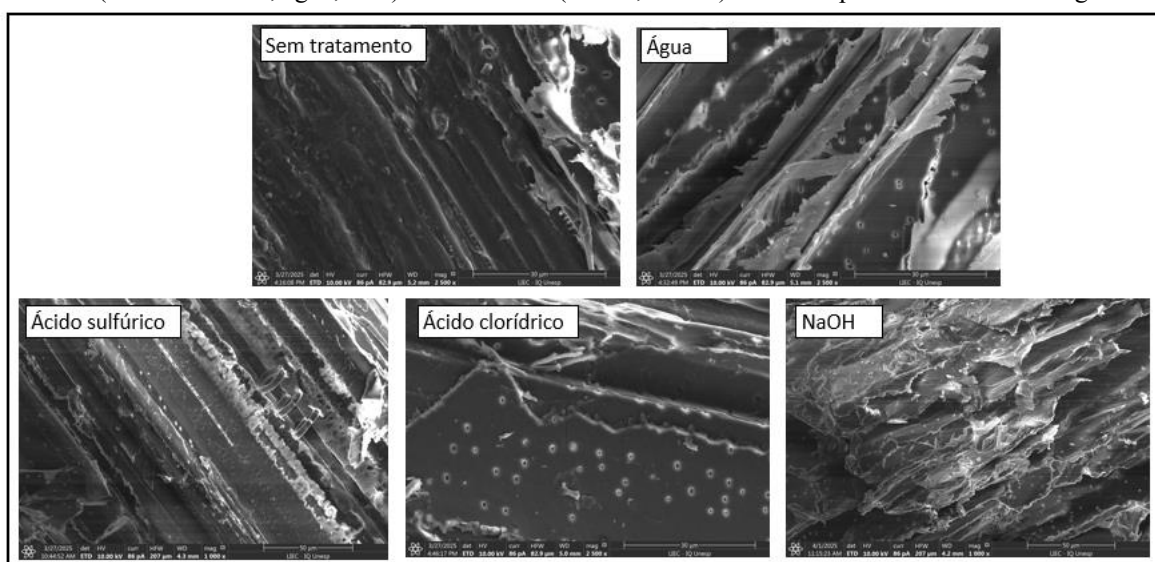
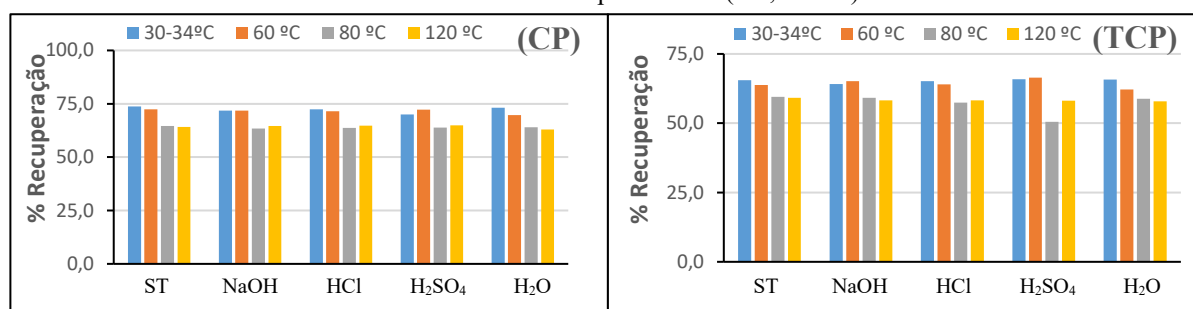


FIGURA 2. Imagens de MEV das partículas de BC (60 °C e > 0,30 mm) após tratamentos químicos. Aumento de 2.500 vezes (sem tratamento, água, HCl) e 1.000 vezes (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH). Escalas apresentadas nas micrografias.



Embora as micrografias de MEV demonstrem possível modificação superficial das partículas de BC (> 0,30 mm) tratados com NaOH e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> em relação aos demais tratamentos, resultados do estudo de adição e recuperação com amostra de tomate orgânico fortificado com CP (2,0 mg/kg) e TCP (1,4 mg/kg) apresentaram valores próximos empregando BC seco à 30-34 °C e 60 °C, com ou sem tratamento químico (Figura 3).

FIGURA 3. Porcentagem de recuperação para clorpirifós (CP) e piridinol (TCP) utilizando partículas de BC como bioissorvente para d-SPE (> 0,30 mm).



A eficiência do método de análise foi avaliada empregando amostra de tomate com três níveis de fortificação e quatro repetições em um mesmo dia. Empregou-se o BC (60 °C e > 0,30 mm e > 0,15 mm) sem tratamento químico devido a diminuição de uma etapa do processo de obtenção do bioissorvente e maior facilidade de trabalho (trituração e fracionamento).

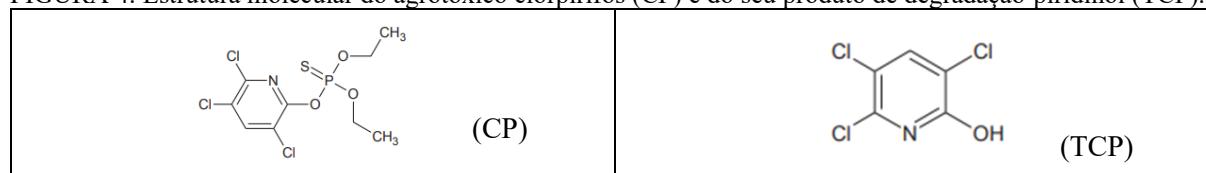
A Tabela 1 apresenta resultados de recuperação com quantificação utilizando adição de padrão para eliminar o efeito matriz, sendo comparados com valores aceitáveis em guia/manual para determinação de resíduos de agrotóxicos em alimentos no país (Brasil, 2011) e na Comunidade Europeia (SANTE, 2021), com porcentagem de recuperação entre 70 e 120 % e RSD < 20 % para a repetibilidade. Ressalta-se que essas recomendações não consideram os produtos de degradação, como o TCP.

TABELA 1. Resultados do estudo de adição e recuperação de CP e TCP em tomate fortificado empregando BC (60 °C, > 0,30 mm e > 0,15 mm) como bioissorvente para a d-SPE (n = 4).

| Tamanho partícula (mm) | TCP                |                    |         |         | CP                 |                    |         |         |
|------------------------|--------------------|--------------------|---------|---------|--------------------|--------------------|---------|---------|
|                        | Adicionado (mg/kg) | Encontrado (mg/kg) | Rec (%) | DPR (%) | Adicionado (mg/kg) | Encontrado (mg/kg) | Rec (%) | DPR (%) |
| > 0,30                 | 0,173              | 0,099              | 57,1    | 5,3     | 0,253              | 0,167              | 66,2    | 1,5     |
| > 0,15                 | 0,173              | 0,113              | 65,2    | 2,1     | 0,253              | 0,195              | 77,2    | 1,5     |
| > 0,30                 | 0,345              | 0,225              | 65,1    | 5,2     | 0,505              | 0,384              | 75,9    | 5,4     |
| > 0,15                 | 0,345              | 0,213              | 61,6    | 4,9     | 0,505              | 0,376              | 74,5    | 4,7     |
| > 0,30                 | 1,382              | 0,891              | 64,5    | 2,4     | 2,021              | 1,481              | 73,3    | 2,0     |
| > 0,15                 | 1,382              | 0,898              | 65,0    | 2,1     | 2,021              | 1,492              | 73,8    | 1,6     |

Os resultados para a porcentagem de recuperação e repetibilidade (DPR) do CP para os três níveis de recuperação quando o tamanho de partícula > 0,15 mm do bagaço de cana-de-açúcar foi utilizado (73,8-77,2 %, RSD ≤ 4,7 %). Os menores resultados de recuperação para o TCP (61,6-65,2 %) podem ser justificados pela menor dimensão molecular do TCP quando comparada ao do CP (Figura 4), além da maior polaridade, possível diferença da interação/partição entre os analitos e a solução extratora e a estrutura do BC, que pode ter resultado na perda durante o processo de extração ou a maior retenção no processo de purificação por d-SPE.

FIGURA 4. Estrutura molecular do agrotóxico clorpirifós (CP) e do seu produto de degradação piridinol (TCP).



Assim, o BC apresentou viabilidade para uso como bioissorvente para procedimentos de purificação do extrato em métodos de determinação de agrotóxicos em tomate. Dentre as condições estudadas, a secagem à 60 °C, a utilização da fração granulométrica com tamanho de partícula menor do que 0,30 mm e maior do que 0,15 mm e a ausência de tratamento químico foram as selecionadas para o preparo do bioissorvente a partir do BC que será utilizado na validação completa do método.

## CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que o bagaço de cana-de-açúcar seco à 60 °C e sem tratamento químico apresenta viabilidade para ser utilizado como adsorvente para d-SPE em método de determinação do agrotóxico clorpirifós e seu produto de degradação TCP para o tamanho de partícula avaliados entre 0,30 mm e 0,15 mm, apresentando resultados de recuperação e precisão (repetibilidade) satisfatórios como preconizado por recomendações nacional e internacionais para validação de métodos para determinação de resíduos de agrotóxicos em alimentos.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

C.L e V.C.G.C. foram responsáveis pela proposição do trabalho e caracterização do material avaliado como possível bioadsorvente. C.M. e C.L. procederam com a metodologia, experimentos, interpretação e discussão dos resultados. Todas as autoras contribuíram com a redação, revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao IFSP - Câmpus Matão pela infraestrutura disponível e ao CNPq pela bolsa PIBITI concedida à discente de graduação, assim como aos técnicos do laboratório pelo suporte técnico.

## REFERÊNCIAS

ANASTASSIADES, M.; LEHOTAY, S.; STAJNBAHER, D.; SCHENCK, F. J. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and "dispersive solid-phase extraction" for the determination of pesticide residues in produce. **Journal of AOAC International**, v. 86, n. 2, p. 412-431, 2003.

ANVISA. **Relatórios do Programa**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/programa-de-analise-de-residuos-em-alimentos/relatorios-do-programa>. Acesso em: 14 ago. 2025.

ANVISA. **C20 - Clorpirifós**. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-autorizadas/c/4226json-file-1>. Acesso em: 05 ago. 2025.

Brasil. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Manual de garantia da qualidade analítica**. Brasília: MAPA/ACS, 2011. 227p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/lfd/a/arquivos-publicacoes-laboratorio/manual-de-garantia-analitica-ilovepdf-compressed-ilovepdf-compressed.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2025.

MENDES, F. M.; HEIKKILA, E.; FONSECA, M. B.; Milagres, A. M. F.; Ferraz, A., Fardim, P. Topochemical characterization of sugar cane pretreated with alkaline suite. **Industrial Crops and Products**, v. 69, p. 60-67, 2015.

SANTE. **Analytical quality control (AQC) EU-SANTE for pesticide residues analysis in food and feed**. [s.l.]: União Europeia, 2021. Disponível em: [https://food.ec.europa.eu/system/files/2023-11/pesticides\\_mrl\\_guidelines\\_wrkdoc\\_2021-11312.pdf](https://food.ec.europa.eu/system/files/2023-11/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2021-11312.pdf). Acesso em: 04 ago. 2025.

SOLIMAN, E. M.; AHMED, S. A.; FADL, A. A. Removal of calcium ions from aqueous solutions by sugar cane bagasse modified with carboxylic acids using microwave-assisted solvent-free synthesis. **Desalination**, v. 278, p. 18-25, 2011.

SOLIMAN, M.; WAGEED, M.; ALSHERBENY, S.; SAFTY, S.; SU, Y.; ALI, A. M.; SAYED, R. Sugarcane bagasse as low-cost solid-phase extraction sorbent for pesticides in water. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 104, n. 18, p. 6324-6338, 2022.