UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DE PORTO ALEGRE – UFCSPA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCIÊNCIAS

Camila Scheid

Explorando o uso de novos dispositivos e fases extratoras alternativas em técnicas de microextração para a determinação de contaminantes emergentes em amostras ambientais de água

Porto Alegre
2025

Camila Scheid

Explorando o uso de novos dispositivos e fases extratoras alternativas em técnicas de microextração para a determinação de contaminantes emergentes em amostras ambientais de água

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Biociências da Fundação Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre como requisito para a obtenção do grau de Doutor

Orientador(a): Dr. Josias de Oliveira Merib
Coorientador(a): Dra. Monique Deon

Porto Alegre
2025

Catalogação na Publicação

Scheid, Camila
Explorando o uso de novos dispositivos e fases extratoras alternativas em técnicas de microextração para a determinação de contaminantes emergentes em amostras ambientais de água / Camila Scheid. -- 2025.
188 p. : il., graf., tab. ; 30 cm.

Tese (doutorado) -- Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Programa de Pós-Graduação em BioCiências, 2025.

Orientador(a): Josias de Oliveira Merib ; coorientador(a): Monique Deon.

1. Microextração. 2. química analítica verde. 3. impressão 3D. 4. automação. 5. contaminantes ambientais. I. Título.

Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFCSPA com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

INSTITUIÇÕES E FONTES FINANCIADORAS

Instituições:

Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA)

Laboratório Central Analítica (UFCSPA)

Laboratório de Farmacociências (UFCSPA)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Laboratório de Sólidos e Superfícies, Instituto de Química (UFRGS)

Laboratório de Nanocarreadores e Impressão 3D em Tecnologia Farmacêutica, Faculdade de Farmácia (UFRGS)

Laboratório de Materiais Dentários, Faculdade de Odontologia (UFRGS)

Fontes Financiadoras:

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Josias Merib pela excelente orientação, pelo apoio no desenvolvimento de todas as etapas do trabalho e pela oportunidade. À professora Monique Deon, obrigada pelo suporte especialmente nas etapas de síntese e caracterização das fases extratoras, essenciais para este trabalho.

Aos colegas do Grupo de Estudos em Preparo de Amostras e Cromatografia (GEPAC), pela troca de conhecimentos ao longo deste período. Em especial, à Sofia Aquino Monteiro, pela parceria diária e pelas contribuições no desenvolvimento dos trabalhos.

À Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA) e ao PPG-Biociências, pela oportunidade de realizar este doutorado, que agregou importantes conhecimentos para a minha formação acadêmica.

RESUMO

Esta tese apresenta o desenvolvimento e aplicação de metodologias inovadoras para a extração e determinação de contaminantes emergentes em amostras ambientais de águas, com foco na sustentabilidade, acessibilidade e eficiência analítica. No primeiro estudo, investigou-se o uso da sílica mesoporosa SBA-15 funcionalizada com diferentes grupos funcionais como fase sorvente para a extração de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) por meio de microextração dispersiva em fase sólida (D-μ-SPE), com posterior determinação por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS). O método apresentou desempenho satisfatório na determinação desses contaminantes. No segundo trabalho, foi desenvolvido um dispositivo de extração impresso em 3D, com estrutura semelhante a um favo de mel, utilizando a tecnologia de modelagem por deposição fundida (FDM). Fabricado em poliamida com 15% de fibra de carbono, o dispositivo foi empregado na extração de pesticidas organoclorados e organofosforados, seguido pela análise por GC-MS. O sistema mostrou-se eficiente, reprodutível e capaz de realizar múltiplas extrações simultâneas por meio de uma plataforma de extração. No terceiro estudo, propôs-se um protótipo automatizado e de baixo custo para microextração por adsorção em poliamida não revestida (PANDA), utilizando um sistema impresso em 3D e programado por meio da plataforma eletrônica de código aberto Arduino. O sistema apresentou desempenho adequado para a determinação de 20 poluentes orgânicos por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas em tandem (LC-MS/MS), demonstrando ser uma alternativa viável e acessível para laboratórios com recursos limitados. Os métodos desenvolvidos foram totalmente otimizados, validados e aplicados com sucesso em amostras ambientais de águas. Além disso, foram avaliados positivamente quanto à sua sustentabilidade segundo métricas de química analítica verde. Os resultados obtidos evidenciam avanços significativos na miniaturização, automação e sustentabilidade dos processos de preparo de amostras, tornando técnicas analíticas modernas mais acessíveis e com menor impacto ambiental. Os trabalhos desenvolvidos trouxeram contribuições importantes nas áreas de desenvolvimento de novos materiais sorventes, uso de tecnologias de impressão 3D e implementação de soluções de baixo custo e automatizadas para a preparação de amostras em química analítica.

Palavras-chave: Microextração, química analítica verde, impressão 3D, automação, contaminantes ambientais.

ABSTRACT

This thesis presents the development and application of innovative methodologies for the extraction and determination of emerging contaminants in environmental water samples, focusing on sustainability, accessibility, and analytical efficiency. In the first study, mesoporous silica SBA-15 functionalized with different chemical groups was investigated as a sorbent phase for the extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by dispersive micro-solid-phase extraction (D-μ-SPE), followed by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS). The method presented satisfactory performance in determining these contaminants. The second work developed a novel rotating-disk sorptive device with a honeycomb-like structure fabricated by fused deposition modeling (FDM) 3D printing. Manufactured from polyamide with 15% carbon fiber, the device was used for the extraction of organochlorine and organophosphorus pesticides, followed by GC-MS analysis. The system proved to be efficient, reproducible, and capable of performing multiple simultaneous extractions through an extraction platform. In the third study, a low-cost automated prototype for polyamide noncoated adsorption-based microextraction (PANDA) was proposed, using a 3D-printed system programmed via the open-source Arduino electronic platform. The system presented adequate performance for the determination of twenty organic pollutants by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry (LC-MS/MS), demonstrating a viable and affordable alternative for laboratories with limited resources. The developed methods were fully optimized, validated, and successfully applied to environmental water samples. Additionally, they were positively evaluated according to green analytical chemistry metrics. The obtained results show significant advances in miniaturization, automation, and sustainability of sample preparation processes, making modern analytical techniques more accessible and environmentally friendly. The developed works contributed importantly to the fields of new sorbent material development, application of 3D printing technologies, and implementation of low-cost automated solutions for sample preparation in analytical chemistry.

Keywords: Microextraction, green analytical chemistry, 3D printing, automation, environmental contaminants.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 18

1.1 Contaminantes Emergentes 18

1.2 Preparo de Amostras 19

1.3 Impressão 3D e química analítica 22

1.4 Automação do preparo de amostras 25

2. OBJETIVOS 27

2.1 Objetivo Geral 27

2.2 Objetivos Específicos 27

3. ARTIGOS CIENTÍFICOS 29

3.1 Artigo Científico I 29

3.2 Artigo Científico II 67

3.3 Artigo Científico III 113

4. DISCUSSÃO 169

5. CONCLUSÃO 171

6. REFERÊNCIAS 174

7. CURRÍCULO LATTES 179

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Flu – Fluoreno (*Fluorene*);

1-met – 1-Metilnaftaleno (*1-methylnaphthalene*);

2-met – 2-Metilnaftaleno (*2-methylnaphthalene*);

ACN – Acetonitrila (*Acetonitrile*);

ABS – Acrilonitrila Butadieno Estireno (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*);

AM – Fabricação Aditiva (*Additive Manufacturing*);

AP – Grupo aminopropila (*Aminopropyl*);

APTES – (3-Aminopropil)trietoxissilano *(3-Aminopropyl)triethoxysilane*);

BAμE – Microextração Adsortiva em Barra (*Bar Adsorptive Microextraction*);

BET – Brunauer–Emmett–Teller;

BJH – Barrett–Joyner–Halenda;

CAD – Desenho Assistido por Computador (*Computer-Aided Design*);

CEs – Contaminantes Emergentes;

C8 – Octil (*Octyl*);

C8TES – Trietoxioctilsilano (*Triethoxyoctylsilane*);

C18 – Octadecil (*Octadecyl*);

C18TMS – Trimetoxioctadecilsilano (*Trimethoxy(octadecyl)silane*);

DDD – Diclorodifenildicloroetano (*Dichlorodiphenyldichloroethane*);

DDE – Diclorodifenildicloroetileno (*Dichlorodiphenyldichloroethylene*);

DDT – Diclorodifeniltricloroetano (*Dichlorodiphenyltrichloroethane*);

DES-DLLME – Microextração Líquido-Líquido Dispersiva com Solvente Eutético Profundo (*Deep Eutectic Solvent-Dispersive Liquid-Liquid Microextraction*);

D-μ-SPE – Microextração Dispersiva em Fase Sólida (*Dispersive Micro-Solid Phase Extraction*);

ELL – Extração Líquido-Líquido;

EtAc – Acetato de Etila (*Ethyl Acetate*);

FDM – Modelagem por Deposição Fundida (*Fused Deposition Modeling*);

FIA-MS/MS – Análise por Injeção em Fluxo acoplada à Espectrometria de Massas em Tandem (*Flow Injection Analysis–Tandem Mass Spectrometry*);

Flt – Fluoranteno (*Fluoranthene*);

FTIR – Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*);

GAC – Química Analítica Verde (*Green Analytical Chemistry*);

GC-MS – Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massas (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*);

HME – Extrusão a Quente (*Hot Melt Extrusion*);

HF-DLLME - Microextração Dispersiva Líquido-Líquido com Fibra Oca (*Hollow fiber dispersive liquid–liquid microextraction*)

HF-LPME – Microextração em Fase Líquida com Fibra Oca (*Hollow Fiber Liquid-Phase Microextraction*);

HLB - Equilíbrio Hidrofílico-Lipofílico (*Hydrophilic-Lipophilic Balanced*)

HPAs – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos;

IS – Padrão Interno (*Internal Standard*);

LC-MS – Cromatografia Líquida Acoplada à Espectrometria de Massas (*Liquid Chromatography–Mass Spectrometry*);

LC-MS/MS – Cromatografia Líquida Acoplada à Espectrometria de Massas em Tandem (*Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry*);

LOD – Limite de Detecção (*Limit of Detection*);

LOQ – Limite de Quantificação (*Limit of Quantification*);

LLE – Extração Líquido-Líquido (*Liquid-Liquid Extraction*);

LPME – Microextração em Fase Líquida (*Liquid-Phase Microextraction*);

MeOH – Metanol (*Methanol*);

MEPS – Microextração por Sorvente Empacotado (*Microextraction by Packed Sorbent*);

MRM – Monitoramento por Reação Múltipla (*Multiple Reaction Monitoring*);

NAP – Naftaleno (*Naphthalene*);

OCPs – Pesticidas Organo-Clorados (*Organochlorine Pesticides*);

OPPs – Pesticidas Organofosforados (*Organophosphorus Pesticides*);

PA – Poliamida (*Polyamide*);

PA + 15% C – Poliamida com 15% de Fibra de Carbono;

Pa-DPX – Extração em ponteira dispersiva paralela (*Parallel-disposable pipette extraction*);

PAHs – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*);

PANDA – Microextração por Adsorção em Poliamida Não Revestida (*Polyamide*

Noncoated Adsorption-based Microextraction);

PDMS – Polidimetilsiloxano (*Polydimethylsiloxane*);

PET – Polietileno (*Polyethylene*)

PETG – Polietileno Tereftalato Glicol;

PCL – Policaprolactona (*Polycaprolactone*);

PLA – Ácido Polilático (*Polylactic Acid*);

PP – Polipropileno (*Polypropylene*);

PS – Poliestireno (*Polystyrene*);

PVA – Álcool Polivinílico (*Polyvinyl Alcohol*);

Phe – Fenantreno (*Phenanthrene*);

Ph – Grupo fenila (*Phenyl*);

Pyr – Pireno (*Pyrene*);

RDSE – Extração Sorptiva por Disco Rotativo (*Rotating Disk Sorptive Extraction*);

SB μ-SPE – Microextração em Fase Sólida Suportada por Barra Magnética (*Stir-Bar Supported Micro-Solid-Phase Extraction*);

SBA-15 – *Santa Barbara Amorphous-15*;

SDME – Microextração com Gota Única (*Single Drop Microextraction*);

SIM – Modo de monitoramento de íons selecionados (*Selected Ion Monitoring*);

SPE – Extração em Fase Sólida (*Solid-Phase Extraction*);

SPME – Microextração em Fase Sólida (*Solid-Phase Microextraction*);

STL – Formato de arquivo para modelo 3D (*Standard Tessellation Language*).

SUPRAS-LPME – Microextração em Fase Líquida com Solvente Supramolecular (*Supramolecular Solvent – Liquid Phase Microextraction*);

TGA – Análise Termogravimétrica (*Thermogravimetric Analysis*);

TEM – Microscopia Eletrônica de Transmissão (*Transmission Electron Microscopy*);

TEOS – Ortossilicato de tetraetila (*Tetraethyl orthosilicate*);

TFME – Microextração por Filme Fino (*Thin-Film Microextraction*);

TF-SPME - Microextração em Fase Sólida por Filme Fino (*Thin Film Solid-Phase Microextraction*);

THF – Tetra-hidrofurano (*Tetrahydrofuran*);

TiO_2 – Dióxido de Titânio (*Titanium Dioxide*);

UV-Vis – Espectroscopia no Ultravioleta e Visível (*Ultraviolet-Visible Spectroscopy*);

WAC – Química Analítica Branca (*White Analytical Chemistry*);

VOC – Compostos Orgânicos Voláteis (*Volatile Organic Compounds*).

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FIGURAS DA INTRODUÇÃO

Figura 1. Técnica de preparo de amostras RDSE.

Figura 2. Protótipo PANDA impresso em 3D, compatível com sistema de placas de 96 poços.

LISTA DE FIGURAS ARTIGO I

Graphical Abstract

Fig 1. Transmission Electron Microscopy of SBA-15 (A and B), and FTIR of the sorbent phases (C and D).

Fig 2. Nitrogen adsorption and desorption isotherms (A) and pore size distribution of the sorbent phases (B).

Fig 3. Response surface for the optimization of centrifugation and desorption time of the desorption step. Sorbent phase: SBA-15/C8.

Fig 4. Scheme of the optimized sample preparation procedure developed in this study.

Fig 5. AGREEprep analysis of the method developed in this study.

LISTA DE FIGURAS MATERIAL SUPLEMENTAR ARTIGO I

Fig S1. Thermogravimetric analysis of the sorbent phases evaluated in this study.

Fig. S2. Bar graph obtained considering the extraction efficiency of PAHs for each sorbent phase examined in this study.

Fig. S3. Pareto chart obtained through a full factorial design (2^4) containing the main variables and their interactions. Sorbent phase: SBA-15/C8.

Fig. S4. Response surface using a simplex-centroid model for the optimization of the desorption solvent. Sorbent phase: SBA-15/C8.

Fig S5. Selected ion Monitoring (SIM) chromatogram from water sample spiked with the analytes at concentration of 50 µg L^{-1} and internal standard at concentration of 500 µg L^{-1}.

Fig S6. Selected ion Monitoring (SIM) chromatograms of real water samples.

LISTA DE FIGURAS ARTIGO II

Graphical Abstract

Fig. 1. Format and dimensions of the rotating-disks proposed in this study obtained with FreeCAD. Different points of view are shown, as follows: a) bottom; b) top; c) side; and d) 3D perspective.

Fig. 2. MicroCT analysis of a 3D-printed PA + 15% C disk used in this study. Different points of view are shown, as follows: a) bottom; b) side; and c) top.

Fig. 3. Bar graph for the evaluation of the extraction efficiency of each filament. RDSE conditions: 20 mL of ultrapure water spiked with 100 µg L^{-1} of the analytes, extraction time of 60 min, and desorption time of 20 min with 800 µL of acetonitrile. Analysis performed in triplicate.

Fig. 4. Response surfaces obtained for the optimization of the extraction conditions.

Fig. 5. Scheme of the optimized RDSE procedure developed in this study.

LISTA DE FIGURAS MATERIAL SUPLEMENTAR ARTIGO II

Fig. S1. Response surface obtained for the optimization of desorption conditions. Experimental conditions: 20 mL of water sample spiked with 100 µg L^{-1}, extraction time of 120 min (1100 rpm) and 800 µL of desorption solvent.

Fig. S2. Picture of the extraction platform operating at full capacity

Fig. S3. Selected ion Monitoring (SIM) chromatograms obtained from a RDSE in water sample spiked with the analytes at concentration of 25 µg L^{-1} and internal standard at concentration of 100 µg L^{-1}, using the optimized procedure.

Fig. S4. Selected ion Monitoring (SIM) chromatograms obtained from RDSE in real water samples, using the optimized procedure.

Fig. S5. AGREEprep metrics for the analytical methodology proposed in this study.

LISTA DE FIGURAS ARTIGO III

Graphical Abstract

Fig. 1. Prototype for adsorption-based microextraction developed in this study. **a)** scheme of the 3D-printed components designed using FreeCad software; **b)** mechanical parts which were assembled with the 3D-printed components; **c)** diagram of the electronic components and connections of the prototype; **d)** photograph of the prototype in operation, with extraction pins immersed in a series of water samples.

Fig. 2. Photograph of a set of extraction blades (48 pins) employed in adsorption-based microextraction.

Fig. 3. Evaluation of the extraction efficiency of each polymeric filament. Extraction conditions: 3 mL of ultrapure water spiked with 100 µg L^{-1} of the analytes, extraction time of 90 min, and desorption time of 20 min with 300 µL of ACN. Analysis performed in triplicate.

Fig. 4. a) Optimization of extraction time and NaCl concentration (%); **b)** Triangular surface obtained by a simplex-centroid design for desorption solvent optimization; **c)** response surface obtained for the optimization of solvent volume and desorption time.

Fig. 5. Overview of the experimental procedure used in this study.

LISTA DE FIGURAS MATERIAL SUPLEMENTAR ARTIGO III

Fig. S1. A detailed description of the 3D-printed components of the proposed device.

Fig. S2. Scheme of the 3D-printed device with the components previously described in Fig. S1.

Fig. S3. Multiple reaction monitoring (MRM) chromatograms obtained from water sample spiked with the analytes at concentration of 10 µg L^{-1} and internal standard at concentration of 50 µg L^{-1}, using the optimized procedure.

Fig. S4. Multiple reaction monitoring (MRM) chromatograms of real water samples, using the optimized procedure.

Fig. S5. Sample preparation metric of sustainability (SPMS) for this approach.

LISTA DE TABELAS

LISTA DE TABELAS ARTIGO I

Table 1. Limits of detection and quantification, linear range, weighting factor, determination coefficients and linear equation with confidence intervals (95%) for the proposed method, using SBA-15/C8 as sorbent phase.

Table 2. Relative recovery and precisions for the target compounds in water samples analyzed by the proposed method (SBA-15/C8 as sorbent phase).

Table 3. Comparison of the analytical features obtained with this study and other reported methods for the determination of PAHs in environmental water samples using dispersive (micro) solid-phase extraction.

LISTA DE TABELAS MATERIAL SUPLEMENTAR ARTIGO I

Table S1. Chemical structure, molecular weight, retention time, log P and MS information for internal standard and target analytes.

Table S2. Surface area and pore volume values of sorbent phases.

Table S3. Solvent ratios used to optimize the desorption solvent.

LISTA DE TABELAS ARTIGO II

Table 1. Limits of detection and quantification, linear range, weighting factor, r^2, linear equation, standard deviations of the slope and intercept and standard error of the regression (confidence intervals 95%) for the analytes.

Table 2. Relative recoveries and precisions for the target compounds in water samples.

Table 3. Comparison of the analytical features obtained with this study and other reported methods for the determination of pesticides in environmental water samples.

LISTA DE TABELAS MATERIAL SUPLEMENTAR ARTIGO II

Table S1. Chemical structure, molecular weight, retention time, log P and MS information for the internal standard (IS) and target analytes.

Table S2. 3D-printing settings applied for each material to produce the rotating disks.

Table S3. Matrix of the central composite design used for the optimization of the extraction step.

Table S4. Matrix of the Doehlert design used for the optimization of the desorption step.

LISTA DE TABELAS ARTIGO III

Table 1. Limits of detection and quantification, linear range, weighting factor, r^2, and linear equation for the analytes.

Table 2. Relative recoveries and precisions for the target analytes in water samples.

Table 3. Comparison of the analytical features obtained with this study and previously reported methods for the determination of organic pollutants in environmental water samples.

LISTA DE TABELAS MATERIAL SUPLEMENTAR ARTIGO III

Table S1. Chemical structure, log P and pKa information for target analytes and internal standard (IS).

Table S2. LC-MS/MS data including retention times, ionization mode and transitions for the analytes

Table S3. 3D-printing settings to produce the extraction blades.

Table S4. 3D-printing settings to manufacture the structure the sample preparation device.

Table S5. Matrix of the Doehlert design for the optimization of the extraction step.

Table S6. Matrix of the simplex centroid design applied for the optimization of solvent composition.

Table S7. Matrix of the Doehlert design for the optimization of the desorption step.

Table S8. Arduino code used in this study.

Table S9. Application of the proposed methodology in sixteen water samples.

Table S10. Electronic spreadsheet for the greenness evaluation.

Table S11. Parameters evaluated with SPMS.

Table S12. Spreadsheet with the score for each available criteria for this methodology.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contaminantes Emergentes

Os contaminantes emergentes (CEs) correspondem a um conjunto diversificado de poluentes que, embora já estejam presentes em várias matrizes ambientais – como água, solo e ar – ainda não são suficientemente monitorados nem regulamentados pelas normas ambientais vigentes. Esse grupo inclui uma ampla variedade de substâncias, como produtos farmacêuticos, de higiene pessoal, pesticidas, hormônios sintéticos, produtos químicos industriais, drogas ilícitas e seus metabólitos ou produtos de biotransformação [1–3].

A ausência de regulamentação específica para esses compostos está relacionada, principalmente, à falta de dados conclusivos sobre seus efeitos ambientais e toxicológicos. Muitos CEs apresentam características preocupantes, como alta persistência no ambiente, resistência aos tratamentos convencionais de remoção e capacidade de bioacumulação na cadeia alimentar, o que os torna potencialmente perigosos tanto para os ecossistemas quanto para a saúde humana, especialmente em exposições de longo prazo [4].

As fontes de emissão dos CE são variadas e incluem o descarte de efluentes domésticos e industriais, o escoamento agrícola, a deposição atmosférica e processos de lixiviação. Esses mecanismos facilitam a entrada desses compostos nos rios, lagos, solos e até no ar, representando um desafio crescente para o monitoramento ambiental e a gestão da qualidade da água [4].

A presença frequente desses contaminantes em águas superficiais, subterrâneas e até mesmo potáveis tem despertado crescente preocupação, especialmente porque os corpos hídricos acumulam resíduos provenientes de diferentes fontes. Estudos recentes sugerem que a exposição a CEs pode causar efeitos adversos à fertilidade e à saúde de organismos aquáticos e humanos. No entanto, os possíveis impactos à saúde associados às concentrações geralmente detectadas ainda são motivo de debate na literatura científica [5,6].

A presente pesquisa investigou diferentes grupos de contaminantes emergentes, selecionados por sua relevância ambiental, toxicológica e diversidade de propriedades químicas. O primeiro estudo abordou hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), poluentes hidrofóbicos e persistentes, majoritariamente oriundos de processos de combustão, reconhecidos por seu potencial carcinogênico e elevada estabilidade no ambiente [7]. O segundo estudo abordou agrotóxicos organoclorados e organofosforados,

amplamente utilizados na agricultura e associados à alta persistência ambiental, toxicidade, carcinogenicidade e efeitos adversos à saúde humana e aos ecossistemas. Apesar de restrições ao uso, esses compostos ainda são encontrados no ambiente [8,9]. O terceiro estudo, por sua vez, englobou uma ampla gama de compostos de diferentes classes químicas — incluindo fármacos, hormônios e agrotóxicos — evidenciando o desafio analítico de detectar simultaneamente substâncias com ampla variação de propriedades físico-químicas. Essa seleção de analitos permitiu avaliar o desempenho das metodologias propostas frente a diferentes perfis químicos, reforçando sua aplicabilidade em cenários reais e complexos de monitoramento ambiental.

No contexto brasileiro, revisões recentes sobre a presença de contaminantes emergentes em águas continentais evidenciam a relevância ambiental do tema, ao apontarem a ocorrência recorrente desses compostos em diversos corpos hídricos e a ineficiência dos sistemas convencionais de tratamento de efluentes em removê-los completamente. As estações de tratamento de água e esgoto foram projetadas principalmente para remover sólidos, matéria orgânica e microrganismos, não sendo eficazes contra contaminantes em concentrações traço, especialmente os quimicamente estáveis ou pouco biodegradáveis. Assim, esses resíduos podem persistir no efluente e alcançar corpos d’água, ampliando sua dispersão ambiental. Isso evidencia a necessidade de metodologias analíticas sensíveis e seletivas para detectar essas substâncias em níveis traço [10,11].

1.2 Preparo de Amostras

A maioria das metodologias analíticas requer um preparo prévio das amostras antes da análise instrumental, principalmente devido à complexidade das matrizes, às baixas concentrações dos analitos e à necessidade de compatibilidade com os instrumentos analíticos. Esse preparo frequentemente envolve técnicas de extração baseadas em materiais sólidos ou solventes, sendo a extração líquido-líquido (ELL) e a extração em fase sólida (SPE) as abordagens tradicionais mais empregadas [12].

Estas técnicas são reconhecidas por sua elevada precisão e eficiência na recuperação dos analitos em diferentes matrizes aquosas. No entanto, apresentam limitações significativas, como o elevado consumo de solventes tóxicos, a necessidade de grandes volumes de amostra e a execução de múltiplas etapas manuais, fatores que

implicam riscos à saúde do operador, impacto ambiental e baixa produtividade analítica [13].

Nesse contexto, o desenvolvimento de metodologias rápidas, eficientes e simplificadas tem se tornado uma demanda crescente na Química Analítica. Embora a evolução dos instrumentos analíticos modernos tenha promovido avanços notáveis em termos de sensibilidade e robustez, a etapa de preparo da amostra ainda representa uma etapa crucial para o sucesso da análise [14].

Até as décadas de 1990 e 2000, as técnicas clássicas de preparo de amostras dominavam a Química Analítica, apesar das suas limitações. Com o avanço das técnicas de microextração, como a microextração em fase sólida (SPME) e as diferentes configurações da microextração em fase líquida (LPME), foi possível minimizar essas limitações, promovendo métodos mais rápidos, eficientes e menos agressivos ao meio ambiente. Essas novas abordagens estão alinhadas aos conceitos da Química Analítica Verde (GAC, *Green Analytical Chemistry*) e da Química Analítica Branca (WAC, *White Analytical Chemistry*), que buscam equilibrar sustentabilidade e desempenho.

Aliadas ao aumento da sensibilidade dos instrumentos, as técnicas de microextração têm sido cada vez mais utilizadas por seu baixo consumo de solventes, alta eficiência e possibilidade de automação [15–17].

Uma tendência nessa área é a utilização de fases extratoras alternativas em técnicas de microextração. A principal vantagem dessa abordagem é a possibilidade de empregar fases extratoras específicas para determinados grupos de analitos, o que contribui para maior seletividade, exatidão e precisão, além de favorecer a obtenção de melhores limites de detecção (LODs) e quantificação (LOQs) [18].

Nesse cenário, destaca-se a microextração dispersiva em fase sólida (D-μ-SPE), uma técnica miniaturizada de preparo de amostras que tem ganhado destaque devido à sua simplicidade, eficiência e alinhamento com os princípios da sustentabilidade em química analítica. Nessa técnica, o material sorvente é disperso diretamente na amostra líquida, promovendo uma interação rápida com os analitos presentes. A dispersão do sorvente pode ser realizada por diferentes estratégias, como sonicação, agitação magnética, agitação com vórtex ou agitação mecânica. Após o tempo de contato adequado, o sorvente contendo os analitos adsorvidos é separado da matriz por processos simples, como centrifugação ou filtração, e os analitos são posteriormente eluídos com um reduzido volume de solvente compatível com à técnica analítica instrumental empregada [19].

Outra interessante técnica de extração miniaturizada baseada em materiais sorventes é a extração sortiva em disco rotativo (RDSE, *Rotating Disk Sorptive Extraction*), que foi proposta pela primeira vez no ano de 2009. O dispositivo de extração consiste em um disco de Teflon com uma barra de agitação incorporada. A fase extratora é aderida à superfície superior do disco, que é movimentado por um agitador magnético comum de laboratório, conforme **Figura 1**. Esta técnica permite grande superfície de contato entre o sorvente e a amostra, facilitando o processo de extração [20].

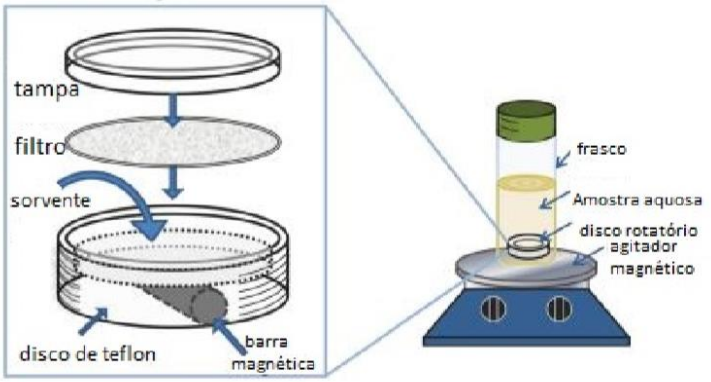


Figura 1. Técnica de preparo de amostras RDSE.

Fonte: Adaptado de [21].

No primeiro estudo com a técnica RDSE, membranas de polidimetilsiloxano (PDMS) foram utilizadas para a extração de nonilfenol em amostras aquosas, com a rotação do disco promovendo um contato eficiente entre a fase extratora e a amostra [20]. A partir desse estudo inicial, a técnica RDSE passou a ser aplicada na extração e análise de diversos analitos, como pesticidas em amostras de arroz [22] e fármacos anti-inflamatórios não esteroidais em urina [23]. Recentemente, fases extratoras baseadas em materiais renováveis, como cortiça [24] e quitosana [25], vêm sendo exploradas, o que tem ampliado as possibilidades de aplicação da técnica, tornando-a mais versátil e alinhada aos princípios da sustentabilidade.

Entre as abordagens mais atuais voltadas ao aprimoramento do preparo de amostras, destaca-se a aplicação da impressão 3D, que tem viabilizado a produção de dispositivos analíticos customizados e adaptáveis a diferentes necessidades experimentais.

1.3 Impressão 3D em química analítica

Nos últimos anos, a manufatura aditiva (MA), também chamada de impressão 3D, tem se consolidado como uma valiosa tecnologia para o avanço no campo do preparo de amostras, permitindo a rápida confecção de dispositivos e contribuindo para o desenvolvimento de métodos automatizados [26]. A impressão 3D é um processo aditivo de prototipagem rápida na qual um objeto é construído tridimensionalmente a partir de um modelo digital, com a deposição sucessiva de finas camadas de material. Esta técnica tem ganhado popularidade devido à sua capacidade de produzir protótipos de forma simples, com precisão geométrica e sem a necessidade de pós-processamento, viabilizando a sua aplicação em diversas áreas, entre elas a química analítica [26–28].

Essa tecnologia permite a fabricação de materiais analíticos com características inéditas, sendo que já foi utilizada para a confecção de fases estacionárias para cromatografia [29], detectores [30], sensores [31] e dispositivos utilizados no preparo de amostras [32].

Com relação às técnicas de impressão 3D, a modelagem por deposição fundida (FDM, *Fused Deposition Modeling*) é amplamente empregada na fabricação de dispositivos utilizados no preparo de amostras, sobretudo por ser um método acessível, de fácil operação e compatível com uma ampla gama de materiais. Nesse processo, um filamento de polímero termoplástico é aquecido até atingir seu ponto de fusão, sendo extrudado por um bico aquecido e depositado camada por camada sobre uma plataforma de construção, até que o objeto final seja formado. À medida que o material resfria, ocorre sua solidificação, o que garante a estabilidade dimensional da peça impressa. A resolução do processo está relacionada ao diâmetro do bico extrusor, situando-se geralmente na faixa submilimétrica [27,33,34].

A técnica FDM é compatível com uma ampla variedade de polímeros termoplásticos comerciais, como polipropileno (PP), poliestireno (PS), policaprolactona (PCL), ácido polilático (PLA), álcool polivinílico (PVA), acrilonitrila butadieno estireno (ABS), polietileno (PET) e polietileno tereftalato glicol (PETG), além de filamentos compósitos reforçados com vidro ou carbono, o que amplia suas possibilidades de aplicação. A personalização dos filamentos por extrusão a quente (HME, *hot melt extrusion*) possibilita a incorporação de materiais ativos, agregando funcionalidades específicas aos dispositivos impressos. Embora o uso direto de filamentos comerciais convencionais como fases extratoras seja limitado pela sua composição química, modificações nos materiais – como a incorporação de aditivos – podem aprimorar

significativamente a seletividade e o desempenho dos dispositivos. A versatilidade química dos polímeros utilizados, aliada à possibilidade de suas modificações, faz com que a técnica de impressão FDM seja frequentemente empregada em preparações analíticas, especialmente no preparo de amostras [26,35].

No contexto da impressão 3D aplicada ao preparo de amostras, a etapa inicial consiste na criação de um modelo tridimensional virtual do objeto a ser fabricado. Esse modelo é desenvolvido utilizando um software de desenho assistido por computador (CAD), permitindo o detalhamento da geometria desejada. Em seguida, gera-se um arquivo no formato STL (*Standard Tessellation Language*), que contém a representação digital do projeto. Esse arquivo é processado por um programa de fatiamento, que divide o modelo em camadas horizontais. Essas camadas guiam a impressora 3D em seus movimentos ao longo dos eixos x, y e z, possibilitando a construção do objeto de forma precisa, camada por camada [35].

Diversos estudos têm evidenciado o potencial da impressão 3D na fabricação de fases extratoras e dispositivos para o preparo de amostras. Entre essas aplicações, destacam-se o desenvolvimento de filamentos modificados para remoção de compostos orgânicos voláteis em água [36], a criação de sorventes impressos para extração de hidrocortisona em plasma [37] e o desenvolvimento de dispositivos impressos voltados à remoção de íons metálicos e microplásticos em matrizes ambientais [38]. Além disso, foram propostos dispositivos magnéticos com formato semelhante a gaiola, impressos em 3D e preenchidos com micro e nanofibras poliméricas, empregados na extração de bisfenóis em amostras de água de rio [39]. Outra abordagem envolveu a impressão de suportes para acomodar fases sorventes a base de papel revestidos com poliamida, utilizados na extração de compostos disruptores endócrinos em amostras de água, por meio da técnica de TFME [40]. Esses avanços reforçam a versatilidade da impressão 3D como uma ferramenta promissora para aplicações em análises ambientais e bioanalíticas.

Dentre as diversas inovações no uso da impressão 3D para o preparo de amostras, destaca-se o desenvolvimento do dispositivo denominado PANDA (*Polyamide Noncoated Device for Adsorption-Based Microextraction*), proposto por Kołodziej et al. em 2022. Esse dispositivo é constituído por pentes extratores produzidos por impressão 3D, utilizando filamento de poliamida 6 reforçado com 15% de fibra de carbono. Esses pentes apresentam geometria semelhante à utilizada na técnica de microextração por filme fino (TFME) e são compatíveis com plataformas baseadas em placas de 96 poços [41]. Um dos principais diferenciais do PANDA é a possibilidade de realizar a extração

diretamente na superfície do material impresso, sem necessidade de aplicação de revestimentos adicionais, o que contribui para a redução de etapas no preparo, além de diminuir os custos e a geração de resíduos.

No estudo inicial, o dispositivo demonstrou desempenho satisfatório na extração de 38 compostos com diferentes propriedades físico-químicas, a partir de amostras de fluido oral. Em trabalho posterior, os autores ampliaram a investigação ao imprimir pentes utilizando 15 diferentes tipos de filamentos termoplásticos por FDM [42]. Na maioria dos casos, esses pentes puderam ser usados diretamente após a impressão, sem necessidade de tratamentos químicos adicionais. Os resultados evidenciam que a impressão 3D é uma estratégia promissora e versátil para a fabricação de dispositivos analíticos, com grande potencial de aplicação em sistemas automatizados e de alta produtividade. A **Figura 2** apresenta os diferentes pentes extratores impressos no estudo citado.

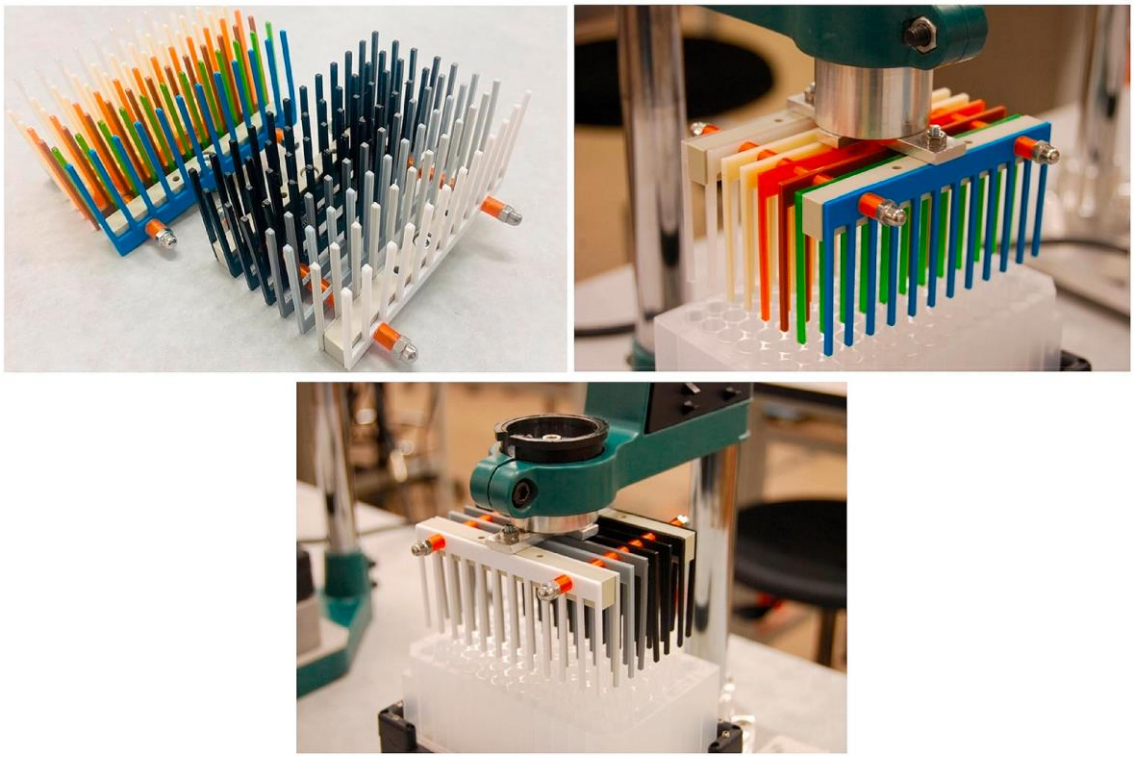


Figura 2. Protótipo PANDA impresso em 3D, compatível com sistema de placas de 96 poços.

Fonte: Apresentado por [35], adaptado com permissão de [42].

A impressão 3D tem se consolidado como uma técnica promissora que pode impulsionar o desenvolvimento da análise química, especialmente em técnicas miniaturizadas de extração, representando um campo com grande potencial de

crescimento. Além de possibilitar a produção de dispositivos personalizados, essa tecnologia tem estimulado o avanço de sistemas automatizados para o preparo de amostras. A integração da impressão 3D com plataformas eletrônicas acessíveis permite criar soluções integradas que automatizam etapas analíticas, promovendo maior reprodutibilidade, eficiência e redução de custos.

1.4 Automação do preparo de amostras

A aplicação de sistemas automatizados nas técnicas de preparo de amostras visa substituir ou minimizar as operações manuais, utilizando dispositivos capazes de executar etapas do processo de forma autônoma. Os principais objetivos incluem tornar o processo mais reprodutível e eficiente, minimizar falhas associadas à manipulação manual, otimizar o tempo de preparo e viabilizar o processamento simultâneo de diversas amostras com menor intervenção do operador. Normalmente, essa implementação envolve o uso de técnicas de fluxo contínuo e sistemas robóticos [43].

Apesar dos avanços na área, automatizar técnicas de extração – tradicionais ou miniaturizadas – ainda representa um desafio significativo na análise química. Existem equipamentos comerciais que possibilitam a automação de algumas técnicas de microextração, mas esses dispositivos são, em geral, caros e inacessíveis para muitos laboratórios. Por esse motivo, vem crescendo o interesse pelo desenvolvimento de sistemas de microextração construídos em laboratório [44].

Nesse contexto, é importante o desenvolvimento sistemas compatíveis com softwares de código aberto, que ofereçam flexibilidade no ajuste de parâmetros analíticos, como tempo, número de ciclos e agitação, evitando limitações impostas por programações rígidas. Plataformas como o Arduino destacam-se nesse sentido, surgindo como soluções acessíveis e de fácil operação para os usuários [45].

Recentemente, diversos estudos têm investido na automação de técnicas de microextração utilizando plataformas desenvolvidas com controladores Arduino, complementadas por componentes impressos em 3D e materiais de baixo custo. Um destaque é o robô cartesiano multifuncional criado em 2019, capaz de realizar integralmente o preparo de amostras e ser conectado diretamente a sistemas analíticos como cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC–MS) [46]. Essa plataforma apresentou excelente desempenho em aplicações envolvendo microextração com gota única (SDME) e microextração em fase líquida com fibra oca (HF-LPME), demonstrando alta precisão e exatidão [47,48].

Em outra abordagem, um amostrador automático multisseringa foi projetado para operar com a técnica de microextração por sorvente empacotado (MEPS) na análise de canabinoides em urina humana, incorporando ainda sorventes alternativos, como polímeros de impressão molecular [49]. Mais recentemente, um sistema compacto e impresso em 3D foi construído para realizar D-μSPE com materiais magnéticos, aplicado à determinação de acilcarnitinas e análise por injeção em fluxo acoplada à espectrometria de massas em tandem (FIA-MS/MS). Apesar de processar uma amostra por vez, o dispositivo apresentou desempenho analítico satisfatório, evidenciando o potencial de sistemas abertos e personalizáveis no avanço da automação do preparo de amostras.

Considerando os avanços recentes e as demandas crescentes no campo do preparo de amostras para a determinação de contaminantes emergentes em águas ambientais, este trabalho integrou três abordagens complementares. De forma integrada, estes estudos avançaram desde o uso de fases extratoras nanométricas para hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, passando pelo desenvolvimento de um dispositivo tridimensional para extração de pesticidas, até a criação de um protótipo automatizado no formato PANDA. Em conjunto, demonstram o potencial de unir materiais inovadores, manufatura aditiva e automação para criar metodologias de preparo de amostras mais sustentáveis, acessíveis e alinhadas às demandas analíticas atuais.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver metodologias utilizando técnicas de microextração baseadas em materiais sorventes para a determinação de contaminantes emergentes em amostras ambientais de água.

2.2 Objetivos Específicos

- Sintetizar e caracterizar materiais sorventes nanoestruturados à base de sílica modificada para aplicação em microextração dispersiva em fase sólida (D-µSPE).
- Otimizar os principais parâmetros que influenciam a extração por D-µSPE: tipo de sorvente, massa do sorvente, volume de amostra, tempo de extração, tempo de centrifugação, solvente de dessorção e tempo de dessorção.
- Validar o método proposto para a determinação de HPAs em água por D-µSPE, quanto aos parâmetros analíticos de mérito (limites de detecção e quantificação, linearidade, precisão e exatidão).
- Aplicar a metodologia desenvolvida para a análise de HPAs em amostras ambientais de água.
- Projetar e fabricar, por impressão 3D, um novo dispositivo sorvente com arquitetura tipo favo de mel para uso na técnica de extração sortiva por disco rotativo (RDSE).
- Otimizar os principais parâmetros que influenciam a extração por RDSE: tipo de sorvente, velocidade de agitação, concentração de NaCl e tempo de dessorção.
- Validar o método proposto para a determinação de organoclorados e organofosforados em água por RDSE, quanto aos parâmetros analíticos de mérito (limites de detecção e quantificação, linearidade, precisão e exatidão).
- Aplicar a metodologia desenvolvida para a análise de organoclorados e organofosforados em amostras ambientais de água.
- Projetar e fabricar, por impressão 3D, pentes de extração à base de poliamida.
- Desenvolver e montar o sistema automatizado de extração por adsorção baseada em poliamida sem revestimento (PANDA), incluindo componentes mecânicos impressos em 3D e integração eletrônica com microcontrolador Arduino para controle preciso dos movimentos verticais.

- Otimizar os principais parâmetros que influenciam a extração por PANDA: tipo de sorvente, tempo de extração, concentração de NaCl, solvente, tempo e volumes de dessorção.
- Validar o método proposto para a determinação de contaminantes emergentes em água utilizando o sistema automatizado PANDA impresso em 3D, quanto aos parâmetros analíticos de mérito (limites de detecção e quantificação, linearidade, precisão e exatidão).
- Avaliar a sustentabilidade dos métodos desenvolvidos utilizando métricas reconhecidas, considerando aspectos como consumo de solventes, geração de resíduos, tempo de preparo, segurança do operador e reutilização de materiais.

3. ARTIGOS CIENTÍFICOS

Os artigos científicos, cujas partes experimentais foram desenvolvidas no decorrer desta tese, são apresentados a seguir:

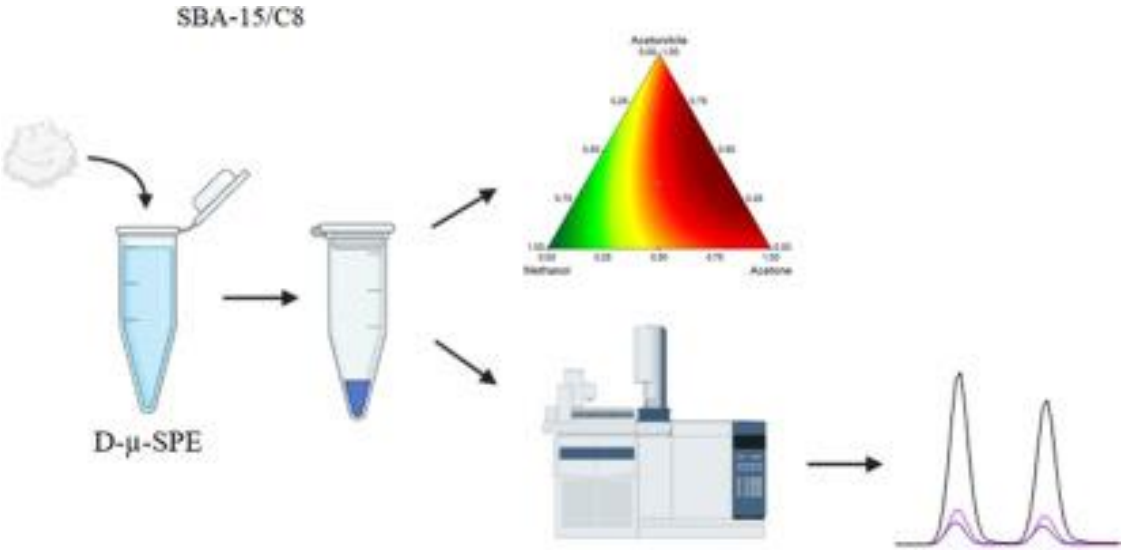
3.1 Artigo Científico I

Efficient analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons by dispersive-μ-solid-phase extraction using silica-based nanostructured sorbent phases coupled to gas chromatography-mass spectrometry

Artigo publicado na Revista científica **Advances in Sample Preparation**
https://doi.org/10.1016/j.sampre.2023.100070

Fator de impacto (*Journal Citation Reports* JCR 2023): 5.2

Graphical Abstract:



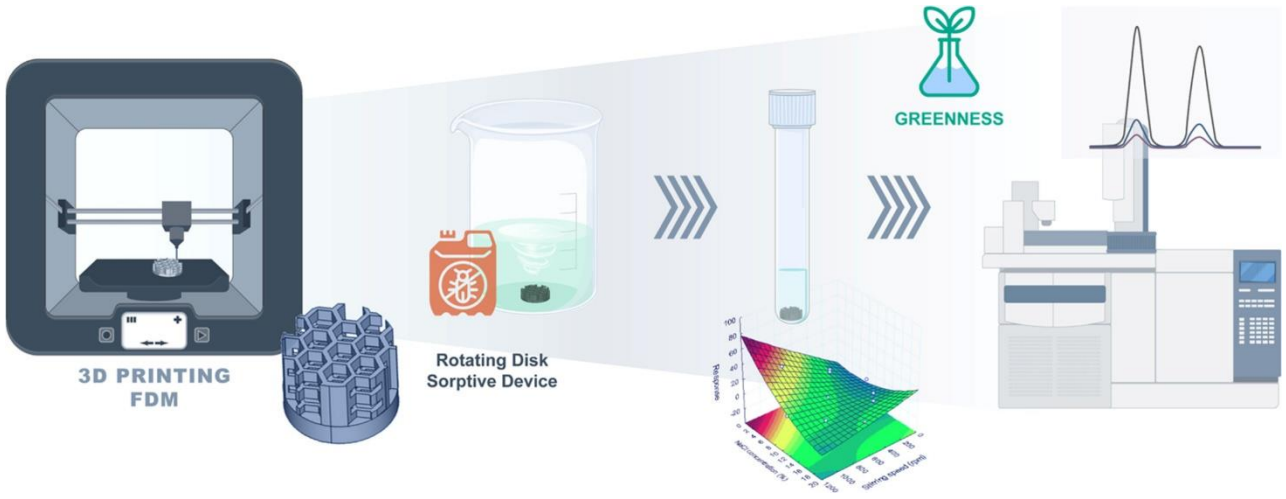
3.2 Artigo Científico II

A novel honeycomb-like 3D-printed device for rotating-disk sorptive extraction of organochlorine and organophosphorus pesticides from environmental water samples

Artigo publicado na Revista científica **Journal of Chromatography A**
https://doi.org/10.1016/j.chroma.2024.464892

Fator de impacto (JCR 2023): 3.8

Graphical Abstract:



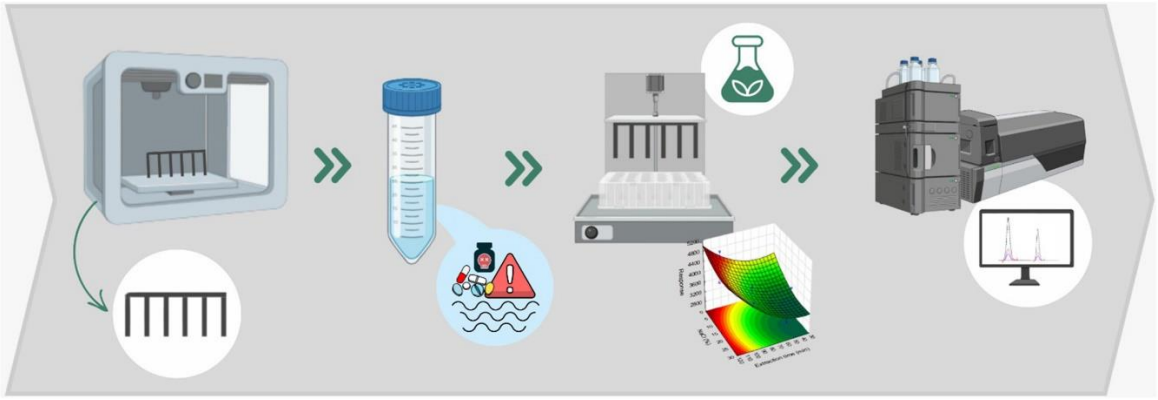
3.3 Artigo Científico III

Affordable 3D-printed prototype integrated with open-source electronic platform for low-cost polyamide noncoated adsorption-based microextraction

Artigo publicado na Revista científica **Analytica Chimica Acta**
https://doi.org/10.1016/j.aca.2025.344317

Fator de impacto (JCR 2023): 5.7

Graphical Abstract:



4. DISCUSSÃO

Os trabalhos desenvolvidos ao longo desta tese tiveram como objetivo explorar novas abordagens para técnicas de microextração voltadas à determinação de contaminantes emergentes em amostras ambientais de água, com ênfase na inovação de fases extratoras, no design de dispositivos e na automação de processos analíticos. Os três artigos que compõem esta tese refletem etapas complementares dessa proposta, cada um contribuindo com avanços específicos, mas interligados dentro de uma linha de pesquisa integrada.

O primeiro artigo – **Efficient analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons by dispersive-μ-solid-phase extraction using silica-based nanostructured sorbent phases coupled to gas chromatography-mass spectrometry** – descreve o uso de fases sorventes nanoestruturadas à base de sílica aplicadas na técnica D-μ-SPE**.** O foco principal esteve no aprimoramento da fase extratora, com resultados que evidenciaram o potencial das modificações na superfície da sílica para melhorar o desempenho analítico da técnica.

O segundo artigo – **A novel honeycomb-like 3D-printed device for rotating-disk sorptive extraction of organochlorine and organophosphorus pesticides from environmental water samples** – abordou o desenvolvimento de um dispositivo inédito para RDSE, fabricado por impressão 3D com arquitetura hexagonal tipo “favo de mel”. O dispositivo permitiu uma maior área de contato entre a amostra e a fase extratora, além de ser reutilizável, e evidenciou o potencial da manufatura aditiva como ferramenta para a customização e maior acessibilidade em dispositivos analíticos.

O terceiro estudo – **Affordable 3D-printed prototype integrated with open-source electronic platform for low-cost polyamide noncoated adsorption-based microextraction** – deu continuidade aos avanços anteriores ao propor a automação de etapas da preparação de amostras, por meio do desenvolvimento de um protótipo de bancada de baixo custo, produzido por impressão 3D e integrado a uma plataforma eletrônica de código aberto. Essa abordagem viabilizou maior controle operacional e redução da intervenção manual, com um custo significativamente inferior ao de plataformas comerciais disponíveis no mercado. O sistema também incorporou o uso de placas de 48 poços, permitindo elevado rendimento amostral e favorecendo a sua aplicação em análises de rotina.

Todos os métodos propostos nesta tese foram otimizados por meio de abordagens estatísticas univariadas e multivariadas, que permitiram a seleção de condições capazes de maximizar a resposta analítica, resultando em métodos mais eficientes, reprodutíveis e adequados à determinação de contaminantes emergentes em amostras ambientais de água. As variáveis avaliadas incluíram tipo e massa do sorvente, volumes de amostra e solvente de dessorção, tempos de extração e dessorção, além das condições de agitação. Esses parâmetros são essenciais em técnicas de extração baseadas em sorventes, pois afetam diretamente a eficiência de extração, a seletividade analítica e a capacidade de adsorção.

A adequada escolha do tipo e da massa de sorvente garante uma superfície de contato apropriada para a interação com os analitos, evitando tanto a saturação quanto o uso excessivo de sorvente. A definição dos volumes de amostra e solvente de dessorção visa maximizar a concentração dos compostos extraídos, ao mesmo tempo em que reduz o consumo de reagentes, favorecendo a sustentabilidade do método. Já os tempos e as intensidades de agitação influenciam a cinética de extração e a eficiência do processo, sendo fatores determinantes para a viabilidade em rotinas analíticas.

Adicionalmente, todos os métodos foram validados, apresentando parâmetros de mérito satisfatórios (LOD, LOQ, linearidade, precisão e exatidão). A sustentabilidade também foi avaliada por meio de métricas consolidadas, e os resultados indicaram práticas alinhadas aos princípios da química verde, com destaque para a redução no consumo de solventes, a minimização de resíduos e o uso de materiais acessíveis e reutilizáveis. Esses fatores reforçam a aplicabilidade das propostas desenvolvidas nesta tese, não apenas do ponto de vista técnico, mas também em consonância com os princípios da química verde e com as demandas contemporâneas por soluções analíticas mais sustentáveis.

Após a otimização e validação, os métodos desenvolvidos foram aplicados à análise de amostras reais de água subterrânea e superficial, provenientes de diferentes regiões e contextos ambientais. Em todos os trabalhos, foi possível detectar contaminantes em concentrações acima dos respectivos limites de quantificação para alguns analitos, demonstrando a aplicabilidade das metodologias propostas para o monitoramento de poluentes nessa matriz ambiental. Esses resultados reforçam não apenas a eficiência analítica dos métodos, mas também a importância de se realizar esse tipo de análise, dada a presença recorrente de contaminantes emergentes em recursos hídricos e os potenciais riscos associados à exposição contínua.

Os três métodos desenvolvidos apresentaram desempenho analítico competitivo em comparação com outras abordagens reportadas na literatura, destacando-se pelo baixo consumo de amostras, solventes e materiais sorventes, além da capacidade de detectar múltiplos compostos com limites de detecção e quantificação satisfatórios. O primeiro método apresentou baixos tempos de extração e dessorção, favorecendo um maior rendimento analítico, enquanto o segundo e o terceiro método apresentaram tempos maiores, uma limitação comum às técnicas de extração utilizadas. No entanto, essa desvantagem é compensada pela simplicidade dos procedimentos, possibilidade de automação e maior reprodutibilidade, especialmente no método automatizado do terceiro estudo.

A sustentabilidade dos métodos propostos foi avaliada por meio de métricas específicas, como AGREEprep e SPMS que consideram aspectos como consumo de solventes, geração de resíduos, segurança do operador, simplicidade do procedimento e reutilização dos materiais. Os resultados indicaram que as metodologias apresentam um perfil sustentável satisfatório, destacando-se pela redução no uso de reagentes e volumes de amostra, minimização da geração de resíduos e pela utilização de materiais acessíveis e reutilizáveis. A automação implementada em um dos métodos contribuiu para a redução da intervenção manual, aumentando a reprodutibilidade e a segurança do processo. Essas características reforçam o compromisso dos métodos desenvolvidos com os princípios da química verde, tornando-os adequados para aplicações práticas em análises ambientais sustentáveis.

5. CONCLUSÃO

Esta tese apresentou avanços significativos no desenvolvimento e aplicação de metodologias inovadoras para a extração e determinação de contaminantes emergentes em amostras ambientais, com ênfase na sustentabilidade, acessibilidade e eficiência analítica. Os três estudos que compõem este trabalho demonstraram a viabilidade e o impacto de diferentes estratégias, desde o uso de fases sorventes nanostruturadas, passando por dispositivos impressos em 3D com arquiteturas inovadoras, até a integração de soluções automatizadas de baixo custo para microextração.

No primeiro estudo, foi proposto e otimizado um método sustentável e sensível baseado na extração dispersiva em fase sólida utilizando SBA-15 funcionalizada com grupos octil (SBA-15/C8), sendo esta a primeira aplicação desse material nanostruturado para a extração de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em águas ambientais. A fase sorvente mostrou elevada estabilidade química e mecânica, e a metodologia demandou quantidades mínimas do sorvente (apenas 2 mg), o que, aliado à rápida execução e baixo impacto ambiental, ressalta seu alinhamento com os princípios da química analítica verde. Essa abordagem reforça a importância do estudo e desenvolvimento de materiais sorventes nanostruturados versáteis para aplicações analíticas específicas.

O segundo trabalho introduziu um dispositivo sorvente inovador em formato de disco rotativo com estrutura em favo de mel, fabricado por impressão 3D via FDM. O uso de poliamida reforçada com fibra de carbono garantiu alta eficiência e reprodutibilidade na extração de pesticidas organoclorados e organofosforados, com a vantagem adicional de permitir a execução simultânea de múltiplas extrações. A simplicidade e baixo custo de produção, bem como a possibilidade de reutilização do dispositivo, evidenciam a aplicabilidade e sustentabilidade da metodologia.

No terceiro estudo, foi desenvolvido um protótipo automatizado, acessível e de baixo custo para microextração por PANDA, integrando impressão 3D e plataforma eletrônica de código aberto. Esse sistema não apenas minimiza a necessidade de intervenção do analista, mas também facilita o acesso à automação em laboratórios com recursos limitados, com um custo de produção cerca de dez vezes menor que os dispositivos comerciais similares. A versatilidade arquitetônica e a capacidade de customização do dispositivo ampliam as possibilidades para futuras aplicações em química analítica, especialmente com potencial para adaptação a sistemas com alta capacidade de processamento de amostras, como placas de 96 poços. Embora seja necessária a continuação do desenvolvimento para alcançar uma automação completa, os resultados alcançados até o momento representam um avanço significativo no caminho para métodos mais acessíveis e sustentáveis.

Diante do aumento do consumo e descarte de substâncias como fármacos, pesticidas e produtos de uso industrial e doméstico, os contaminantes emergentes têm se tornado cada vez mais presentes em ambientes aquáticos, mesmo após o tratamento convencional. Nesse cenário, o desenvolvimento de métodos analíticos sensíveis, eficientes e ambientalmente responsáveis é fundamental para viabilizar o monitoramento adequado desses compostos. Os métodos desenvolvidos ao longo deste trabalho representam

ferramentas importantes que podem apoiar futuras estratégias de vigilância ambiental e iniciativas voltadas à proteção da qualidade da água.

Por fim, esta tese abre caminhos para futuros estudos que exploram novos formatos de dispositivos impressos em 3D, materiais específicos para aplicações direcionadas, e a integração de sistemas de automação mais completos, ampliando o potencial da química analítica verde no monitoramento ambiental e na garantia da qualidade da água. O trabalho realizado contribui de forma relevante para a química analítica ao integrar inovação tecnológica, sustentabilidade e acessibilidade, aspectos cada vez mais importantes para o desenvolvimento de soluções eficazes e responsáveis na área da química ambiental.

6. REFERÊNCIAS

[1] Li X, Shen X, Jiang W, Xi Y, Li S. Comprehensive review of emerging contaminants: Detection technologies, environmental impact, and management strategies. Ecotoxicol Environ Saf 2024;278:116420. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116420.

[2] Sodré FF, Pescara IC, Montagner CC, Jardim WF. Assessing selected estrogens and xenoestrogens in Brazilian surface waters by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Microchem J 2010;96:92–8. https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.02.012.

[3] Petrovic M, Barceló D. Liquid chromatography-mass spectrometry in the analysis of emerging environmental contaminants. Anal Bioanal Chem 2006;385:422–4. https://doi.org/10.1007/s00216-006-0450-1.

[4] Khan S, Naushad M, Govarthanan M, Iqbal J, Alfadul SM. Emerging contaminants of high concern for the environment: Current trends and future research. Environ Res 2022;207:112609. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112609.

[5] Schriks M, Heringa MB, van der Kooi MME, de Voogt P, van Wezel AP. Toxicological relevance of emerging contaminants for drinking water quality. Water Res 2010;44:461–76. https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.08.023.

[6] Rathi BS, Kumar PS, Show PL. A review on effective removal of emerging contaminants from aquatic systems: Current trends and scope for further research. J Hazard Mater 2021;409:124413. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124413.

[7] Turazzi FC, Morés L, Carasek E, Merib J, De Oliveira Barra GM. A rapid and environmentally friendly analytical method based on conductive polymer as extraction phase for disposable pipette extraction for the determination of hormones and polycyclic aromatic hydrocarbons in river water samples using high-performance l. J Environ Chem Eng 2019;7. https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103156.

[8] Wang W, Li Z, Zhang S, Yang X, Zang X, Wang C, et al. Triazine-based porous organic framework as adsorbent for solid-phase microextraction of some organochlorine pesticides. J Chromatogr A 2019;1602:83–90. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.06.001.

[9] Zahiri E, Khandaghi J, Farajzadeh MA, Afshar Mogaddam MR. Combination of dispersive solid phase extraction with solidification organic drop–dispersive liquid–liquid microextraction based on deep eutectic solvent for extraction of organophosphorous pesticides from edible oil samples. J Chromatogr A 2020;1627:461390. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.461390.

[10] Quadra GR, Oliveira de Souza H, Costa R dos S, Fernandez MA dos S. Do pharmaceuticals reach and affect the aquatic ecosystems in Brazil? A critical review of current studies in a developing country. Environ Sci Pollut Res 2017;24:1200–18. https://doi.org/10.1007/s11356-016-7789-4.

[11] Montagner CC, Vidal C, Acayaba RD. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. Quim Nova 2017;40:1094–110. https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170091.

[12] Carasek E, Merib J. Membrane-based microextraction techniques in analytical chemistry: A review. Anal Chim Acta 2015;880:8–25. https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.02.049.

[13] Niu Z, Zhang W, Yu C, Zhang J, Wen Y. Recent advances in biological sample preparation methods coupled with chromatography, spectrometry and electrochemistry analysis techniques. TrAC - Trends Anal Chem 2018;102:123–46. https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.02.005.

[14] Merib J. High-throughput platforms for microextraction techniques. Anal Bioanal Chem 2023;415:3671–81. https://doi.org/10.1007/s00216-022-04504-7.

[15] Martins RO, de Araújo GL, de Freitas CS, Silva AR, Simas RC, Vaz BG, et al. Miniaturized sample preparation techniques and ambient mass spectrometry as approaches for food residue analysis. J Chromatogr A 2021;1640:461949. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2021.461949.

[16] Carasek E, Morés L, Merib J. Basic principles, recent trends and future directions of microextraction techniques for the analysis of aqueous environmental samples. Trends Environ Anal Chem 2018;19:e00060. https://doi.org/10.1016/j.teac.2018.e00060.

[17] Nowak PM, Wietecha-Posłuszny R, Pawliszyn J. White Analytical Chemistry: An approach to reconcile the principles of Green Analytical Chemistry and functionality. TrAC Trends Anal Chem 2021;138:116223. https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116223.

[18] Augusto F, Carasek E, Silva RGC, Rivellino SR, Batista AD, Martendal E. New sorbents for extraction and microextraction techniques. J Chromatogr A 2010;1217:2533–42. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.12.033.

[19] Chisvert A, Cárdenas S, Lucena R. Dispersive micro-solid phase extraction. TrAC - Trends Anal Chem 2019;112:226–33. https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.12.005.

[20] Richter P, Leiva C, Choque C, Giordano A, Sepúlveda B. Rotating-disk sorptive extraction of nonylphenol from water samples. J Chromatogr A 2009;1216:8598–602. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.10.044.

[21] Cañas A, Valdebenito S, Richter P. A new rotating-disk sorptive extraction mode, with a copolymer of divinylbenzene and N-vinylpyrrolidone trapped in the cavity of the disk, used for determination of florfenicol residues in porcine plasma Microextraction Techniques. Anal Bioanal Chem 2014;406:2205–10. https://doi.org/10.1007/s00216-014-7628-8.

[22] Omena E, Oenning AL, Merib J, Richter P, Rosero-Moreano M, Carasek E. A green and simple sample preparation method to determine pesticides in rice using a combination of SPME and rotating disk sorption devices. Anal Chim Acta 2019;1069:57–65. https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.04.002.

[23] Manzo V, Miró M, Richter P. Programmable flow-based dynamic sorptive microextraction exploiting an octadecyl chemically modified rotating disk extraction system for the determination of acidic drugs in urine. J Chromatogr A 2014;1368:64–9. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.09.079.

[24] Vieira CMS, Mafra G, Brognoli R, Richter P, Rosero-Moreano M, Carasek E. A high throughput approach to rotating-disk sorptive extraction (RDSE) using laminar cork for the simultaneous determination of multiclass organic micro-pollutants in aqueous sample by GC-MS. Talanta 2020;208. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120459.

[25] Arismendi D, Vera I, Ahumada I, Richter P. A thin biofilm of chitosan as a sorptive phase in the rotating disk sorptive extraction of triclosan and methyl triclosan from water samples. Anal Chim Acta 2023;1252. https://doi.org/10.1016/j.aca.2023.341053.

[26] Li F, Ceballos MR, Balavandy SK, Fan J, Khataei MM, Yamini Y, et al. 3D Printing in analytical sample preparation. J Sep Sci 2020;43:1854–66. https://doi.org/10.1002/jssc.202000035.

[27] Duarte LC, De Carvalho TC, Lobo-Júnior EO, Abdelnur P V., Vaz BG, Coltro WKT. 3D printing of microfluidic devices for paper-assisted direct spray ionization mass spectrometry. Anal Methods 2016;8:496–503. https://doi.org/10.1039/c5ay03074a.

[28] Hoque ME, Chuan YL, Pashby I. Extrusion based rapid prototyping technique: An advanced platform for tissue engineering scaffold fabrication. Biopolymers 2012;97:83–93. https://doi.org/10.1002/bip.21701.

[29] Macdonald NP, Currivan SA, Tedone L, Paull B. Direct Production of Microstructured Surfaces for Planar Chromatography Using 3D Printing. Anal Chem 2017;89:2457–63. https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b04546.

[30] Cecil F, Guijt RM, Henderson AD, Macka M, Breadmore MC. One step multi-material 3D printing for the fabrication of a photometric detector flow cell. Anal Chim Acta 2020;1097:127–34. https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.10.075.

[31] Rusling JF. Developing Microfluidic Sensing Devices Using 3D Printing. ACS Sensors 2018;3:522–6. https://doi.org/10.1021/acssensors.8b00079.

[32] Su CK, Peng PJ, Sun YC. Fully 3D-Printed Preconcentrator for Selective Extraction of Trace Elements in Seawater. Anal Chem 2015;87:6945–50. https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b01599.

[33] Gross BC, Erkal JL, Lockwood SY, Chen C, Spence DM. Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. Anal Chem 2014;86:3240–53. https://doi.org/10.1021/ac403397r.

[34] Szynkiewicz D, Georgiev P, Ulenberg S, Bączek T, Belka M. Dispersive solid-phase extraction facilitated by newly developed, fully 3D-printed device. Microchem J 2023;187. https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.108367.

[35] Aquino Monteiro S, Scheid C, Deon M, Merib J. Fundamentals, recent applications, and perspectives of 3D printing in sample preparation approaches. Microchem J 2023;195:109385. https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109385.

[36] Lagalante LA, Lagalante AJ, Lagalante AF. 3D printed solid-phase extraction sorbents for removal of volatile organic compounds from water. J Water Process Eng 2020;35:101194. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101194.

[37] Adye DR, Ponneganti S, Malakar TK, Radhakrishnanand P, Murty US, Banerjee S, et al. Extraction of small molecule from human plasma by prototyping 3D printed sorbent through extruded filament for LC-MS/MS analysis. Anal Chim Acta 2021;1187:339142. https://doi.org/10.1016/j.aca.2021.339142.

[38] Fijoł N, Aguilar-Sánchez A, Ruiz-Caldas MX, Redlinger-Pohn J, Mautner A, Mathew AP. 3D printed polylactic acid (PLA) filters reinforced with polysaccharide nanofibers for metal ions capture and microplastics separation from water. Chem Eng J 2023;457. https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.141153.

[39] Šrámková IH, Horstkotte B, Erben J, Chvojka J, Švec F, Solich P, et al. 3D-Printed Magnetic Stirring Cages for Semidispersive Extraction of Bisphenols from Water Using Polymer Micro- A nd Nanofibers. Anal Chem 2020;92:3964–71. https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b05455.

[40] Scur R, Dagnoni Huelsmann R, Carasek E. Polyamide-coated paper-based sorptive phase applied in high-throughput thin film microextraction designed by 3D printing. Microchem J 2023;189:108515. https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.108515.

[41] Kołodziej D, Sobczak Ł, Goryński K. Polyamide Noncoated Device for Adsorption-Based Microextraction and Novel 3D Printed Thin-Film Microextraction Supports. Anal Chem 2022;94:2764–71. https://doi.org/10.1021/acs.analchem.1c03672.

[42] Kołodziej D, Sobczak Ł, Goryński K. Innovative, simple, and green: A sample preparation method based on 3D printed polymers. Talanta 2023;257. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2023.124380.

[43] Sartore DM, Vargas Medina DA, Bocelli MD, Jordan-Sinisterra M, Santos-Neto ÁJ, Lanças FM. Modern automated microextraction procedures for bioanalytical, environmental, and food analyses. J Sep Sci 2023;46. https://doi.org/10.1002/jssc.202300215.

[44] Vargas Medina DA, Maciel EVS, Lanças FM. Modern automated sample preparation for the determination of organic compounds: A review on robotic and on-flow systems. TrAC - Trends Anal Chem 2023;166. https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117171.

[45] Bortolotto A, Will C, Huelsmann RD, Carasek E. Lab-made automated parallel-dispersive pipette extraction device for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in distilled beverages (sugarcane spirits) using HPLC-DAD. J Chromatogr A 2024;1733. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2024.465257.

[46] Medina DAV, Rodriguez Cabal LF, Lanças FM, Santos-Neto ÁJ. Sample treatment platform for automated integration of microextraction techniques and liquid chromatography analysis. HardwareX 2019;5. https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00056.

[47] Medina DAV, Rodríguez Cabal LF, Titato GM, Lanças FM, Santos-Neto ÁJ. Automated online coupling of robot-assisted single drop microextraction and liquid chromatography. J Chromatogr A 2019;1595:66–72. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.02.036.

[48] Bocelli MD, Vargas Medina DA, Rodriguez JPG, Lanças FM, Santos-Neto ÁJ. Determination of parabens in wastewater samples via robot-assisted dynamic single-drop microextraction and liquid chromatography–tandem mass spectrometry. Electrophoresis 2022;43:1567–76. https://doi.org/10.1002/elps.202100390.

[49] Sartore DM, Vargas Medina DA, Costa JL, Lanças FM, Santos-Neto ÁJ. Automated microextraction by packed sorbent of cannabinoids from human urine using a lab-made device packed with molecularly imprinted polymer. Talanta 2020;219. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121185.

7. CURRÍCULO LATTES



Camila Scheid

Endereço para acessar este CV: http://lattes.cnpq.br/5260534343210314
ID Lattes: **5260534343210314**
Ultima atualização do currículo em 09/06/2025

Possui graduação em Química Industrial pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2018) e mestrado em Ciências da Saúde pela Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (2021). Membro do Grupo de Estudos em Preparo de Amostras e Cromatografia (GEPAC), liderado pelo Professor Dr. Josias de Oliveira Merib. Atualmente é técnico de laboratório da UFCSPA, atuando na Central Analítica da instituição. **(Texto informado pelo autor)**

Identificação

Nome

Camila Scheid

Nome em citações bibliográficas

SCHEID, C.;SCHEID, CAMILA

Lattes iD

http://lattes.cnpq.br/5260534343210314

País de Nacionalidade

Brasil

Endereço

Endereço Profissional

FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIENCIAS DA SAUDE DE PORTO ALEGRE, Central Analítica.
Rua Sarmento Leite
Centro Histórico
90050170 - Porto Alegre, RS - Brasil
Telefone: (51) 5133038000
Ramal: 8883
URL da Homepage: https://www.centralanalitica.org/

Formação acadêmica/titulação

2021

Doutorado em andamento em BIOCIÊNCIAS.
FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIENCIAS DA SAUDE DE PORTO ALEGRE, UFCSPA, Brasil.
Título: Explorando o uso de novos dispositivos e fases extratoras alternativas em técnicas de microextração para a determinação de contaminantes emergentes em águas superficiais.
Orientador: Josias de Oliveira Merib.
Coorientador: Monique Deon.

2019 - 2021

Mestrado em Ciências da Saúde.
FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIENCIAS DA SAUDE DE PORTO ALEGRE, UFCSPA, Brasil.
Título: Avaliação da microextração líquido-líquido homogênea com solventes de hidrofilicidade comutável na determinação de MDMA, MDA e NBOMes em amostras de sangue postmortem, Ano de Obtenção: 2021.
Orientador: Tiago Franco de Oliveira.
Coorientador: Josias de Oliveira Merib.

2011 - 2018

Graduação em Química Industrial.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil.
Título: Desenvolvimento de metodologia alternativa para decomposição de fármacos anti-hipertensivos visando a posterior determinação de metais pesados.
Orientador: Juliana Severo Fagundes Pereira.

2002 - 2006

Ensino Médio (2º grau).
Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, SALZANO, Brasil.

2002 - 2005

Curso técnico/profissionalizante em Química.
Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, SALZANO, Brasil.

Formação Complementar

2016 - 2016

Operação e Manutenção Básica no sistema GC.. (Carga horária: 10h).
SINC DO BRASIL, SB_FORN, Brasil.

2016 - 2016

Curso de Elaboração de Mapas de Risco. (Carga horária: 8h).
FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIENCIAS DA SAUDE DE PORTO ALEGRE, UFCSPA, Brasil.

2016 - 2016

C01 Auditoria e Inspeção de Laboratórios e Unidades Biocontidas NB-3.. (Carga horária: 8h).
Associação Nacional de Biossegurança, ANBIO, Brasil.

2016 - 2016

Operação e Manutenção Básica no sistema HPLC.. (Carga horária: 10h).
SINC DO BRASIL, SB_FORN, Brasil.

2016 - 2016

Curso de Formação de Brigada de Incêndio. (Carga horária: 20h).
Centro de Treinamento Padre Reus, CTPR, Brasil.

2015 - 2015

Soluções para preparo de amostras e separações cromatográficas. (Carga horária: 3h).
Agilent Technologies Brasil, AGILENT, Brasil.

2015 - 2015

Toxicologia Forense. (Carga horária: 13h).
FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIENCIAS DA SAUDE DE PORTO ALEGRE, UFCSPA, Brasil.

2010 - 2010

Operação ICP-MS. (Carga horária: 24h).
Agilent Technologies Brasil, AGILENT, Brasil.

2009 - 2009

Treinamento em NBR/IEC 17025:2005. (Carga horária: 16h).
Jorge Cerqueira Consultores Associados, JCCA, Brasil.

2009 - 2009

Interpretação das Normas ISO 9001:2008; ISO 14001:2004 e OSHAS 18001:2007. (Carga horária: 24h).
Jorge Cerqueira Consultores Associados, JCCA, Brasil.

Atuação Profissional

FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIENCIAS DA SAUDE DE PORTO ALEGRE, UFCSPA, Brasil.

Vínculo institucional

2015 - Atual

Vínculo: Servidor Público, Enquadramento Funcional: Técnico de Laboratório, Carga horária: 40, Regime: Dedicação exclusiva.

Outras informações

Técnica em química na Central Analítica. Realização de análises por espectrofotometria de absorção atômica, cromatografia gasosa (GC-MS e GC-FID), cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC-DAD/FL e LC-MS/MS), calorimetria diferencial de varredura, espectrofotometria UV/VIS e de fluorescência e infravermelho.

Souza Cruz S/A, SOUZA CRUZ, Brasil.

Vínculo institucional

2009 - 2015

Vínculo: , Enquadramento Funcional: Técnica de Pesquisa, Carga horária: 40, Regime: Dedicação exclusiva.

Outras informações

Técnica de pesquisa no Laboratório de Análises Regulatórias. Determinação de amônia na fumaça do cigarro por cromatografia iônica. Determinação de metais em fumo e fumaça de cigarro por ICPMS e absorção atômica. Otimização e validação de métodos.

Fundação de Ciência e Tecnologia, CIENTEC, Brasil.

Vínculo institucional

2017 - 2017

Vínculo: Estágio curricular obrigatório, Enquadramento Funcional: Estágio Curricular Obrigatório, Carga horária: 20

Outras informações

Estágio curricular obrigatório realizado no Laboratório de Análises Cromatográficas.

Geyer Medicamentos S.A, GEYER, Brasil.

Vínculo institucional

2007 - 2009

Vínculo: Celetista, Enquadramento Funcional: Técnica de Laboratório, Carga horária: 40, Regime: Dedicação exclusiva.

Outras informações

Técnica do controle de qualidade. Análises da matéria-prima e produto final. Análises espectrofotométricas e baseadas na farmacopeia.

Áreas de atuação

1.

Grande área: Ciências Exatas e da Terra / Área: Química.

Idiomas

Inglês

Compreende Razoavelmente, Fala Pouco, Lê Razoavelmente, Escreve Razoavelmente.

Prêmios e títulos

2019

Participação como colaborador-Trabalho Destaque de Sessão. Título: Planejamento Multivariado como Ferramenta para a Otimização

das Condições de Extração de Contaminantes em Amostras Aquosas Ambientais, Congresso UFCSPA: conectando saúde e sociedade.

Produções

Produção bibliográfica

Citações

Google Scholar

Total de trabalhos: 21 Total de citações: 150 Data: 28/05/2025

https://scholar.google.com.br/citations?hl=pt-BR&pli=1&authuser=2&user=SWJdrpwAAAAJ

Artigos completos publicados em periódicos

Ordenar por

Ordem Cronológica

1.

RIGO, DANIELA ; GURAK, POLIANA DEYSE ; DE MELO, DENISE WIBELINGER ; GARCIA, BRUNA REIS ; **SCHEID, CAMILA** ; DE OLIVEIRA MERIB, JOSIAS ; DE SOUZA CRUZ, FERNANDA MUCCILLO TEIXEIRA ; KLEIN, MANUELA POLETTO . Acrylamide Levels and Health Risk Assessment from Consumption of Ultra-Processed Wheat Flour-Based Products: A Brazilian Perspective. JOURNAL OF FOOD COMPOSITION AND ANALYSIS JCR, v. 145, p. 107819, 2025.

2.

SCHEID, CAMILA; MONTEIRO, SOFIA AQUINO ; MELLO, WENDELL ; VELHO, MAIARA CALLEGARO ; DOS SANTOS, JULIANA ; BECK, RUY CARLOS RUVER ; DEON, MONIQUE ; MERIB, JOSIAS . A novel honeycomb-like 3D-printed device for rotating-disk sorptive extraction of organochlorine and organophosphorus pesticides from environmental water samples. JOURNAL OF CHROMATOGRAPHY A JCR, v. 1722, p. 464892, 2024. **Citações:** WEB OF SCIENCE ™ 1 | SCOPUS 1

3.

DA SILVA RODRIGUES, FERNANDA ; JANTSCH, JEFERSON ; DE FARIAS FRAGA, GABRIEL ; LUIZA DE CAMARGO MILCZARSKI, VITORIA ; SILVA DIAS, VICTOR ; **SCHEID, CAMILA** ; DE OLIVEIRA MERIB, JOSIAS ; GIOVERNARDI, MARCIA ; PADILHA GUEDES, RENATA . Cannabidiol improves maternal obesity-induced behavioral, neuroinflammatory and neurochemical dysfunctions in the juvenile offspring. BRAIN BEHAVIOR AND IMMUNITY JCR, v. 119, p. 301-316, 2024. **Citações:** WEB OF SCIENCE ™ 2 | SCOPUS 2

4.

DALANHOL, CAROLINA SILVEIRA ; **SCHEID, CAMILA** ; MERIB, JOSIAS . Effervescent-assisted Liquid-phase Microextraction Employing Switchable Hydrophilicity Solvent for the Determination of Cortisol and Testosterone in Oral Fluid by High-Performance Liquid Chromatography-

Diode Array Detection. JOURNAL OF SEPARATION SCIENCE JCR, v. 47, p. e70022, 2024. **Citações:** WEB OF SCIENCE ™ 2 | SCOPUS 2

5.

ÁLVARES, ANDRESSA ANELO ; SILVA, LUCAS TOLIO ; CAVALCANTE, LUANA SOUZA ; PIRES, DAFNE MARCELLE ALVES ; MACHADO, ISABEL CRISTINA KASPER ; ABOY, ANA LUCIA ; MELLO, WENDELL ; **SCHEID, CAMILA** ; MERIB, JOSIAS ; GARAVAGLIA, JULIANO . Impact of olive leaves powder addition on extra virgin olive oil: Sensory, quality, nutritional and volatile compounds implications. JOURNAL OF THE AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY (ONLINE) JCR, v. 101, p. 1367-1381, 2024.

6.

MONTEIRO, SOFIA AQUINO ; **SCHEID, CAMILA** ; MACHADO, CAROLINA SOUZA ; MERIB, JOSIAS . A high-throughput sample preparation approach for the determination of nonsteroidal anti-inflammatory drugs in urine samples through membrane-based microextraction employing a green supramolecular solvent. Green Analytical Chemistry, v. 10, p. 100142, 2024. **Citações:** WEB OF SCIENCE ™ 1

7.

VIDAL, F. R. ; OSSANES, DANIELA SOUZA ; BIRK, L. ; **SCHEID, CAMILA** ; BARBOSA, FÁBIO S. ; DALLEGRAVE, E. ; MERIB, JOSIAS ; ELLER, S. ; OLIVEIRA, T. F. . Development and validation of a dried plasma spot LC?MS/MS method for therapeutic monitoring of vancomycin and comparison with enzyme-multiplied immunoassay. BIOMEDICAL CHROMATOGRAPHY JCR, v. 37, p. 1-8, 2023. **Citações:** WEB OF SCIENCE ™ 3 | SCOPUS 4

8.

SCHEID, CAMILA; MELLO, W. ; BUCHNER, S. ; BENVENUTTI, E. V. ; DEON, M. ; MERIB, J. . Efficient analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons by dispersive-μ-solid-phase extraction using silica-based nanostructured sorbent phases coupled to gas chromatography-mass spectrometry. Advances in Sample Preparation JCR, v. 7, p. 100070-1, 2023. **Citações:** WEB OF SCIENCE ™ 9 | SCOPUS 7

9.

AQUINO MONTEIRO, SOFIA ; **SCHEID, CAMILA** ; DEON, MONIQUE ; MERIB, JOSIAS . Fundamentals, recent applications, and perspectives of 3D printing in sample preparation approaches. MICROCHEMICAL JOURNAL JCR, v. 195, p. 109385, 2023. **Citações:** WEB OF SCIENCE ™ 6 | SCOPUS 7

10.

AVERBUCH, NATÁLIA CRISTINA ; SILVA, LUCAS TOLIO ; CAVALCANTE, LUANA SOUZA ; MACHADO, ISABEL CRISTINA KASPER ; DOS SANTOS, SARA OBERLAENDER ; NOGUEIRA, JULIA LEÃO ; **SCHEID, CAMILA** ; MERIB, JOSIAS ; GARAVAGLIA, JULIANO . Evolution of the quality and sensory characteristics of extra virgin olive oil as affected by phenolic content during long-time storage at room temperature. JSFA reports, v. 3, p. 320-330, 2023. **Citações:** WEB OF SCIENCE ™ 3 | SCOPUS 3

11.

NASCIMENTO, GICELE SANTOS DO ; BORGES, GABRIELA RAMOS ; **SCHEID, CAMILA** ; GARAVAGLIA, JULIANO . Article Evaluation of chemical and sensory composition of banana with cinnamon liqueur: effect of storage process. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS (ONLINE) JCR, v. 43, p. 1, 2023.

12.

ESPINDULA, ELIANDRO ; SPERB, EDILENA REIS ; MOZ, BRENDA ; PANKIEVICZ, VÂNIA CARLA SILVA ; TULESKI, THALITA REGINA ; TADRA-SFEIR, MICHELLE ZIBETTI ; BONATO, PALOMA ; **SCHEID, CAMILA** ; MERIB, JOSIAS ; SOUZA, EMANUEL MALTEMPI DE ; PASSAGLIA, LUCIANE MARIA PEREIRA . Effects on gene expression during maize-Azospirillum interaction in the presence of a plant-specific inhibitor of indole-3-acetic acid production. GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY (ONLINE VERSION) JCR, v. 46, p. e20230100, 2023. **Citações:** WEB OF SCIENCE™ 3 | SCOPUS 3

13.

SCHEID, CAMILA; ELLER, SARAH ; OENNING, ANDERSON LUIZ ; CARASEK, EDUARDO ; MERIB, JOSIAS ; DE OLIVEIRA, TIAGO FRANCO . Application of Homogeneous Liquid-Liquid Microextraction with Switchable Hydrophilicity Solvents to the Determination of MDMA, MDA and NBOMes in Postmortem Blood Samples. JOURNAL OF ANALYTICAL TOXICOLOGY JCR, v. x, p. x-x, 2021. **Citações:** WEB OF SCIENCE™ 11 | SCOPUS 8

14.

COIMBRA, MASURQUEDE A. ; BARBOSA, FÁBIO S. ; **SCHEID, CAMILA** ; MACEDO, SANDRA M.D. ; YONAMINE, MAURICIO ; MERIB, JOSIAS O. ; OLIVEIRA, TIAGO F. ; ELLER, SARAH . Mass spectrometry determination of seized oil-based anabolic-androgenic steroids products. FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL JCR, v. x, p. 111012-x, 2021. **Citações:** WEB OF SCIENCE™ 4 | SCOPUS 5

15.

ALVES, MÔNICA SILVA ; NETO, LUIZ CARLOS FERREIRA ; **SCHEID, CAMILA** ; MERIB, JOSIAS . An overview of magnetic ionic liquids: From synthetic strategies to applications in microextraction techniques. JOURNAL OF SEPARATION SCIENCE JCR, v. x, p. x-x, 2021. **Citações:** WEB OF SCIENCE™ 31 | SCOPUS 26

16.

BORGES, GABRIELA RAMOS ; BIRK, LETÍCIA ; **SCHEID, CAMILA** ; MORÉS, LUCAS ; CARASEK, EDUARDO ; KITAMURA, RODRIGO OSSAMU SAGA ; ROVERI, FLÁVIA LOPES ; ELLER, SARAH ; DE OLIVEIRA MERIB, JOSIAS ; DE OLIVEIRA, TIAGO FRANCO . Simple and straightforward analysis of cannabinoids in medicinal products by fast-GC-FID. Forensic Toxicology JCR, v. 1, p. 1-5, 2020. **Citações:** WEB OF SCIENCE™ 10 | SCOPUS 9

17.

ELLER, SARAH ; BORGES, GABRIELA RAMOS ; OSSANES, DANIELA SOUZA ; BIRK, LETÍCIA ; **SCHEID, CAMILA** ; YONAMINE, MAURICIO ; GROSSI, PAULA ; MERIB, JOSIAS DE OLIVEIRA ; OLIVEIRA, TIAGO FRANCO DE . A rapid analytical strategy for the determination of ayahuasca alkaloids in non-ritualistic approaches by UHPLC-MS/MS. FORENSIC SCIENCE INTERNATIONAL JCR, v. 312, p. 110298, 2020. **Citações:** WEB OF SCIENCE™ 9 | SCOPUS 10

18.

MAFRA, GABRIELA ; BIRK, LETÍCIA ; **SCHEID, CAMILA** ; ELLER, SARAH ; BROGNOLI, RAFAEL ; DE OLIVEIRA, TIAGO FRANCO ; CARASEK, EDUARDO ; MERIB, JOSIAS . A straightforward and semiautomated membrane-based method as efficient tool for the determination of cocaine and its metabolites in urine samples using liquid chromatography coupled to quadrupole time-of-flight-mass spectrometry. JOURNAL OF CHROMATOGRAPHY A, v. 1621, p. 461088, 2020. **Citações:** WEB OF SCIENCE 13 | SCOPUS 14

Resumos publicados em anais de congressos

1.

NOGUEIRA, J. L. ; SANTOS, S. O. ; BIRK, L. ; **SCHEID, C.** ; ELLER, S. ; OLIVEIRA, T. F. ; MERIB, J. O. . Planejamento Multivariado como Ferramenta para a Otimização das Condições de Extração de Contaminantes em Amostras Aquosas Ambientais. In: Congresso UFCSPA: conectando saúde e sociedade, 2019, Porto Alegre. Congresso UFCSPA: conectando saúde e sociedade, 2019. v. 1. p. 1-1.

2.

BIRK, L. ; MARTINS, N. S. ; **SCHEID, C.** ; ELLER, S. ; MERIB, J. O. ; OLIVEIRA, T. F. . Análise de Cocaína e seus Adulterantes em Papel Moeda com Ionização por Paper Spray. In: Congresso UFCSPA: conectando saúde e sociedade, 2019, Porto Alegre. Congresso UFCSPA: conectando saúde e sociedade, 2019. v. 1. p. 1-1.

3.

MAFRA, G. ; **SCHEID, C.** ; ELLER, S. ; OLIVEIRA, T. F. ; CARASEK, E. ; MERIB, J. O. . A High-Throughput and Environmentally Friendly Methodology Based on Renewal Liquid Membrane Coupled to 96-Well Plate System for the Determination of Cocaine and its Metabolites in Urine Samples. In: XXI Brazilian Congress of Toxicology/ XV TIAFT Latin-American Regional Meeting, 2019, Águas de Lindoia. XXI Brazilian Congress of Toxicology/ XV TIAFT Latin-American Regional Meeting, 2019. v. 1. p. 82-82.

4.

MARTINS, N. S. ; BIRK, L. ; BORGES, G. R. ; **SCHEID, C.** ; MERIB, J. O. ; OLIVEIRA, T. F. ; ELLER, S. . Screening for Cocaine and Adulterants on Brazilian Banknotes by Lab-made Low-Voltage Paper Spray Source. In: XXI Brazilian Congress of Toxicology/ XV TIAFT Latin-American Regional Meeting, 2019, Águas de Lindoia. XXI Brazilian Congress of Toxicology/ XV TIAFT Latin-American Regional Meeting, 2019. v. 1. p. 90-90.

5.

BORGES, G. R. ; BIRK, L. ; DALANHOL, C. S. ; **SCHEID, C.** ; ELLER, S. ; MERIB, J. O. ; KITAMURA, R. O. S. ; OLIVEIRA, T. F. . Rapid Analysis for the Determination of Cannabinoids in Oil Samples by Fast-GC-FID Method. In: XXI Brazilian Congress of Toxicology/ XV TIAFT Latin-American Regional Meeting, 2019, Águas de Lindoia. XXI Brazilian Congress of Toxicology/ XV TIAFT Latin-American Regional Meeting, 2019. v. 1. p. 177-177.

6.

MACHADO, E. Q. ; **SCHEID, C.** ; PEREIRA, J. S. F. . Decomposição de anti-hipertensivos utilizando a MW-AD com ácido diluído para posterior determinação de metais. In: 26º Encontro de Química da Região Sul, 2019, Caxias do Sul. 26º Encontro de Química da Região Sul, 2019.

Artigos aceitos para publicação

1.

SCHEID, CAMILA; MONTEIRO, SOFIA AQUINO ; MACHADO, CAROLINA SOUZA ; DEON, MONIQUE ; MERIB, JOSIAS . Affordable 3D-printed prototype integrated with open-source electronic platform for low-cost polyamide noncoated adsorption-based microextraction. ANALYTICA CHIMICA ACTA, 2025.

Produção técnica

Trabalhos técnicos

1.

SCHEID, C.. Programa de Ensaio de Proficiência em Análises de Óleos Vegetais - Rede Metrológica. 2018.

Bancas

Participação em bancas de trabalhos de conclusão

Trabalhos de conclusão de curso de graduação

1.

KLEIN, MANUELA POLETTO; **SCHEID, CAMILA**. Participação em banca de Marina Schnarndorf.Caracterização de compostos voláteis em vinhos finos tinto e rosé seco Merlot do estado do Rio Grande do Sul. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Alimentos) - FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIENCIAS DA SAUDE DE PORTO ALEGRE.

2.

DEON, M.; **SCHEID, CAMILA**. Participação em banca de Rafaela Falcão Santos.Desenvolvimento Analítico para a determinação de Hexanal e Heptanal em urina. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biomedicina) - FUNDACAO UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIENCIAS DA SAUDE DE PORTO ALEGRE.

Eventos

Participação em eventos, congressos, exposições e feiras

1.

IX Congresso Brasileiro de Biossegurança. 2015. (Congresso).

Outras informações relevantes

Aprovada em concurso público (1º lugar), para atuar como Técnico de Laboratório - Área Química, na Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA), conforme Diário Oficial da União, seção 3, nº 39, de 27 de fevereiro de 2015. Atua como responsável técnica da UFCSPA para a aquisição de produtos controlados junto ao Exército, em conformidade com a Portaria 17/2020/PROPLAN, publicada no Boletim de Serviço nº 188 de 21/08/2020.

Página gerada pelo Sistema Currículo Lattes em 09/06/2025 às 15:16:34

Somente os dados identificados como públicos pelo autor são apresentados na consulta do seu Currículo Lattes.
Configuração de privacidade na Plataforma Lattes