



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 26 – Ano XII – 10/2024
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Redução dos efeitos genotóxicos e mutagênicos dos hormônios 17 β -estradiol e 17 α -etinilestradiol em água através do bioensaio *Allium cepa*

Isadora Amaral Ramos
Graduanda do curso de Ciência e Tecnologia
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Teófilo Otoni, Minas Gerais – UFVJM – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3239101306737797>
E-mail: isadora.amaral@ufvjm.edu.br

Fernanda Junger Schaper
Pós-graduada em Análises Clínicas, Farmacologia Clínica e Gestão de Pessoas
Mestranda em Tecnologia, Ambiente e Sociedade
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Teófilo Otoni, Minas Gerais – UFVJM – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9049532562734847>
E-mail: fernanda.schaper@ufvjm.edu.br

Cleide Aparecida Bomfeti
Doutora em Microbiologia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras/Universidade de Gent (UGENT)/ Flanders Institute for Biotechnology (VIB)
Docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Teófilo Otoni, Minas Gerais – UFVJM – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6451716197522417>
E-mail: cleide.bomfeti@ufvjm.edu.br

Jairo Lisboa Rodrigues
Doutor em Toxicologia pela Universidade de São Paulo (USP)/ Universidad de Castilla-La Mancha
Diretor do Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET) e docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Teófilo Otoni, Minas Gerais – UFVJM – Brasil

<http://lattes.cnpq.br/3747106487460025>

E-mail: jairo.rodriques@ufvjm.edu.br

Márcia Cristina da Silva Faria

Doutora em Toxicologia pela Universidade de São Paulo (USP)/ Instituto Nacional de Saúde Pública do México

Docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Teófilo Otoni, Minas Gerais – UFVJM – Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5872233186643899>

E-mail: marcia.faria@ufvjm.edu.br

Resumo: O presente trabalho tem por objetivo avaliar o efeito genotóxico e mutagênico dos hormônios 17 β -estradiol (E2) e 17 α -etinilestradiol (EE2) em amostras de água através do bioensaio de *Allium cepa*, antes e após filtração em filtro desenvolvido com composto de biomassa de casca de banana associados ao *Pleurotus ostreatus* e nanomaterial δ -FeOOH. Os resultados indicam que antes da filtração, os hormônios E2 e EE2 apresentaram elevados valores de toxicidade ($p < 0,05$), resultando em baixa taxa de germinação e crescimento radicular, quando comparados às amostras de água submetidas ao processo de filtração. Também foi observado um elevado número de aberrações cromossômicas, bem com a presença de micronúcleos, quando comparados às amostras filtradas ($p < 0,05$), evidenciando a eficácia do filtro para a remoção do E2 e EE2. Este estudo sugere que esse tipo de filtro é uma solução promissora e de baixo custo para mitigar os riscos associados a esses desreguladores endócrinos em processos de tratamento de água.

Palavras-chave: hormônio, adsorção, biomassa, nanomaterial, *Allium cepa*.

1. Introdução

Os contaminantes emergentes (CE) têm conquistado crescente atenção de pesquisadores e organizações, isto porque esses compostos, a exemplo de fármacos, pesticidas, hormônios, microplásticos e agrotóxicos, possuem potencial tóxico para a saúde humana e ecossistema e, por serem de surgimento relativamente recente, carecem de informações e não têm legislação específica (Tordin, 2018). Dentre estes poluentes, Sanderson et al. (2004) destacam os hormônios sexuais como um dos mais tóxicos, devido à sua ação como desreguladores endócrinos (DE).

Os hormônios são compostos químicos sintetizados pelo sistema endócrino, responsáveis por transmitir informações e regular processos como desenvolvimento, metabolismo, reprodução e resposta a estresses. Os principais hormônios excretados como efluentes são os hormônios sexuais femininos, também

chamados de estrógenos ou estrogênios. Esses podem ser gerados naturalmente pelo organismo ou produzidos para tratamento terapêutico e contracepção, como o 17 β -estradiol (E2) e 17 α -etinilestradiol (EE2), respectivamente, que possuem maior atividade estrogênica quando comparados a outros (Gama, 2010). Segundo Lopes et al. (2010), esses estrogênios são excretados em redes coletoras na forma de conjugados inativos, e, através de microrganismos presentes no local, são clivados e transformados em biocompostos ativos capazes de causar efeitos prejudiciais nos organismos vivos.

Apesar de terem níveis traços ($\mu\text{g.L}^{-1}$ e ng.L^{-1}) e meia-vida relativamente curta (Sousa, 2015), os estrógenos são continuamente lançados nos corpos hídricos, causando bioacumulação e aumentando consideravelmente a concentração desses hormônios nos seres humanos e demais espécies expostos (Reis Filho et al., 2006). Classificados como DE, esses compostos desregulam os mecanismos do sistema endócrino, resultando em desequilíbrios hormonais.

No Brasil, não há regulamentação que estabeleça um limite seguro de concentração de estrogênios nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) e de Água (ETA), apesar dos riscos conhecidos de mutações. Além disso, o tratamento convencional utilizado no país não é eficaz na remoção de micropoluentes orgânicos (MPO) (Cartaxo et al., 2020), e, por isso, estudos têm investigado formas de remover esses compostos. Entre as tecnologias economicamente viáveis, a adsorção pelo nanomaterial $\delta\text{-FeOOH}$ e pelas biomassas de casca de banana e de *Pleurotus ostreatus* se destacam por suas propriedades filtrantes promissoras.

O nanomaterial $\delta\text{-FeOOH}$, um adsorvente sintético e ferrimagnético, tem síntese barata e rápida, destacando-se por sua capacidade de regeneração, mesoporosidade interpartícula, grande área superficial e pequeno tamanho de partícula (Faria et al., 2014). A biomassa da casca de banana é uma opção viável como bioadsorvente por seu baixo custo, ampla adaptação e estrutura irregular e fibrosa, que favorece a retenção de substâncias (Boniolo; Yamaura; Monteiro, 2010). A biomassa do fungo *Pleurotus ostreatus* também é considerada um excelente bioadsorvente devido à quitina em sua parede celular, que atrai e retém substâncias por interações eletrostáticas (Araújo, 2021).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência do filtro das biomassas de casca de banana e *Pleurotus ostreatus* associadas ao nanomaterial

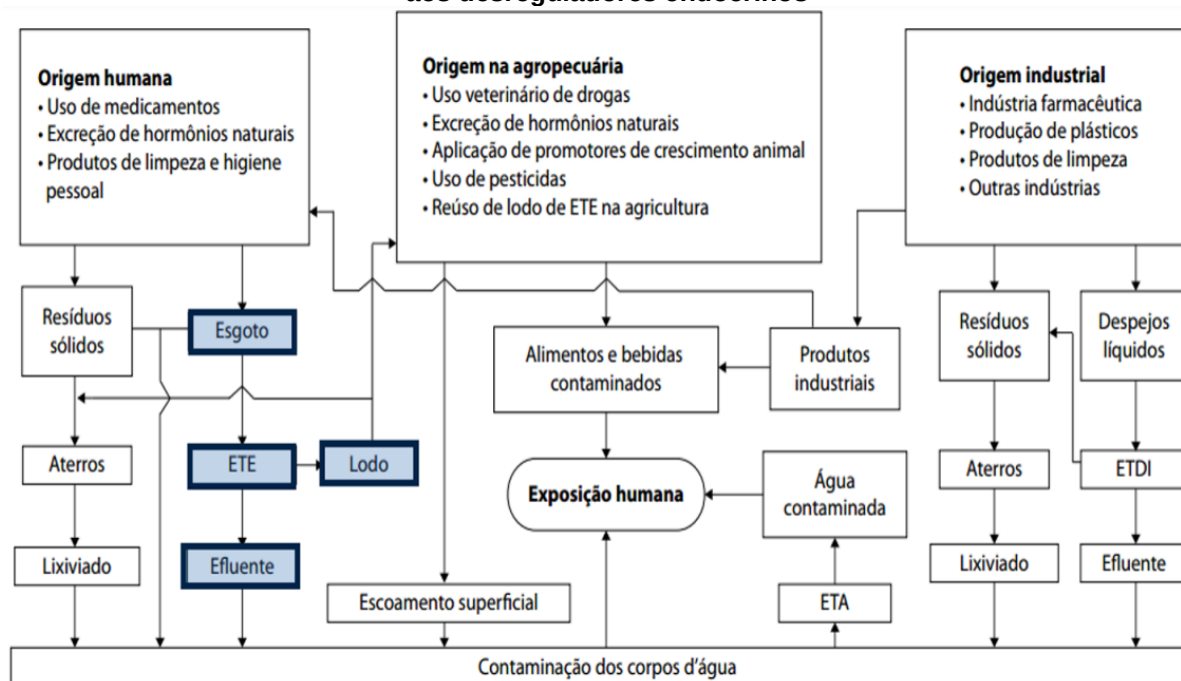
δ -FeOOH na adsorção dos hormônios E2 e EE2. A análise será realizada através do teste de *Allium cepa*, que permite avaliar a atividade tóxica, citotóxica, genotóxica e mutagênica que esses estrógenos podem causar em raízes de cebola.

Desreguladores endócrinos e hormônios 17 β -Estradiol e 17 α -Etinilestradiol

Segundo Fontenele *et al.* (2010), os desreguladores ou disruptores endócrinos (DE) são definidos pelo Programa Internacional de Segurança Química (IPCS) como substâncias ou misturas presentes no ambiente capazes de interferir no sistema endócrino, causando efeitos adversos em organismos e suas proles. Esses compostos podem imitar, bloquear ou alterar a ação dos hormônios naturais, perturbando o equilíbrio hormonal e a autorregulação do organismo. Os DE podem ser absorvidos pela pele, via nasal ou oral, interagindo com o sistema endócrino de diversas maneiras: ligando-se aos receptores hormonais e desencadeando respostas inadequadas, bloqueando a ação dos hormônios endógenos e impedindo sua ligação aos receptores, ou alterando a síntese, transporte, metabolismo e excreção dos hormônios (Fontenele *et al.*, 2010).

O ambiente aquático é o principal meio de exposição aos DE, já que a água se torna o destino final de muitos contaminantes (Gama, 2010), como medicamentos, produtos de cuidado pessoal, hormônios, pesticidas, antioxidantes, plásticos e produtos industrializados. Essas substâncias, quando oriundas de efluentes residenciais, podem adentrar nas redes de esgoto através de águas cinzas (provenientes de chuveiros, pias e lavanderias), águas negras (contendo excreção natural de pessoas que ingerem medicamentos ou de seus hormônios naturais) e pelo descarte inadequado de fármacos vencidos ou não utilizados. As estações de tratamento de esgoto (ETE) geralmente usam processos biológicos como principal método de tratamento, visando reduzir a carga de poluentes orgânicos e microrganismos patogênicos, e, portanto, sendo pouco eficazes na remoção de disruptores endócrinos, que se encontram em concentrações de $\mu\text{g.L}^{-1}$ e ng.L^{-1} (Bila e Dezotti, 2007; Passos Neto, 2020). A Figura 1 representa um esquema das possibilidades de contaminação em organismos humanos e seres aquáticos por DE, incluindo aqueles de origem agropecuária e industrial.

Figura 1 - Principais rotas de contaminação dos corpos d'água e exposição humana aos desreguladores endócrinos



ETE e ETDI: Estações de Tratamento de Esgoto e de Despejos Industriais; ETA: Estação de Tratamento de Água

Fonte: Adaptado de Aquino *et al.* (2013)

Os hormônios sexuais femininos, também conhecidos como estrógenos e estrogênios, destacam-se entre os principais disruptores endócrinos em virtude da sua alta atividade estrogênica em efluentes de ETE (Passos Neto, 2020). Os estrógenos naturais estrona (E_1) e principalmente 17β -estradiol (E_2), e o sintético 17α -etinilestradiol (EE_2) já foram detectados no esgoto bruto, no esgoto tratado, em água superficial e em água tratada (Lopes *et al.* 2010).

O hormônio 17β -estradiol (CAS 50-28-2) é considerado um dos hormônios mais importantes produzidos pelo corpo humano, desempenhando um papel crucial na regulação do ciclo menstrual (Passos Neto, 2020). De fórmula molecular $C_{18}H_{24}O_2$ e meia vida variando de dois a nove dias, o E_2 possui alta solubilidade em água a 25°C de aproximadamente 13 mg.L^{-1} , o que torna o hormônio mais móvel e facilita a contaminação em corpos hídricos (Torres, 2009). Esse estrogênio é muito utilizado como aditivo em alimentos para bovinos e suínos e excretados na urina, assim como os dos organismos humanos, que são gerados e excretados continuamente no esgoto doméstico.

O 17α -etinilestradiol (CAS 57-63-6), de fórmula molecular $C_{20}H_{24}O_2$, é um tipo de hormônio sintético, produzido para ser idêntico ao natural e usado em

contraceptivos orais, em terapias de reposição hormonal, no tratamento do câncer de próstata e como aditivo na alimentação animal (Fernandes *et al.*, 2011). Ele tem solubilidade em água a 25°C de 4,8 mg.L⁻¹ e sua meia vida varia de 4 a 6 dias. Segundo D'amato (2018), embora o EE₂ ofereça várias vantagens para a saúde, ele apresenta maior resistência ao processo de biodegradação e pode causar efeitos tóxicos em seres humanos e na biota.

Os estrógenos E₂ e EE₂ são particularmente preocupantes devido à sua alta atividade estrogênica e bioacumulação no ambiente. Além disso, podem causar uma variedade de problemas na saúde humana, incluindo redução de espermatozoides, anomalias nos aparelhos reprodutivos e na tireoide e aumento da incidência de certos tipos de cânceres hormônio-dependentes (Bila; Dezotti, 2007). Na biota, as consequências estão associadas ao estímulo da produção de vitelogenina (VTG) no sangue de peixes machos ou imaturos, à feminização de peixes, às baixas taxas de reprodução e ao hermafroditismo (Bila; Dezotti, 2007). Conforme estudos de Van den Belt *et al.* (2004), EE₂ é um indutor muito potente de VTG, com uma potência relativa de aproximadamente 30 vezes maior que E₂.

Quando excretados pelos seres humanos, os estrogênios são lançados no esgoto em uma forma conjugada e não nociva. No entanto, através de coliformes termotolerantes presentes nesses ambientes, como o *Escherichia coli*, esses hormônios são convertidos para sua forma livre e tóxica (Herrmann *et al.*, 2023). A situação é agravada no Brasil, onde apenas 52,2% do esgoto gerado passa por tratamento, enquanto 47,8% dos efluentes são despejados diretamente na natureza, o equivalente a 5,5 mil piscinas olímpicas, conforme divulgado pelo Instituto Trata Brasil (2022).

Elementos adsortivos do filtro

Atualmente existem algumas pesquisas relacionadas à remoção de hormônios estrogênios, utilizando métodos que vão desde a biodegradação até a adsorção de partículas (Correia, 2016; Herrmann *et al.*, 2023; Farias; Rosinke, 2024).

Os micropoluentes orgânicos (MPO), detectados em níveis traços, costumam resistir a métodos de degradação biológica ou não são completamente eliminados por tratamentos físico-químicos. Por isso, a adsorção tem se destacado com sua técnica

de separação e purificação, sendo considerada um dos processos mais eficientes para o tratamento de água e efluentes (Nascimento *et al.*, 2020, p. 14-15).

Conforme descrito por Nascimento *et al.* (2020, p. 14-15) a adsorção é mais eficiente quando a área superficial específica dos componentes adsorventes é maior, já que os componentes se concentram nela; e em função disso, os adsorventes geralmente são sólidos com partículas porosas. A substância que se une à superfície é chamada de adsorvato, enquanto a superfície sólida que retém o adsorvato é nomeada adsorvente.

A capacidade de um adsorvente reter um composto depende de vários fatores da sua natureza, como a área superficial, a estrutura dos poros, o tamanho das partículas, a densidade e a hidrofobicidade do material (Franco, 2018).

A biossorção é um processo que utiliza um material biológico como adsorvente (biossorvente) e compreende as etapas de adsorção, separação sólido-líquido e possível recuperação da biomassa e do adsorvato (Santana; Santos; Resende, 2020).

Nanomaterial δ -FeOOH

A nanotecnologia tem impulsionado o desenvolvimento de processos eficientes e multifuncionais para o tratamento de água e esgoto, oferecendo soluções de alto desempenho e acessíveis que exigem menos infraestrutura (Qu; Alvarez; Li, 2013). Entre essas inovações, destaca-se o nanomaterial δ -FeOOH, um adsorvente sintético e ferrimagnético, que se distingue pela síntese rápida e barata, graças à abundância de ferro na crosta terrestre, além de ser ambientalmente seguro (Maia, 2019).

Suas principais características incluem capacidade de regeneração em virtude de suas propriedades magnéticas, alta área superficial, mesoporosidade interpartícula e pequeno tamanho de partícula, variando de 1 a 100 nm (FARIA *et al.*, 2014). Essas propriedades tornam o δ -FeOOH um adsorvente promissor para a remoção de estrógenos e outros contaminantes da água, apresentando alta eficiência de adsorção e baixo custo de produção.

Biomassa de casca de banana

A biomassa da casca de banana é uma alternativa viável como biossorvente devido ao seu baixo custo e ampla disponibilidade. A indústria da banana produz mais

de 57,6 milhões de toneladas métricas de cascas anualmente, conforme Arquélau *et al.* (2019), o que garante uma fonte abundante desse material. Sua estrutura irregular e fibrosa facilita a retenção de substâncias na superfície, tornando-a eficiente para esse fim (Boniolo; Yamaura; Monteiro, 2010).

Composta por 75% de água e 25% de matéria, a casca de banana possui fibras ricas em material orgânico e mineral, incluindo amido, açúcares, lipídios, proteínas e umidade. Esses componentes fornecem uma abundância de grupos funcionais orgânicos, conferindo à biomassa uma alta capacidade de adsorção de metais e compostos orgânicos (Boniolo; Yamaura; Monteiro, 2010; Santana; Santos; Resende, 2020).

Biomassa de *Pleurotus ostreatus*

A biomassa do fungo *Pleurotus ostreatus* (shimeji-preto ou cogumelo ostra) é considerada um bom bioissorvente devido à composição química de sua parede celular, que contém acetamido da quitina, polissacarídeos estruturais de fungos, aminoácidos e grupos fosfato em ácidos nucleicos, amido, amino, grupos carboxila em proteínas, hidroxilas dos polissacarídeos entre outros, que conseguem atrair e reter os adsorbatos através de interações eletrostáticas (Buratto; Costa; Ferreira, 2012; Araújo *et al.*, 2021).

Além de suas propriedades adsorventes, a biomassa do *Pleurotus ostreatus* apresenta outras vantagens significativas. Com baixo custo e fácil disponibilidade, esse fungo é o segundo gênero de cogumelo mais cultivado no mundo (Lesa *et al.*, 2022). Essa ampla produção facilita seu uso em grande escala, tornando-o uma opção prática e sustentável para o tratamento de hormônios.

Teste de *Allium cepa*

O bioensaio de *Allium cepa* é um conhecido bioindicador de toxicidade, citotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade, amplamente utilizado pelo seu baixo custo e sensibilidade em detectar substâncias que podem causar alterações cromossômicas. Trata-se de um ensaio *in vivo* eficiente, no qual sementes de cebola são germinadas em contato direto com as amostras a serem testadas e em condições específicas, permitindo a identificação de danos ao DNA (aberrações cromossômicas

e distúrbios no ciclo mitótico) das células (Leme; Marin-Morales, 2009; Frota *et al.*, 2019).

O teste de *Allium cepa* inclui análises macroscópicas e microscópicas para avaliar possíveis efeitos das amostras. As análises macroscópicas são feitas para analisar os efeitos tóxicos, considerando o índice de germinação de sementes, o crescimento das raízes em bulbos e a inibição ou aceleração do crescimento das raízes. Já os parâmetros microscópicos são realizados a partir das células meristemáticas da raiz da cebola e focam em três tipos de análises: a presença de micronúcleos (MN) para indicar atividade mutagênica (Poletto *et al.*, 2011); o percentual do índice mitótico (IM) obtido pelo número de células em divisão celular, para determinar citotoxicidade; e as alterações cromossômicas (AC), que indicam genotoxicidade (Ribeiro; Belo; Monteiro, 2018; Jacoboski; Fachinetto, 2022).

2. Metodologia

O presente estudo foi desenvolvido nos Laboratórios de Análise de Contaminantes e Multiusuário do Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).

2.1 Grupos de amostras

2.1.1 Grupo de amostras 1: Pré-filtração

- (1) Controle negativo (CN): Água ultrapura;
- (2) Controle positivo (CP): agente indutor de dano no DNA Metanossulfonato de metila (MMS) 4×10^{-4} M;
- (3) 17β -estradiol (E_2) 200 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dissolvido em Dimetilsulfóxido (solvente DMSO);
- (4) 17α -etinilestradiol (EE_2) 200 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dissolvido em DMSO.

2.1.2 Grupo de amostras 2: Pós-filtração

- (5) E_2 200 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dissolvido em DMSO e filtrado (amostra 3 passada em filtro);
- (6) EE_2 200 $\mu\text{g.L}^{-1}$ dissolvido em DMSO e filtrado (amostra 4 passada em filtro).

2.2 Preparo do filtro bionanotecnológico

2.2.1 Síntese do nanomaterial δ -FeOOH

O preparo do δ -FeOOH foi realizado conforme a metodologia adaptada de Faria *et al.* (2014). Inicialmente, foram preparadas as duas soluções necessárias para a produção do nanomaterial: a solução final de 400 mL de NaOH 2 mol.L⁻¹, contendo 32 g de hidróxido de sódio dissolvido em água destilada; e a solução de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O, com 44,483 g do soluto diluído em água destilada até o volume final de 400 mL. A solução de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O foi colocada em um béquer de 1000 mL e aquecida a 60 °C sob agitação. Uma vez estabilizada a temperatura, a solução aquosa de NaOH 2 mol.L⁻¹ foi adicionada. A solução resultante foi agitada continuamente com auxílio de uma barra magnética. Após a formação de um precipitado verde ferrugem, foram acrescentados 20 mL de H₂O₂ (água oxigenada) a 30%, mantendo a agitação por 30 minutos. Durante este período, observou-se a mudança de cor do precipitado para castanho avermelhado, indicando a formação das nanopartículas de δ -FeOOH. Após a decantação do precipitado, o sobrenadante foi descartado e substituído por água ultrapura. Esse processo de lavagem foi repetido várias vezes para reduzir o pH ácido. Para neutralizar o pH, a solução foi centrifugada em tubos FALCON a 3000 rpm por 15 minutos. Posteriormente, o precipitado foi congelado a -70 °C para solidificação e inserido no liofilizador para secagem. Por fim, o nanomaterial foi triturado e macerado no gral com pistilo.

2.2.2 Montagem dos filtros

Dois filtros idênticos foram desenvolvidos para processar os dois tipos de hormônios diferentes, garantindo que os resultados não sejam alterados. Os filtros foram montados em seringas hipodérmicas estéreis de 20 mL sem agulha, cada um com 8 camadas conforme ilustrado na Figura 2. As camadas consistiram em biomassa de *Pleurotus ostreatus*, biomassa de casca de banana, nanomaterial δ -FeOOH, papel filtro de 0,45 μ m cortado no diâmetro da seringa, e lã de vidro posicionada entre cada adsorvente.

Figura 2 - Esquema da montagem do filtro. 1) Papel filtro; 2) Lã de vidro; 3) Nanomaterial δ -FeOOH; Biomassas de 4) casca de banana; 5) *Pleurotus ostreatus*

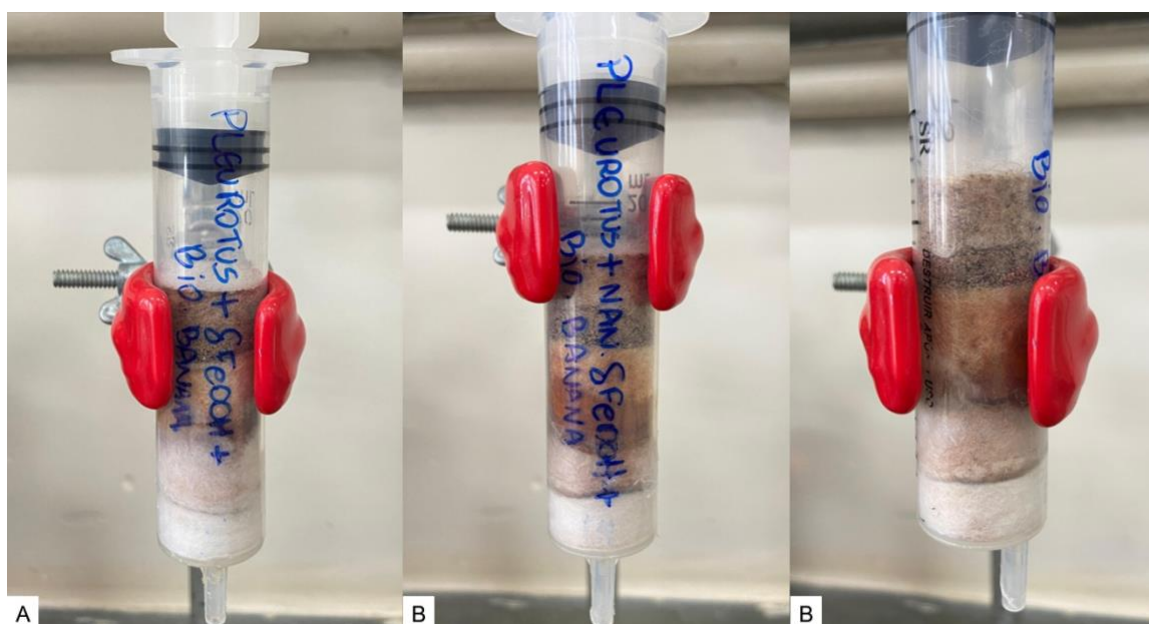


Fonte: Autores, 2024.

Para este estudo não foi necessário sintetizar as biomassas do fungo e da casca de banana, pois elas já estavam disponíveis no laboratório, previamente preparadas e armazenadas sob condições adequadas para preservar suas propriedades.

As quantidades de materiais adsorventes utilizados foram determinadas com base na pesquisa de Gonçalves (2019), que concluiu que uma espessura de 2 mm de δ -FeOOH, correspondente a uma massa de 0,88 g, proporciona uma boa retenção de substâncias. Seguindo essa mesma proporção, adotou-se a mesma massa de 0,88 g para a biomassa de casca de banana. Para a biomassa fúngica, foi estabelecida uma massa de 0,3 g, enquanto cada camada de lã de vidro foi constituída de 0,7 g do material. A Figura 3 mostra o resultado final da confecção dos dois filtros.

Figura 3 - Filtros das biomassas de casca de banana e *Pleurotus ostreatus* associadas ao δ -FeOOH para filtragem dos hormônios A) E_2 e B) EE_2



Fonte: Autores, 2024.

2.3 Passagem das amostras 3 e 4 pelo filtro

Os primeiros 20 mL das amostras filtradas foram descartados para realizar o colunamento do filtro, removendo possíveis resíduos dos materiais adsorventes. Após essa etapa, foram passados 10 mL de E₂ e EE₂ a 200 µg.L⁻¹ através de cada filtro correspondente.

2.4 Teste de *Allium cepa*

O teste de *Allium cepa* foi reproduzido duas vezes. O primeiro ensaio foi feito com o grupo de amostras 1 para determinar o potencial tóxico, citotóxico, genotóxico e mutagênico do 17β-estradiol e do 17α-etinilestradiol. Já o segundo teste foi realizado após a filtração com o grupo de amostras 2, objetivando avaliar a eficiência do filtro na adsorção desses hormônios.

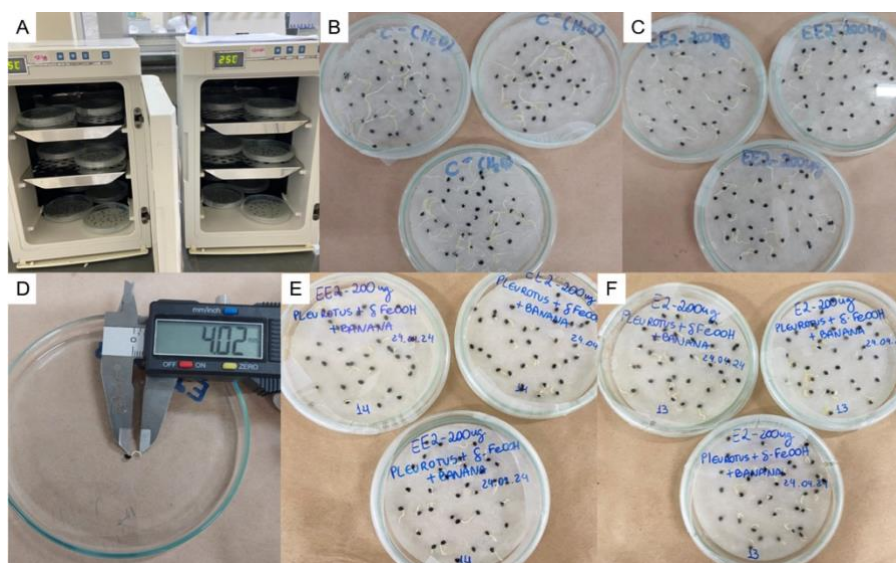
Os ensaios foram adaptados dos estudos de Leme e Marin-Morales (2008) e Hott *et al.* (2021). Todas as vidrarias e utensílios foram lavados com Extran 10%, enxaguados três vezes com água destilada, autoclavados e expostos à radiação UV-C na cabine de fluxo laminar.

Foram cultivadas 100 sementes de cebola baia periforme (*Allium cepa*), com germinação de 94%, em triplicata (33, 33 e 34 sementes) dispostas em placas de Petri com papel filtro. No controle negativo, as sementes foram germinadas com 3 mL de água ultrapura. No controle positivo, a germinação ocorreu com 3 mL de MMS. Para as soluções de E₂ e EE₂, antes e após a filtração, também foram adicionados 3 mL em cada placa de Petri.

As sementes foram incubadas em uma estufa a 25 °C por 7 dias (Figura 4. A, B, C, E, F). Para análise de toxicidade, foi calculado o índice de germinação, obtido pela razão entre o número de sementes germinadas e o total de sementes usadas; além disso, o comprimento das raízes das cebolas foi medido com um paquímetro (Figura 4. D), e os resultados foram analisados utilizando cálculos de média e desvio-padrão (DP). Posteriormente, as raízes foram fixadas com solução de Carnoy (3:1 v/v) em tubos *Eppendorf* por 24 horas em temperatura ambiente, para então ser substituída por etanol 70%, conservadas na geladeira até o uso.

Figura 4 - Alguns processos do bioensaio *Allium cepa*.

A) Germinação das sementes; B) Triplicada do CN; C) Triplicada da amostra 4; D) Medição do comprimento de uma raiz da amostra 3; E) Triplicata da amostra 6; F) Triplicata da amostra 5.



Fonte: Autores, 2024.

Para confecção das lâminas de *Allium cepa*, as raízes foram retiradas da geladeira, lavadas três vezes em água destilada e submetidas à hidrólise ácida (solução de HCl 1M) durante 11 minutos em banho-maria a 60 °C; após isso, as raízes foram lavadas novamente. Posteriormente, para corar o material genético das células, as radículas foram sujeitas à coloração por reativo de Schiff (Na_2SO_3) por duas horas e sem exposição à luz.

Após a coloração, as raízes foram cortadas, preservando apenas suas coifas, e submetidas a uma contra coloração com uma gota de Carmim Acético a 2% por 5 minutos, objetivando corar o citoplasma das células. Utilizando uma lamínula e cola entellan, ocorreu o esmagamento das coifas. Depois da confecção, as lâminas foram examinadas com um microscópio óptico, permitindo a quantificação dos índices de divisão celular, das alterações cromossômicas e dos micronúcleos.

Para contabilizar 5000 células analisadas por amostra, foram preparadas 10 lâminas para cada uma, com contagem de 500 células por lâmina.

Para análise de citotoxicidade, foram verificados os índices mitóticos (IM) de cada lâmina, determinados pela Eq. 1. As atividades genotóxicas foram avaliadas registrando todas as alterações cromossômicas (AC), como células binucleadas, C-metáfase, perdas e quebras cromossômicas, aderências e pontes, e inseridas na Eq.

2. Para a avaliação da mutagenicidade, os micronúcleos (MN) foram contabilizados e comparados aos grupos de controle, utilizando a Eq. 3.

$$IM = \frac{n^{\circ} \text{ de células em mitose}}{n^{\circ} \text{ total de células observadas}} \times 100 \quad (1)$$

$$AC = \frac{n^{\circ} \text{ de células com aberrações cromossômicas}}{n^{\circ} \text{ total de células observadas}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Redução (\%)} = \frac{n^{\circ} \text{ de células com MN em CP} - n^{\circ} \text{ de células com MN em amostra}}{n^{\circ} \text{ de células com MN em CP} - n^{\circ} \text{ de células com MN em CN}} \times 100 \quad (3)$$

2.5 Análise estatística

Para a análise estatística dos resultados médios do bioensaio, utilizou-se o teste de Mann-Whitney, um método não paramétrico destinado a comparar duas amostras independentes e verificar se suas distribuições diferem. Os valores médios e o desvio-padrão foram considerados significativamente diferentes quando a probabilidade (p) foi inferior a 0,05. A análise foi realizada com o *software* GraphPad Prism (versão 10.3.0).

3. Resultados e Discussão

3.1 Toxicidade

Para avaliar os efeitos tóxicos dos hormônios em solução 3 e 4, foram observadas o percentual de germinação e o crescimento médio das sementes em contato com as diferentes amostras (Tabela 1). Pode-se notar que as amostras de E₂ e EE₂ de 200 µg.L⁻¹, anteriores ao processo de filtração, apresentaram menores taxas de germinação (51%) e crescimento médio das raízes baixo de 0,96±0,35 e 1,17±0,42 cm, respectivamente, em comparação com os grupos de controle, apontando que foram tóxicas para as sementes. O controle positivo (CP) exibiu sua taxa de germinação e seu crescimento médio das radículas mais elevados (72% e 2,85±0,87 cm), o que pode ser atribuído à proliferação celular desordenada, um efeito prejudicial que pode levar à formação de tecidos tumorais (Moura *et al.*, 2016). O hormônio E₂ filtrado apresentou um percentual de germinação de 81%, mostrando um acréscimo de 30% de sementes germinadas em relação à sua amostra não filtrada; assim também para a média dos comprimentos das suas raízes, que antes era de 0,96±0,35

cm, aumentou para $1,39 \pm 1,10$ cm após a filtragem. O estrógeno sintético EE₂ obteve resultados semelhantes, com a taxa de germinação passando de 51% para 52% após a filtração, e a média de crescimento das raízes em $0,71 \pm 0,25$ cm. Assim, as amostras 5 e 6 demonstraram maiores índices de germinação e crescimento radicular médio após a passagem pelos filtros, indicando que os filtros foram eficazes na remoção desses agentes tóxicos.

Tabela 1 – Taxa de germinação por amostra e média e desvio-padrão (DP) do crescimento radicular

Amostra	CN	CP	E2	E2 filtrado	EE2	EE2 filtrado
Germinação	63%	72%	51%	81%	51%	52%
Média (cm)	2,47	2,85	0,96	1,39	1,17	0,71
DP	0,89	0,87	0,35	1,10	0,42	0,25

Fonte: Autores, 2024.

3.2 Citotoxicidade

Para análise de atividades citotóxicas das substâncias 3 e 4, ou seja, do potencial de causar alteração metabólica nas células da cebola, é calculado o índice mitótico, definido pelo número total de células em divisão celular (prófase, metáfase, anáfase e telófase). A Tabela 2 mostra o IM e desvio-padrão de cada amostra.

Tabela 2 – Índice mitótico e desvio-padrão por amostra

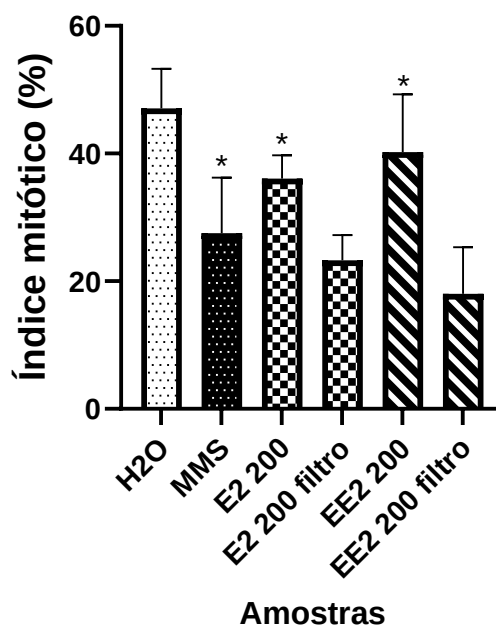
Amostra	CN	CP	E2	E2 filtrado	EE2	EE2 filtrado
IM (%)	47,08	27,5	36,08	23,26	40,22	18,04
DP	6,22	8,74	3,66	3,95	9,03	7,28

Fonte: Autores, 2024.

Na Figura 5, por meio do teste de Mann-Whitney, observou-se diferenças estatisticamente significativas quando a p foi inferior a 0,05. O controle positivo (MMS) foi comparado ao controle negativo (H₂O), enquanto as amostras filtradas foram comparadas com suas respectivas amostras não filtradas. Os valores médios elevados de índice mitótico do CP e das amostras pré-filtro, especialmente do hormônio EE₂, que possui um nível mais alto de toxicidade, podem ser explicados pela proliferação acelerada das células, resultando em um desordenamento do ciclo

celular, o que pode promover o surgimento de células tumorais e um grande número de aberrações cromossômicas.

Figura 5 – Resultados obtidos no estudo de índice mitótico (IM) das amostras na concentração de 200 µg L⁻¹. *Diferença significativa considerando p<0,05



Fonte: Autores, 2024.

3.3 Genotoxicidade

Para avaliar o potencial genotóxico das amostras, ou seja, a capacidade dessas substâncias de induzir alterações no DNA, foram apresentados na Tabela 3 os resultados da contagem de aberrações cromossômicas de cada amostra, juntamente com o percentual em relação ao número total de células analisadas. As anomalias encontradas foram: perda, quebra, aderência e ponte cromossômicas, célula binucleada, c-metáfase e poliploidia.

Observa-se que as amostras de E₂ e EE₂ não filtradas apresentam um número superior de alterações comparado ao controle negativo (18), sugerindo possível genotoxicidade. Em particular, o hormônio EE₂ obteve um número elevado de 53 aberrações cromossômicas, superando inclusive o controle positivo, o que ressalta sua alta genotoxicidade.

As amostras filtradas demonstraram uma redução significativa nas anomalias cromossômicas, com valores inferiores ao controle negativo. O estrogênio E₂, que inicialmente apresentava 22 alterações, teve esse número reduzido para 10 após a

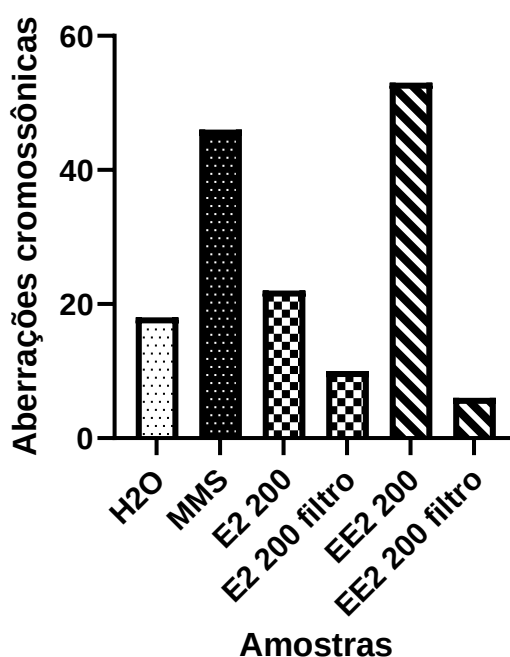
filtração. Da mesma forma, o EE₂, que apresentou um número elevado de cromossomos alterados, teve uma redução para 6 alterações após passar pelo filtro. Esses resultados são promissores pois apontam que os hormônios, que apresentaram atividades genotóxicas, foram efetivamente retidos pelo filtro. A Figura 6 é uma reprodução gráfica dos resultados obtidos, que permite uma comparação mais clara e detalhada entre as amostras.

Tabela 3 – Total de alterações cromossômicas por amostra

Amostra	CN	CP	E2	E2 filtrado	EE2	EE2 filtrado
Ponte	4	17	4	2	10	1
Quebra	1	1	9	1	4	1
Perda	3	6	3	3	18	0
C-metáfase	3	4	1	3	2	2
Aderência	0	9	1	0	5	2
Binucleada	6	9	3	0	10	0
Poliplóide	1	0	1	1	4	0
AC no total	18	46	22	10	53	6
AC (%)	0,36	0,92	0,44	0,2	1,06	0,12

Fonte: Autores, 2024.

Figura 6 – Representação gráfica do número total de aberrações cromossômicas por amostra



Fonte: Autores, 2024.

3.4 Mutagenicidade

A atividade mutagênica é observada pela quantidade de micronúcleos na amostra (MN), que são pequenas porções de DNA presentes no citoplasma quando cromossomos em fragmentos ou inteiros não são incluídos no núcleo da célula (Dietz *et al.*, 2000).

A Tabela 4 mostra o total de micronúcleos em cada amostra; além do percentual de redução (Eq. 3), que usa os resultados do grupo de controle para apontar a redução de MN na amostra em comparação ao CP. Nas amostras 3 e 4,

observa-se uma frequência de MN de 36 e 49, respectivamente, próximas ao resultado do controle positivo de 42 MN, indicando uma possível mutagenicidade desses hormônios nas células de *Allium cepa*.

Por outro lado, as amostras 5 e 6, que passaram pelo filtro, apresentaram valores significativamente menores de micronúcleos. No caso do E₂ foram encontrados 36 MN antes da filtração, reduzindo para apenas 7 após o processo. Para o EE₂, os resultados foram semelhantes, com uma frequência de apenas 5 MN após a filtração.

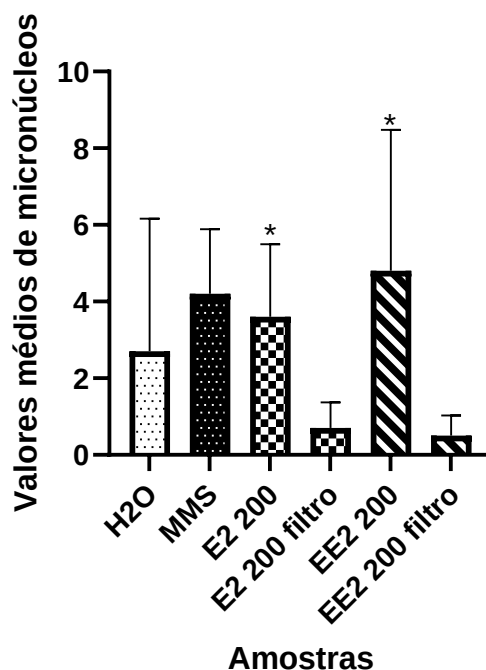
Na Figura 7 é possível observar essa variação graficamente através do teste estatístico de Mann-Whitney. Os valores das amostras antes e após a filtração apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). A redução de micronúcleos foi considerável, mais uma vez atestando que os hormônios foram adsorvidos pelo filtro de biomassas de casca de banana e *Pleurotus ostreatus* associadas ao δ -FeOOH.

Tabela 4 – Micronúcleos por amostra e redução comparadas a CN e CP

Amostra	CN	CP	E2	E2 filtrado	EE2	EE2 filtrado
MN	27	42	36	7	49	5
Redução (%)	–	–	40	233	– 47	247
Média	2,7	4,2	3,6	0,7	4,8	0,5
DP	3,47	1,69	1,9	0,67	3,68	0,53

Fonte: Autores, 2024.

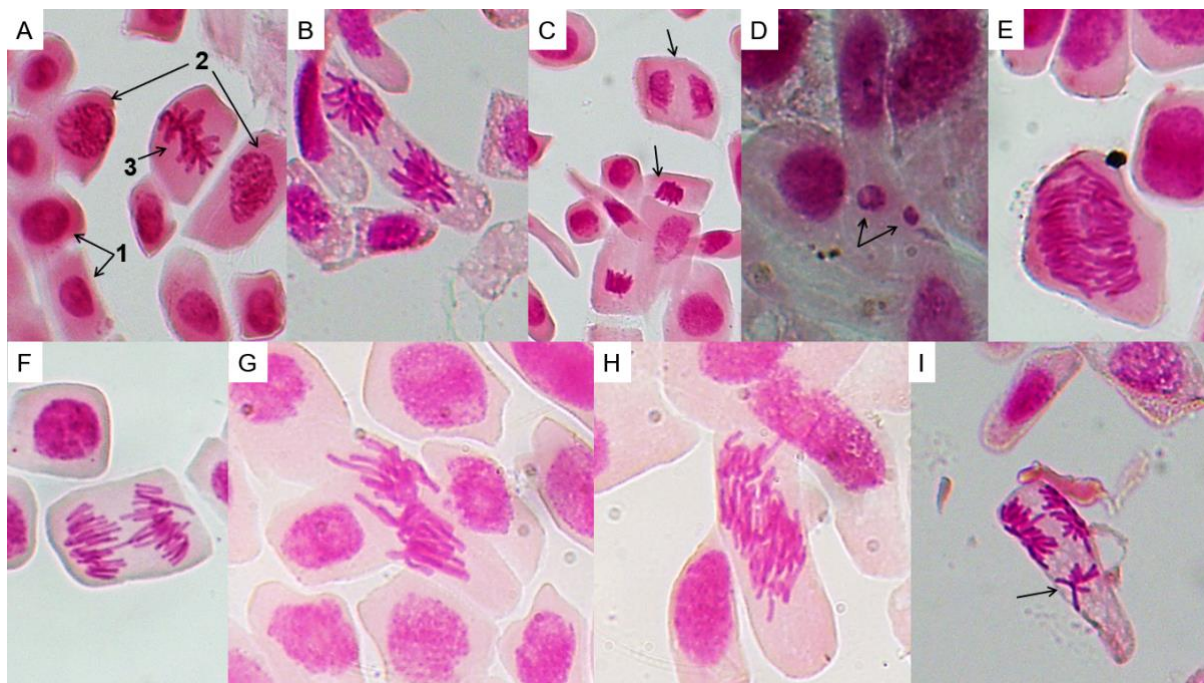
Figura 7 – Representação gráfica do número médio de micronúcleos por amostra. *Diferença significativa considerando $p < 0,05$



Fonte: Autores, 2024.

Na Figura 8 são apresentadas fotomicrografias que evidenciam todas as etapas do ciclo celular, além de diversas alterações cromossômicas e a presença de micronúcleos encontrados nas células de *Allium cepa*.

Figura 8 – Fotomicrografias de divisão celular, alterações cromossômicas e micronúcleos observados em células de *Allium cepa*. A) Células em (1) interfase, (2) prófase e (3) metáfase; B) Célula em anáfase; C) Células em telófase; D) Micronúcleos; E) Anáfase poliplóide; F) Anáfase com ponte cromossômica; G) Metáfase com aderência; H) Metáfase poliplóide; I) Anáfase com perda cromossômica.



Fonte: Autores, 2024.

5. Considerações Finais

Os resultados deste estudo demonstram que os hormônios 17β -estradiol e 17α -etinilestradiol possuem um potencial tóxico, genotóxico e mutagênico nas sementes de *Allium cepa*. As análises de toxicidade, citotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade evidenciaram que, antes da filtração, as amostras de E_2 e EE_2 apresentaram valores baixos na taxa de germinação, no crescimento médio das raízes e alto número de anomalias cromossômicas, comprovando seu impacto negativo.

Entretanto, a aplicação do filtro desenvolvido, utilizando biomassa de casca de banana, biomassa fúngica de *Pleurotus ostreatus* e o nanomaterial δ -FeOOH, mostrou-se eficaz na remoção desses hormônios. As amostras filtradas exibiram uma significativa redução nas aberrações cromossômicas e um aumento no índice de germinação e de crescimento radicular médio, indicando a eficiência do filtro em adsorver e reter os estrogênios presentes.

Em síntese, essa pesquisa confirma a toxicidade dos hormônios E₂ e EE₂ nas sementes de *Allium cepa* e a efetividade do filtro proposto para remoção desses desreguladores endócrinos, oferecendo uma solução fácil e com baixo custo para a mitigação dos riscos à saúde animal e humana associados a esses compostos em processos de tratamento de água e efluentes.

Referências

- ARAÚJO, Lennon Alonso; LUPEPSA, Luara; MAGATÃO, Angela Cristina; OLIVEIRA, João Arthur dos Santos; CONTE, Hélio. Processos Biotecnológicos Na Remoção De Metais Pesados. **Saber Científico** (1982-792X), v. 8, n. 2, p. 135-145, 2021.
- ARQUELAU, Priscila Borges de Faria; SILVA, Viviane Dias Medeiros; GARCIA, Maria Aparecida Vieira Teixeira; ARAÚJO, Raquel Linhares Bello de; FANTE, Camila Argenta. Characterization of edible coatings based on ripe “Prata” banana peel flour. **Food Hydrocolloids**, v. 89, p. 570-578, 2019.
- BILA, Daniele Maia; DEZOTTI, Márcia. Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos e consequências. **Química nova**, v. 30, p. 651-666, 2007.
- BONIOLO, Milena Rodrigues; YAMAURA, Mitiko; MONTEIRO, Raquel Almeida. Biomassa residual para remoção de íons uranilo. **Química Nova**, v. 33, p. 547-551, 2010.
- BURATTO, Ana Paula; COSTA, Raquel Dalla; FERREIRA, Edilson da Silva. Aplicação de biomassa fúngica de *Pleurotus ostreatus* em processo de biossorção de íons cobre (II). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, p. 413-420, 2012.
- CARTAXO, A. da S. B.; ALBUQUERQUE, M. V. da C.; SILVA, M. C. C. de P.; RODRIGUES, R. M. M.; RAMOS, R. de O.; SÁTIRO, J. R.; LOPES, W. S.; LEITE, V. D. Contaminantes emergentes presentes em águas destinadas ao consumo humano: ocorrência, implicações e tecnologias de tratamento. **Brazilian Journal of development**, v. 6, n. 8, p. 61814-61827, 2020.
- CORREIA, Rita Durão. Contribuição para o estudo da degradação do 17β-Estradiol e do 17α-Etinilestradiol com recurso ao tratamento de discos biológicos em batch. Dissertação de mestrado. Universidade Nova de Lisboa. 2016.
- D'AMATO, Caroline Cristina. Avaliação do potencial carcinogênico da associação dos hormônios etinilestradiol e levonorgestrel por meio do teste para detecção de tumor epitelial em *Drosophila melanogaster*. 2018.
- DIETZ, J.; DIEHL, A. S.; PROLLA, J. C.; FURTADO, C. D.; FURTADO, A. D. Pesquisa de micronúcleos na mucosa esofágica e sua relação com fatores de risco

ao câncer de esôfago. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 46, p. 207-211, 2000.

FARIA, Márcia C. S.; ROSEMBERG, Renedy S.; BOMFETI, Cleide A.; MONTEIRO, Douglas S.; BARBOSA, Fernando; OLIVEIRA, Luiz C.A.; RODRIGUEZ, Mariandry; PEREIRA, Márcio C.; RODRIGUES, Jairo L. Arsenic removal from contaminated water by ultrafine δ -FeOOH adsorbents. **Chemical Engineering Journal**, v. 237, p. 47-54, 2014.

FARIAS, Rhuan Gabriel Cesario; ROSINKE, Patricia. Transposição didática de método de tratamento de água com carvão ativado para separação de estradiol. **Revista Insignare Scientia (RIS)**, v. 7, n. 1, p. 604-619, 2024.

FERNANDES, Andreia N.; GIOVANELA, Marcelo; ALMEIDA, Carlos A. P.; ESTEVES, Valdemar I.; SIERRA, Maria M. D.; GRASSI, Marco T. Remoção dos hormônios 17β -estradiol e 17α -etinilestradiol de soluções aquosas empregando turfa decomposta como material adsorvente. **Química Nova**, v. 34, p. 1526-1533, 2011.

FONTENELE, E. G. P.; MARTINS, M. R. A.; QUIDUTE, A. R. P.; MONTENEGRO JÚNIOR, R. M. Contaminantes ambientais e os interferentes endócrinos. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 54, p. 6-16, 2010.

FRANCO, Marcela Andrea Espina de. Adsorção de fármacos em carvão ativado: processo em batelada, leito fixo e modelagem das curvas de ruptura. Tese de doutorado. Porto Alegre, 2018.

FROTA, Rafael Gonzalez; AMORIM, Álef da Silva; CARNEIRO, José Klauber Roger; OLIVEIRA, Maria Auxiliadora Silva. Citotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade da infusão de *Plectranthus barbatus*–Lamiaceae (malva-santa) avaliada pelo sistema teste *Allium cepa*. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, v. 18, n. 1, p. 67-72, 2019.

GAMA, Mariana Roberto. Degradação de hormônios por processos Fenton mediados por ciclodextrina. 142 f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2010.

HERRMANN, Andressa; COSTA, Ayme de Braga da; MARTINHUK, Nathalia Gruber; ARMAS, Rafael Dutra de. Utilização de Bactérias Como Alternativa Para Biodegradação Dos Desreguladores Endócrinos 17 Beta-Estradiol e 17 Alfa-Etinilestradiol. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 27, p. 163-174, 2023.

HOTT, R. C.; MAGALHÃES, T. S.; MAIA, L. F. O.; SANTOS, K. S. F.; RODRIGUES, G. L.; OLIVEIRA, L. C. A.; PEREIRA, M. C.; FARIA, M. C. S.; CARLI, A. P.; ALVES, C. C. S.; RODRIGUES, J. L. Purification of arsenic-contaminated water using iron molybdate filters and monitoring of their genotoxic, mutagenic, and cytotoxic effects through bioassays. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 5714-5730, 2021.

JACOBOSKI, Bruna Kopezinski; FACHINETTO, Juliana. Avaliação da qualidade da água do Arroio Matadouro, Ijuí, Rio Grande do Sul, por parâmetros físico-químicos e pelo teste de *Allium cepa*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 489-497, 2022.

LEME, Daniela Moraes; MARIN-MORALES, Maria Aparecida. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application. **Mutation research/reviews in mutation research**, v. 682, n. 1, p. 71-81, 2009.

LEME, Daniela Moraes; MARIN-MORALES, Maria Aparecida. Chromosome aberration and micronucleus frequencies in *Allium cepa* cells exposed to petroleum polluted water - a case study. **Mutation Research. Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 650, p. 80–86, 2008.

LESA, Kaisun Nesa; KHANDAKER, Mayeen Uddin; IQBAL, Faruque Mohammad Rashed; SHARMA, Rohit; ISLAM, Fahadul; MITRA, Saikat; EMRAN, Talha Bin. Nutritional Value, Medicinal Importance, and Health-Promoting Effects of Dietary Mushroom (*Pleurotus ostreatus*). **Journal of Food Quality**, v. 2022, n. 1, p. 2454180, 2022.

LOPES, Laudicéia G; MARCHI, Mary R. R.; SOUZA, João B. G.; MOURA, José A.; LORENZON, Cintia S.; CRUZ, Claudinei; AMARAL, Luiz A. Estrogênios em águas naturais e tratadas da região de Jaboticabal - São Paulo. **Química Nova**, v. 33, p. 639-643, 2010.

MAIA, Luiz Fernando Oliveira. Avaliação toxicológica e remoção de mercúrio (II) em águas contaminadas e resíduos de mineração da bacia do Rio Doce usando nanoadsorventes de δ -FeOOH modificado quimicamente. Tese de doutorado. 2019.

MOURA, A. G.; SANTANA, G. M.; FERREIRA, P. M. P.; SOUSA, J. M. C.; Peron, A. P. Cytotoxicity of cheese and cheddar cheese food flavorings on *Allium cepa* L root meristems. **Brazilian Journal of Biology**, v. 76, n. 2, p. 439–443, 2016.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do; LIMA, Ari Clecius Alves de; VIDAL, Carla Bastos; MELO, Diego de Quadros; RAULINO, Giselle Santiago Cabral. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária (Estudos da pós-graduação), 2020. *E-book*. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>. Acesso em: 21 jun. 2024.

PASSOS NETO, Oscar Pacheco. Avaliação do efeito dos desreguladores endócrinos 17 β -estradiol e 17 α -etinilestradiol no desenvolvimento da tilápia do nilo (piscis). Fortaleza, 2020.

POLETTI, P. de O.; DINIZ, A. P.; BERNARDON, B.; ZAN, R. A.; RAMOS, L. J.; MENEGUETTI, D. U. de O. Análise da mutagenicidade do extrato hidrossolúvel de *Derris rariflora* (mart. ex benth. j. f. macbr: fabaceae), timbó amazônico, através do teste micronúcleo em *allium cepa*. **Revista Pesquisa & Criação**, v. 10, n. 1, p. 163-176, 2011.

QU, Xiaolei; ALVAREZ, Pedro J. J.; LI, Qilin. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. **Water Research**, 12. ed., v. 47, p. 3931-3946, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.058>.

REIS FILHO, Ricardo Wagner; ARAÚJO, Juliana Coutinho de; VIEIRA, Eny Maria. Hormônios sexuais estrógenos: contaminantes bioativos. **Química Nova**, v. 29, p. 817-822, 2006.

RIBEIRO, L. R.; BELO, G. A.; MONTEIRO, A. B. Avaliação Da Atividade Citogenotóxica E Antimutagênica Do Extrato Aquoso De Bidens Pilosa. **Conexão Ciência (Online)**, v. 13, n. 4, p. 15–22, 2018.

GONÇALVES, Rosanne Rodrigues Santos Maciel. Análise do oxidróxido de ferro e carvão ativado como meio filtrante para retenção de metais pesados em filtros de água potável. **Revista Vozes dos Vales**, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, n. 16, 2019.

SANDERSON, Hans; CÉREBRO, Richard A.; JOHNSON, David J.; WILSON, Cristão J.; SALOMÃO, Keith R. Toxicity classification and evaluation of four pharmaceuticals classes: antibiotics, antineoplastics, cardiovascular, and sex hormones. **Toxicology**, v. 203, n. 1-3, p. 27-40, 2004.

SANTANA, Jeferson Santos; SANTOS, Bianca Rodrigues dos; RESENDE, Brenda de Oliveira. Utilização da casca de banana como bioissorvente para adsorção de metais pesados viabilizando sua utilização em águas residuárias da indústria galvânica. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation** (ISSN 2357-7797), v. 8, n. 1, p. 143-157, 2020.

SOUSA, Priscila Afonso Rodrigues de. Avaliação da adsorção de contaminantes emergentes pela casca de banana e folhas da Typha Angustifolia L. 97 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2015.

TORDIN, Cristina. Contaminantes emergentes podem ser uma ameaça na água para consumo humano. **EMBRAPA**. Brasília, v. 23, 2018.

TORRES, Nádia Hortense. Monitoração de resíduos de hormônios 17 α -etinilestradiol, 17 β -estradiol e estriol em águas de abastecimento urbano em Piracicaba-SP. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

TRATA BRASIL. Principais estatísticas: Esgoto. **Instituto Trata Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/esgoto/>>. Acesso em: 20 jul. 2024.

VAN DEN BELT, K.; Berckmans, P; Vangenechten, C.; Verheyen, R.; Witters, H. Comparative study on the in vitro/in vivo estrogenic potencies of 17 β -estradiol, estrone, 17 α -ethynylestradiol and nonylphenol. **Aquatic toxicology**, v. 66, n. 2, p. 183-195, 2004.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de iniciação científica vinculada à pesquisa, que foi fundamental para a realização deste trabalho.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524

ISSN: 2238-6424