

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA QUÍMICA

PABLO ROBERTO ALVES SILVA

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA ADSORÇÃO COMO MÉTODO DE
REMOÇÃO DE FÁRMACOS**

Campina Grande/PB

2022

PABLO ROBERTO ALVES SILVA

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA ADSORÇÃO COMO MÉTODO DE
REMOÇÃO DE FÁRMACOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Líbia de Sousa Conrado Oliveira.

Campina Grande/PB

2022

S586a

Silva, Pablo Roberto Alves.

Avaliação da utilização da adsorção como método de remoção de fármacos / Pablo Roberto Alves Silva. – Campina Grande, 2022.

34 f. : il. color.

Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação: Prof.^a Dr.^a Líbia de Sousa Conrado Oliveira".

Referências.

1. Contaminantes Emergentes. 2. Material Adsorvente. 3. Capacidade de Adsorção. I. Oliveira, Líbia de Sousa Conrado. II. Título.

CDU 628.16(043)

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano.”

Isaac Newton

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos na graduação.

A minha família, em especial meus pais, que me serviram de apoio durante toda minha caminhada e me incentivaram a essa conquista.

Aos meus colegas de curso, com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

Aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

SILVA, P.R.A. **Avaliação da utilização da adsorção como método de remoção de fármacos.** 2022. 34p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB. 2022.

RESUMO

Hoje em dia há uma ampla preocupação com a contaminação das águas e com a busca de novas metodologias de tratamento de efluentes, visto que estudos apontam a presença de contaminantes emergentes em águas superficiais e subterrâneas. Entre esses contaminantes encontram-se os fármacos, e por serem muito utilizados no mundo todo, são encontrados em águas residuais. Os métodos existentes nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) não são eficazes na retirada dessas substâncias da água, o que implica em um efeito cumulativo. Este trabalho objetivou realizar uma revisão bibliográfica e avaliação de estudos acerca do uso da técnica de adsorção para remoção de contaminantes emergentes de águas residuais, destacando os principais materiais adsorventes, parâmetros do processo e resultados promissores citados em estudos recentes. A análise mostrou que o interesse pela temática é crescente, e a China e Brasil são países que mais publicam trabalhos sobre essa temática. Os contaminantes emergentes mais reportados em estudos de adsorção foram: ibuprofeno, naproxeno, paracetamol, tetraciclina, diclofenaco, sulfametoxazol, norfloxacina, ciprofloxacina, ofloxacina e atenolol. De forma geral, o uso de carvões ativados de fontes comerciais e biocarvões de fontes residuais proporcionaram boas capacidades de adsorção e/ou remoção dos fármacos estudados.

Palavras-chave: Contaminantes emergentes; Material adsorvente; Capacidade de adsorção.

SILVA, P.R.A. **Evaluation of the use of adsorption as a drug removal method**. 2022. 34p. Course Conclusion Paper (Bachelor in Chemical Engineering). Federal University of Campina Grande. Campina Grande, PB. 2022.

ABSTRACT

Nowadays there is a wide concern about water contamination and the search for new effluent treatment methodologies, since studies point to the presence of emerging contaminants in surface and groundwater. Among these contaminants are pharmaceuticals, and because they are widely used throughout the world, they are found in wastewater. The existing methods in Water Treatment Plants (WTPs) are not effective in removing these substances from water, which implies a cumulative effect. This paper aimed to perform a literature review and evaluation of studies on the use of adsorption technique to remove emerging contaminants from wastewater, highlighting the main adsorbent materials, process parameters and promising results cited in recent studies. The analysis showed that the interest in the theme is growing, and China and Brazil are the countries that have published the most papers on this theme. The emerging contaminants most reported in adsorption studies were: ibuprofen, naproxen, paracetamol, tetracyclines, diclofenac, sulfamethoxazole, norfloxacin, ciprofloxacin, ofloxacin and atenolol. In general, the use of activated carbons from commercial sources and biocarbons from residual sources provided good adsorption and/or removal capacities of the studied drugs.

Keywords: Emerging contaminants; Adsorbent Material; Adsorption Capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de Isoterma de Adsorção.	16
Figura 2 – Tipos de ensaio batelada: ensaio em agitador magnético (a), ensaio com banho termostático agitado (b), ensaio em reatora batelada encamisado (c).	18
Figura 3 – Esquema de coluna de adsorção em fluxo descendente e ascendente.	19
Figura 4 – Resultados pesquisa Google Acadêmico.	20
Figura 5 – Resultados pesquisa Google Acadêmico países.	21
Figura 6 – Resultados Science Direct com palavras-chave (a) Adsorção, (b) Adsorção e Fármacos, (c) Adsorção, Fármacos e Remoção.	22
Figura 7 – Resultados anos Science Direct com palavras-chave: Adsorção, Fármacos e Remoção, por países: (a) Brasil e (b) China.	23
Figura 8 – Resultados Scielo pesquisa anos e por países com palavras-chave: Adsorção, Fármacos e Remoção, por países: (a) Anos e (b) Países.	23
Figura 9 – Adsorventes Utilizados.	25
Figura 10 – Origem dos adsorventes.	26
Figura 11 – Fármacos com maior utilização.	27
Figura 12 – Tipos de metodologia utilizada.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferenças entre adsorção química e adsorção física.	13
Tabela 2 – Resultados pesquisa Google Acadêmico.	21
Tabela 3 – Resultados pesquisa Google Acadêmico países.	21
Tabela 4 – Resultados da Pesquisa.	22
Tabela 5 – Resultados da Pesquisa: Adsorção, Fármacos e Remoção – Brasil.	23
Tabela 6 – Resultados da pesquisa Periódicos da Capes.	24
Tabela 7 – Estudos de adsorção com biocarvão ativado.	29
Tabela 8 – Estudos de adsorção com biocarvão.	29
Tabela 9 – Estudos de adsorção com Caulim e Zeólita.	30
Tabela 10 – Estudos de adsorção com Carvão ativado comercial.	31

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Geral	12
1.1.2 Específicos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Adsorção	13
2.1.1 Adsorvente	13
2.1.2 Adsorbato	13
2.2 TIPOS DE ADSORÇÃO	13
2.3 CONDIÇÕES OPERACIONAIS DA ADSORÇÃO	14
2.4 Cinética de Adsorção	14
2.4.1 Modelos cinéticos de adsorção	14
2.4.1.1 Modelo de pseudo-primeira ordem.....	14
2.4.1.2 Modelo de pseudo-segunda ordem	15
2.4.2 Isotermas de adsorção.....	15
2.4.2.1 Isoterma de Langmuir	16
2.4.2.2 Isoterma de Freundlich	17
2.5 Ensaio de Adsorção Batelada.....	17
2.6 Ensaio de Adsorção em Leito Fixo	18
2.7 Aplicações Industriais para remoção de fármacos.....	19
3 METODOLOGIA.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.4 Quantitativo de pesquisa e banco de dados	20
4.5 Adsorventes utilizados	25
4.6 Critérios da aplicação dos adsorventes	25
4.7 Metodologias e condições operacionais	27
4.8 Comparativo de resultados	28
5 CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

Os fármacos têm sido usados por décadas, mas nos últimos anos tem gerado preocupação, pois podem causar problemas para o meio ambiente quando descartados indevidamente. Com o avançar da tecnologia, os medicamentos têm sido encontrados em pequenas quantidades nos cursos d'água e classificados como contaminantes emergentes, pois apesar de sua baixa concentração no meio ambiente, podem causar uma série de danos ao meio ambiente, saúde dos animais e dos humanos (RIVERA-UTRILLA et al., 2013).

Recentemente, estudos mostraram a presença de um grande número de drogas tanto em águas residuais quanto em água tratada, mostrando a ineficácia dos métodos convencionais de tratamento de água na eliminação dessas substâncias específicas ibuprofeno, naproxeno, paracetamol, tetraciclina, diclofenaco, sulfametoxazol, ranitidina, norfloxacin, ciprofloxacina, ofloxacina e atenolol, entre outros. Essas substâncias apresentam um risco à saúde humana e ao meio ambiente, pois são substâncias que reagem diretamente com o sistema endócrino dos seres vivos, além de possuírem natureza cumulativa e, portanto, geram problemas para o meio ambiente (HOPPEN et al., 2019).

A poluição por medicamentos não está relacionada apenas aos medicamentos utilizados, mas também ao uso de antibióticos e hormônios na medicina, além do descarte inadequado dessas substâncias, algumas delas não são totalmente absorvidas, acabando assim sendo excretadas da mesma forma. eles são encontrados no sistema de esgoto, onde ainda não existe um tratamento eficaz para eliminar esses pequenos poluentes do esgoto (TORRES et al., 2012).

Então, tem a necessidade de desenvolver tecnologias que possam atuar na eliminação desses compostos de efluentes, para completar o modelo atual de tratamento de água. Dessa carência nasceu o processo de adsorção de remoção do fármaco utilizado, que vem sendo amplamente estudado com adsorventes de diferentes origens (HOPPEN et al., 2019). Os processos de adsorção podem ser feitos tanto em batelada quanto em leito fixo, o processo em batelada tem sido o foco de trabalhos, pois fornece dados sobre a cinética e os mecanismos da adsorção enquanto o processo contínuo tem como foco a sua aplicação em maior escala (RIVERA-UTRILLA et al., 2013).

Muitos estudos têm sido realizados tendo como base a adsorção para remoção de fármacos, com a utilização de biocarvão, biocarvão ativado, carvão ativado e minerais como adsorvente e eles têm se mostrado promissores quanto a remoção. Sabendo disso, utilizar o processo de adsorção pode ser considerado uma alternativa viável no tratamento de efluentes contendo fármacos, e por esse motivo foi escolhido como objeto de estudo do presente trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Realizar uma revisão sobre as pesquisas que estudam adsorção como um processo de remoção de fármacos e a partir dela verificar quais as estratégia e condições operacionais que mais são usadas no mundo e no Brasil para sua adsorção.

1.1.2 Específicos

- Quantificar nas bases de dados disponíveis na internet o número de pesquisas, e em que base de dados estão sendo publicados o tema aqui proposto.
- Observar na literatura quais os adsorventes são usados para remoção dos fármacos.
- Verificar as estratégias usadas para a aplicação da adsorção como um processo de remoção do fármaco.
- Verificar as condições operacionais e metodologias usadas para a remoção de fármacos apresentados nos trabalhos.
- Comparar os resultados sobre o tema reportados na literatura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Adsorção

Dentre os processo de transferência de massa existe a adsorção, que tem por objetivo estudar a capacidade de alguns sólidos em acumular na superfície determinadas substâncias existentes, em fluidos líquidos ou gasosos, proporcionando a separação dos elementos. Sempre que se fala em adsorção deve-se dar devida atenção a dois termos importantes, adsorvente ou adsorbente e adsorvato ou adsorbato (NASCIMENTO, 2020).

2.1.1 Adsorvente

O material onde irá ocorrer o processo de adsorção é conhecido como adsorvente, comumente um material sólido é utilizado. As características do material adsorvente é que ele seja poroso, já que os poros terão a função de aderir a substância que se deseja remover do material fluido. Os poros podem ser subdivididos em microporoso (menor 2 nm), mesoporoso (entre 2 e 50 nm) e macroporoso (acima de 50 nm), em relação ao seu diâmetro interno (PENHA, 2020).

2.1.2 Adsorbato

A substância que podem encontrar-se adsorvida na parte superficial do material adsorvente é o adsorbato, substâncias essas que podem ser íon, átomos ou moléculas do fluido e que serão agregados através dos poros adsorventes (PENHA, 2020).

2.2 TIPOS DE ADSORÇÃO

Adsorção tem como princípio a acumulação de uma substância sobre a superfície de outra, mecanismo este, podendo ser classificado de dois tipos, adsorção química e adsorção física. Na Tabela 1 pode-se observar os aspetos que diferenciam á adsorção química de uma adsorção física, na literatura clássica.

Tabela 1 – Diferenças entre adsorção química e adsorção física.

	Adsorção Física	Adsorção Química
Tipos de Forças	Forças de Van der Waals	Forças comparáveis às ligações químicas
ΔH_{ads} (Calor de adsorção)	$\sim 40 - 10 \text{ KJ. mol}^{-1}$	$\sim 40 - 1000 \text{ KJ. mol}^{-1}$
Cinética de Ativação	Não ativada. Não há transferência de elétron, embora possa haver polarização do adsorvato.	Ocorre a transferência de elétron, formando uma ligação entre o adsorvato e o adsorvente.
Número de Camadas	Multicamadas	Monocamada
Reatividade Química	Pequenas mudanças	Pode causar mudanças na reatividade do adsorvato

Fonte: Sousa (2015).

2.3 CONDIÇÕES OPERACIONAIS DA ADSORÇÃO

A adsorção é um processo que tem dependência de vários fatores, exemplo deles: tipo do adsorvente, adsorbato, e as circunstâncias de adsorção como a solubilidade do soluto, temperatura e pH. Segundo Vasques (2008) outros fatores, como o diâmetro molecular do adsorbato podem afetar a adsorção, já que o material com diâmetros moleculares inferiores tem mais facilidade em difundir-se para o interior do sólido, obtendo-se uma adsorção de forma mais significativa. Além disso, a solubilidade do adsorbato prejudica a atração para a superfície do adsorvente, os menores valores de pH beneficiam a adsorção de ácidos orgânicos, podendo assim existir um pH ótimo a ser determinado para cada tipo de caso. Altas temperaturas reduzem a quantidade de soluto adsorvido, e baixas temperaturas são benéficas a adsorção, embora a velocidade seja afetada por outros fatores.

Sendo assim, vários critérios devem ser analisados para se conseguir um elevado índice de adsorção, pois a eficiência do processo será afetada de acordo com a escolha dos parâmetros citados.

2.4 Cinética de Adsorção

A taxa de remoção do adsorbato na fase fluida em relação ao tempo é a expressão da cinética de adsorção, onde inclui a transferência de massa de um ou mais elementos inseridos em uma massa líquida externa para o interior da partícula do adsorvente, no qual precisarão migrar através dos macroporos até as áreas mais internas da partícula (NASCIMENTO, 2020).

2.4.1 Modelos cinéticos de adsorção

Os modelos cinéticos são necessários para obtenção da parcela de adsorbato no qual foi retirado do processo de adsorção. Na literatura encontram-se inúmeros modelos cinéticos de adsorção, sendo de grande importância para avaliação do processo de adsorção, tendo como exemplo a reação química, controle da difusão e transferência de massa durante o processo. Entretanto, diante vários modelos, os mais utilizados são o modelo de pseudo-primeira ordem e o modelo de pseudo-segunda ordem (NASCIMENTO, 2020).

2.4.1.1 Modelo de pseudo-primeira ordem

Em 1898 Lagergren propôs o modelo de pseudo-primeira ordem, podendo ser reconhecido como modelo de primeira ordem de Lagergren. A primeira equação de taxa para descrever o fenômeno de adsorção líquido-sólido, mas pode ter algumas limitações de aplicações em relação a faixa de tempo de contato (RHEINHEIMER, 2016). A equação proposta por Lagergren pode ser observada a seguir como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 \cdot (q_e - q_t) \quad (01)$$

Sendo as variáveis:

k_1 = Constante da taxa de adsorção de pseudo-primeira ordem (min^{-1});

q_e = Quantidade adsorvida por grama de adsorvente no equilíbrio (mg/g);

q_t = Quantidade adsorvida por grama de adsorvente no tempo t (mg/g);

t = tempo de adsorção (min).

2.4.1.2 Modelo de pseudo-segunda ordem

Em 1999 Yuh-Shan Ho e G. McKay apresentou um modelo de pseudo-segunda ordem, e assim como o modelo proposto anos atrás por Lagergren também mostra o fenômeno de adsorção de sólidos e líquidos, porém, a diferença entre modelo deles e o anterior é que o modelo de pseudo-segunda ordem pode ser usado a qualquer tempo de contato (SOARES; FERREIRA; SILVA, 2017). A equação proposta pode ser observada a seguir como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 \cdot (q_e - q_t)^2 \quad (02)$$

Sendo as variáveis:

k_2 = Constante da taxa de adsorção de pseudo-segunda ordem (min^{-1});

q_e = Quantidade adsorvida por grama de adsorvente no equilíbrio (mg/g);

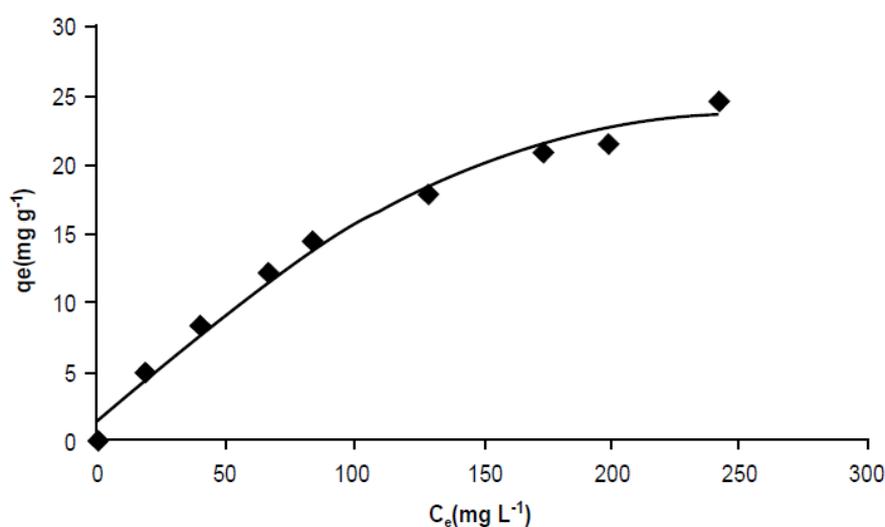
q_t = Quantidade adsorvida por grama de adsorvente no tempo t (mg/g);

t = tempo de adsorção (min).

2.4.2 Isotermas de adsorção

A representação do equilíbrio de um processo de adsorção é observada através das isotermas de adsorção, já que comprovam a aptidão de adsorção desse processo, em que se pode visualizar de forma simples a associação entre concentração do adsorbato na fase fluida e a sua concentração nas partículas do adsorvente. Essa capacidade de adsorção pode ser feita na observação gráfica, exemplificado a seguir (HOPPEN, 2017).

Figura 1 – Exemplo de Isoterma de Adsorção.



Fonte: Nascimento (2020).

Na literatura existem muitos modelos de isotermas de adsorção, assim como nas cinéticas, que contribuem para o ajuste de dados e identificação das informações das curvas formadas. Os modelos frequentemente utilizados em processos de adsorção sólido-líquido são o de Langmuir e Freundlich. Nascimento et al. (2014) explica que tais modelos são os mais utilizados, pois representam a capacidade máxima de adsorção, além de descreverem de forma precisa o comportamento dos dados experimentais.

2.4.2.1 Isoterma de Langmuir

Em 1916 foi proposto a isoterma Langmuir, modelo que é bastante utilizado, e tem por aspecto apresentar o seguinte comportamento do processo de adsorção: existe um número de sítios ativos definidos, a adsorção ocorre em monocamada, uma molécula a ser adsorvida em cada sítio, os sítios tem energia equivalente e as moléculas adsorvidas não apresentam interação umas com as outras (NASCIMENTO et al., 2014). O modelo de Langmuir é representado a seguir:

$$q = \frac{q_{max} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (03)$$

Sendo as variáveis:

q = Quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio (mg/g);

q_{max} = Capacidade máxima de adsorção (mg/g);

K_L = Constante de interação adsorbato/adsorvente (L/mg);

C_e = Concentração do adsorbato no equilíbrio (mg/L).

2.4.2.1 Isoterma de Freundlich

Um dos primeiros modelos, isoterma de Freundlich, apresentou uma equação que associava a quantidade adsorvida com a concentração da solução levando em consideração um modelo com características empíricas. Ainda podendo ter aplicação para sistemas não ideais e tem como propriedade definir o desempenho do processo de adsorção como sendo: em superfícies heterogêneas, com adsorção em multicamadas, existência de uma vasta quantidade de sítios ativos onde cada um possui quantidades diferentes de energia (NASCIMENTO et al., 2014). O modelo de Freundlich é representado a seguir:

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (04)$$

Sendo as variáveis:

q_e = Quantidade de soluto adsorvido (mg/g);

K_F = Constante de capacidade de adsorção de Freundlich (L/g).

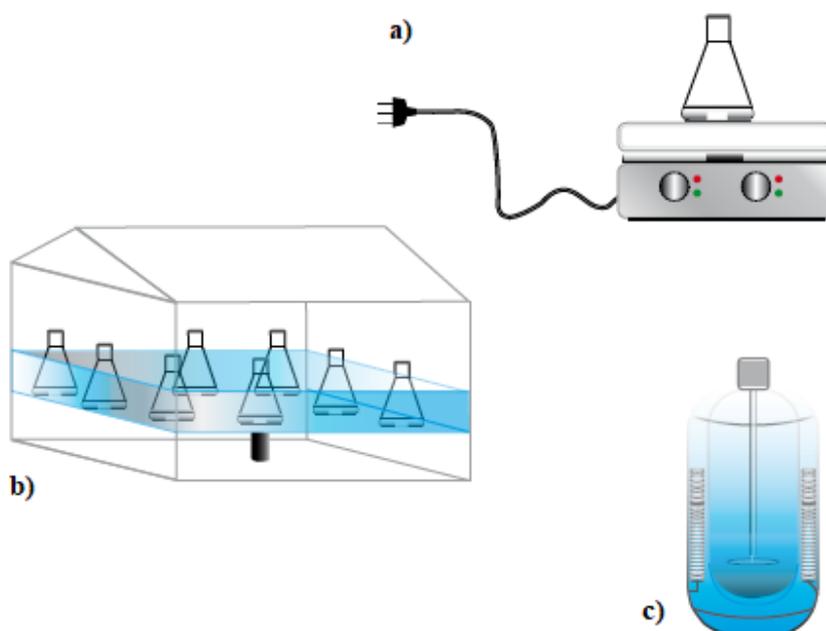
C_e = Concentração de equilíbrio em solução (mg/L);

$1/n$ = Constante relacionada à heterogeneidade da superfície;

2.5 Ensaio de Adsorção Batelada

No processo de adsorção, os mais simples experimentos realizados são os em batelada, na qual pode-se obter informações para desenvolvimento de ensaios em coluna ou escala piloto. Este processo de batelada é usualmente utilizado em pequenas quantidades, e a tomada de decisão em relação ao modo de adsorção batelada ou em coluna de escala industrial está necessariamente associada ao volume de solução que se trata e o tempo de contato que se necessita ou que se disponha ao processo. Em relação a utilização de grandes volumes e pequenos tempos de contato, se indica o sistema em coluna. No sistema em batelada a agitação para grandes volumes é responsável pelo aumento nos custos de implementação (NASCIMENTO, 2020). Na figura 2 pode-se observar os equipamentos utilizados para o ensaio em batelada.

Figura 2 – Tipos de ensaio batelada: ensaio em agitador magnético (a), ensaio com banho termostático agitado (b), ensaio em reator batelada encamisado (c).



Fonte: Nascimento (2020).

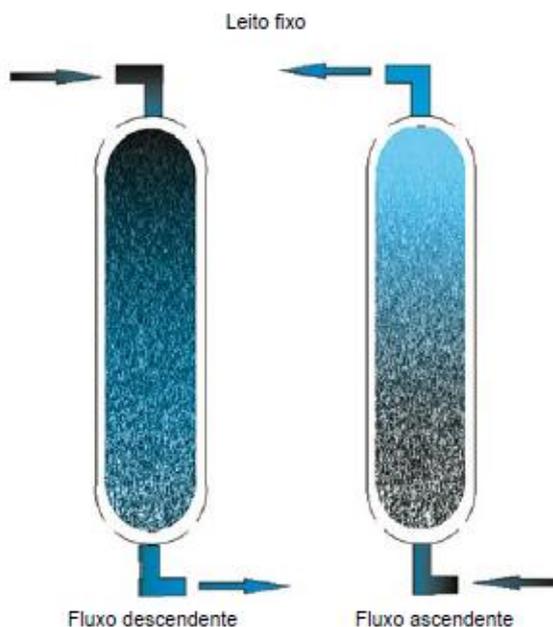
Nos estudos dos processos em batelada as variáveis observadas são: temperaturas, massa do adsorvente, concentração do adsorvato e velocidade de agitação. Em processo em que o adsorvato se encontra em fase líquida, o pH também é fator para determinação das condições experimentais para realização de estudos. Outra variável que podemos acrescentar nos ensaios de adsorção é a granulometria do adsorvente, ou seja, o tamanho do material utilizado. Esse parâmetro é diretamente relacionado com a área superficial do adsorvente, que normalmente quanto maior a área superficial, teremos uma maior capacidade de adsorção, tornando assim uma característica importante no processo de adsorção (NASCIMENTO, 2020).

2.6 Ensaio de Adsorção em Leito Fixo

A adsorção em leito fixo utiliza-se de processos contínuos, onde tem por princípio o fluxo contínuo de massa através do sistema, a uma taxa constante em relação ao tempo em qualquer ponto do sistema, sendo repetidamente empregada em processos em larga escala. Este método é na maioria das vezes mais econômico e resume-se essencialmente em passar a solução incluindo o adsorvato em presença de um leito incluso os sólidos adsorventes. A preparação de estudos de adsorção em leito fixo utiliza-se de um sistema composto essencialmente de um recipiente contendo a solução, uma bomba peristáltica para manuseio de vazão e uma coluna preenchida com o material adsorvente e malhas nos extremos da coluna para evitar flutuações do material. A adsorção em leito fixo ainda pode

ser ascendente ou descendente (NASCIMENTO, 2020). A figura 3 ilustra o procedimento em leito fixo, onde vem-se a utilizar uma coluna para o processo, podendo haver variação do sentido do fluxo.

Figura 3 – Esquema de coluna de adsorção em fluxo descendente e ascendente.



Fonte: Nascimento (2020).

2.7 Aplicações Industriais para remoção de fármacos

Os fármacos com suas características de persistência química, baixa biodegradabilidade e sua resistência microbiana, são comumente totalmente extraídos por processos convencionais de tratamento que são baseados na degradação biológica dos contaminantes, por isso é necessário procura por métodos para aplicação e remoção em escala industrial. (TORRES et al, 2012).

Como as técnicas convencionais têm eficácia baixa, acompanhadas à desvantagem de produzirem lodos que podem ainda conter fármacos, é necessário introduzir uma etapa adicional nas Estação de Tratamento de Efluentes (ETEs) industriais que sejam capazes de retirar de forma eficaz esses poluentes. Sendo assim, os tratamentos terciários (que envolvem as tecnologias avançadas de tratamento como a adsorção e os processos oxidativos avançados) são opções viáveis uma vez que visam a eliminação completa de poluentes que apresentam toxicidade (FONSECA, 2020).

Segundo Fonseca (2020), os estudos encontrados na literatura para a eliminação dos fármacos ampicilina, atenolol e paracetamol presentes em efluentes, dentre as técnicas citadas, o processo de adsorção é geralmente considerado melhor nos tratamentos de águas devido à facilidade de operação e simplicidade no processo. Além disso, este processo pode eliminar ou reduzir os diferentes tipos de poluentes orgânicos e inorgânicos da água ou de águas residuais, e, portanto, têm uma vasta aplicação no controle da poluição das águas. Assim, a adsorção se torna uma interessante alternativa para o tratamento de águas contaminadas com produtos farmacêuticos

3 METODOLOGIA

Este é um trabalho de revisão de literatura sobre a utilização da adsorção para remoção de fármacos. Esta pesquisa bibliográfica utilizou-se da rede mundial de internet, livros, artigos, teses, dissertações, monografias entre outras fontes, com publicações nas bases de dados Google Acadêmico, Science Direct, Scientific Electronic Library Online (Scielo) e Portal de Periódicos da Capes, utilizando os seguintes descritores com fonte de pesquisa, em português e inglês: “Utilização da adsorção como método de remoção de fármacos”; “*Use of adsorption as a drug removal method*”.

O critério de inclusão para pesquisa foram estudos experimentais que utilizassem a aplicação do processo de adsorção para remoção de fármaco realizados entres os anos de 2012 a 2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4 Quantitativo de pesquisa e banco de dados

O levantamento bibliográfico para quantificação do objeto de estudo foi realizado por busca de termos específicos em quatro bancos de dados, sendo eles o Google Acadêmico, Science Direct, Scientific Electronic Library Online (Scielo) e Portal de Periódicos da Capes. Foram inseridos como palavras-chave “ADSORÇÃO”, “FÁRMACOS” e “REMOÇÃO”, que estavam presentes nos títulos, resumos e/ou palavras chaves dos trabalhos, separados pelo pontuação de “;”.

No Google Acadêmico, encontrou-se uma extensa variedade publicações, os resultados acerca da temática entre os anos de 2012 e 2022, são observados na Figura 4. Onde em termos de números, mostrados na tabela 2, os seguintes resultados se apresentaram com uma maior incidência para temática de adsorção, por ser um tema mais abrangente da temática da pesquisa.

Figura 4 - Resultados pesquisa Google Acadêmico.

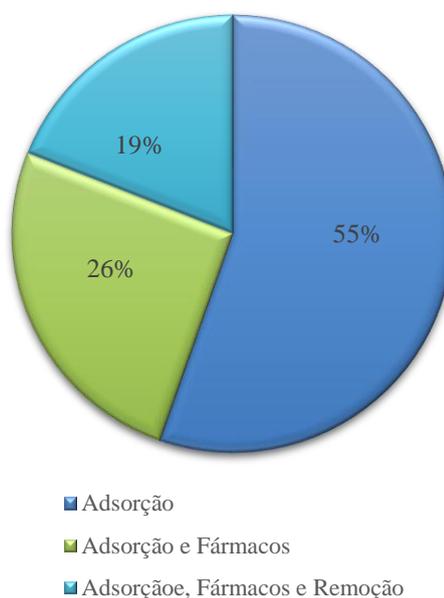


Tabela 2 - Resultados pesquisa Google Acadêmico.

Pesquisa	Resultado
Adsorção	24.600
Adsorção e Fármacos	11.400
Adsorção, Fármacos e Remoção	8.430
Total	44.430

Em relação aos países que tiveram grande incidência da pesquisa, pode-se destacar o Brasil, China e Estados Unidos como os que tiveram expressivo resultados na pesquisa, como podemos observar na Figura 5 e na tabela 3.

Figura 5 - Resultados pesquisa Google Acadêmico países.

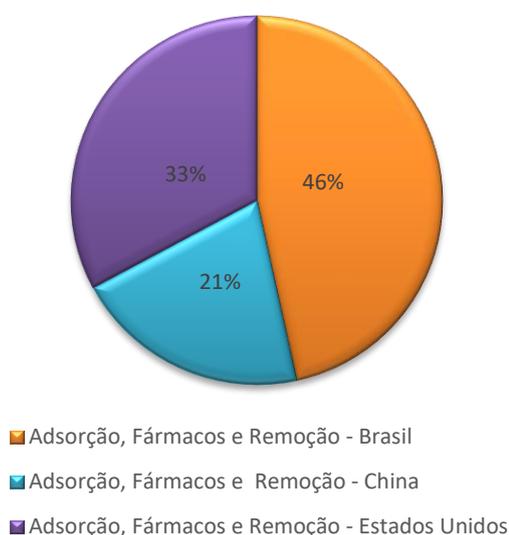
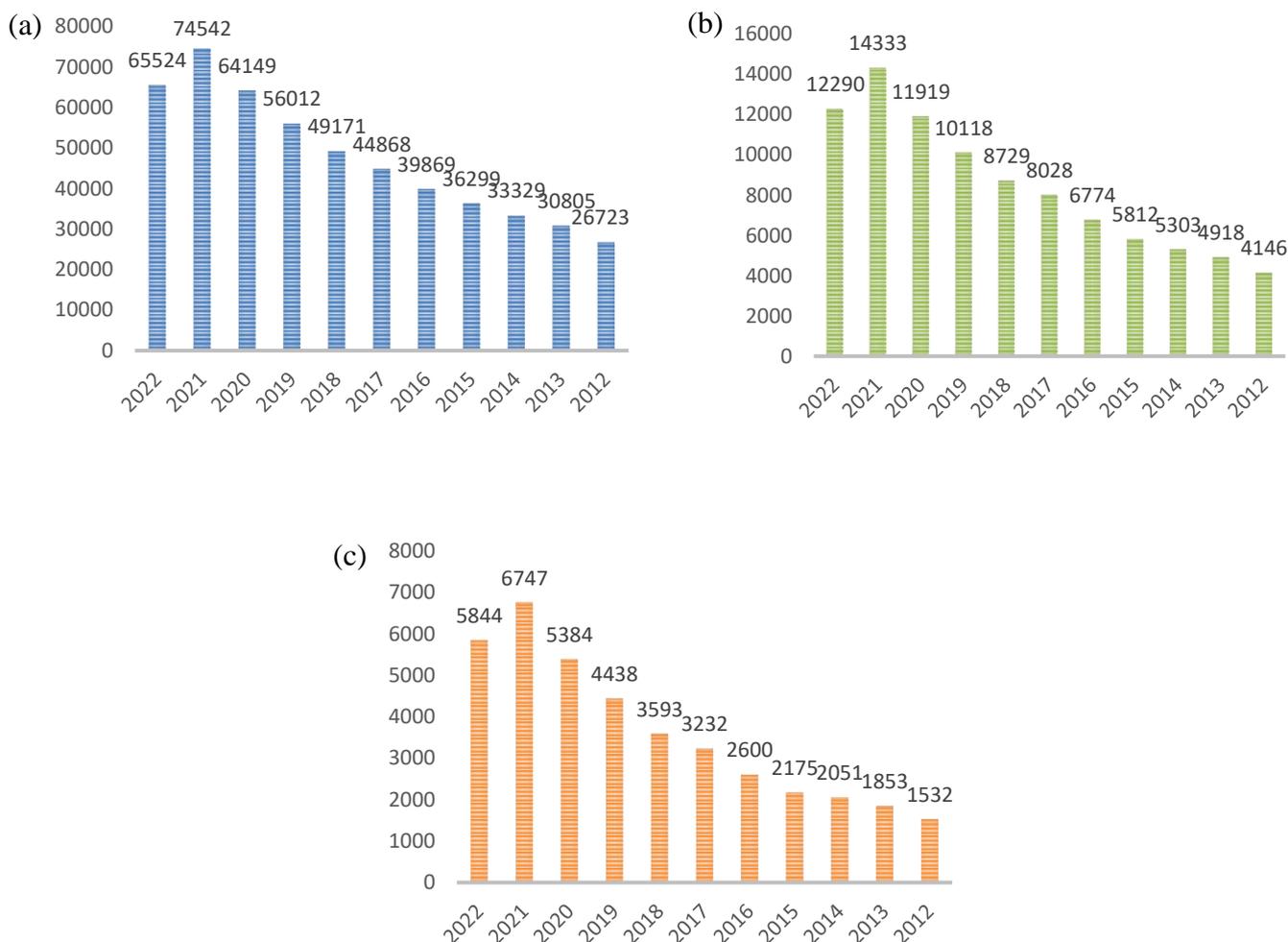


Tabela 3 - Resultados pesquisa Google Acadêmico países

Pesquisa	Resultado
Adsorção, Fármacos e Remoção - Brasil	6.650
Adsorção, Fármacos e Remoção - China	2.940
Adsorção, Fármacos e Remoção - Estados Unidos	4.690
Total	14.280

No Science Direct, outra fonte utilizada, encontrou-se um novo número de informações acerca de publicações, os resultados acerca do tema foram novamente condicionados aos anos de 2012 e 2022, pode-se observar na Figura 6.

Figura 6 - Resultados anos Science Direct com palavras-chave (a) Adsorção, (b) Adsorção e FÁrmacos, (c) Adsorção, FÁrmacos e Remoção.



Outro ponto que podemos destacar, é o tipo de publicação que apresentou maior índice da temática no mundo e no Brasil, onde podemos destacar artigo de pesquisa, artigo de revisão e capítulo de livro, os números podem ser observados nas tabelas 4 e 5 a seguir.

Tabela 4 – Resultados da Pesquisa.

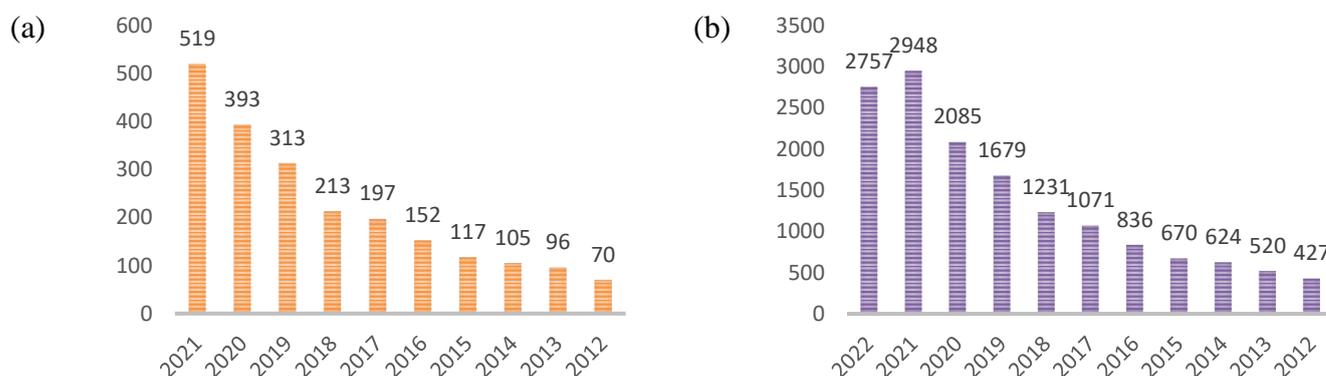
Publicação	Adsorção	Adsorção e FÁrmacos	Adsorção, FÁrmacos e Remoção
Artigo de revisão	34.099	14.018	7.562
Artigo de pesquisa	432.426	63.369	24.689
Capítulo de livro	22.656	9.169	5.111
Total	489.181	86.556	37.362

Tabela 5 - Resultados da Pesquisa: Adsorção, Fármacos e Remoção – Brasil.

Publicação	Quantidade
Artigo de revisão	723
Artigo de pesquisa	1.222
Capítulo de livro	470
Total	2.415

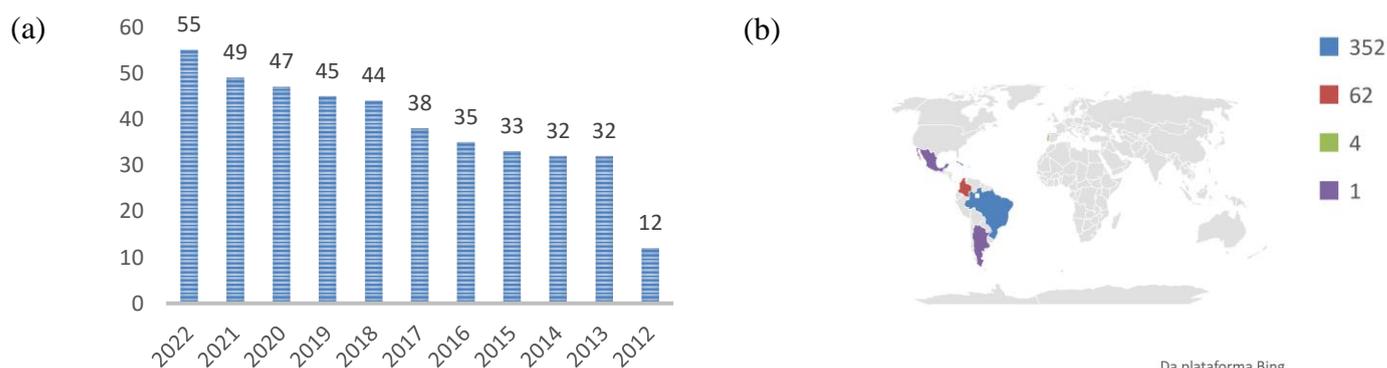
Outra forma de analisar a ocorrência do tema é em relação as publicações no Brasil e na China. O comparativo entre Brasil e China se deu para ter uma perspectiva do nosso país em relação ao país com mais publicações sobre o tema, como Riguetto et al (2021) demonstra no seu review, onde durante os últimos 10 anos houve uma tendência de crescimento, como pode-se observar na Figura 7.

Figura 7 - Resultados Science Direct com palavras-chave: Adsorção, Fármacos e Remoção, por países: (a) Brasil e (b) China



No Scientific Electronic Library Online (SciELO) com a utilização das palavras da pesquisa da temáticas, teve-se os seguintes resultados para pesquisa durante os últimos 10 anos, com uma inclinação de crescimento, e os países de sua origem na Figura 8.

Figura 8 - Resultados SciELO pesquisa anos e por países com palavras-chave: Adsorção, Fármacos e Remoção, por países: (a) Anos e (b) Países.



No Portal de Periódicos da Capes com a pesquisa utilizando as palavras chaves, encontramos os seguintes resultados da temática no banco de dados.

Tabela 6 – Resultados da pesquisa Periódicos da Capes

Pesquisa	Resultado
Adsorção, Fármacos e Remoção	3508
Adsorção e Fármacos	49
Adsorção	16

Diante de muitas publicações pode-se destacar um exemplo de cada uma a seguir. Uma abordagem do conteúdo de adsorção é feita no capítulo do livro de Adsorção: Aspecto teóricos e Aplicações Ambientais de Nascimento et al. (2020) da editora Imprensa Universitária UFC, onde ele destaca os princípios básicos da adsorção e a crescente popularidade como método de separação e purificação, tornando-se uma ferramenta útil em vários setores por ser um tratamento muito eficiente.

Em relação a artigos de revisão pode-se destacar o de Riguetto et al. (2021), com o título de “Remoção de contaminantes emergentes de águas residuais por adsorção: um review”, publicado nos anais do web encontro de Engenharia Química 2021, onde ele faz uma revisão acerca do uso da técnica de adsorção para remoção de contaminantes emergentes de águas residuais, como Cafeína, Diclofenaco, Carbamazepina, Ciprofloxacina, Acetaminofeno/Paracetamol, Amoxicilina, Tetraciclina e Atenolol, destacando os principais materiais adsorventes, como uso de carvões ativados de fontes comerciais ou residuais e resultados.

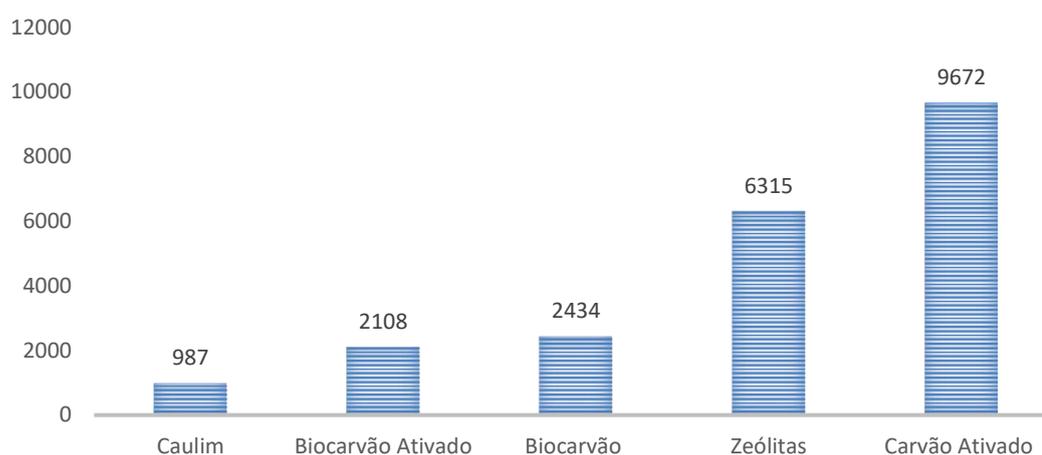
Acerca dos artigos de pesquisa desenvolvido pode-se destacar Provenzi et al. (2020), com o título “Estudo da adsorção de tetraciclina em uma matriz de poliuretano expandido com carvão ativado de casca de banana.”, publicado na Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá, que traz uma abordagem de analisar a utilização da adsorção do fármaco tetraciclina com as matrizes. Foi realizado um teste de adsorção com concentrações diferentes de Tetraciclina (10 mg/L e 30 mg/L). Através dos resultados obteve-se uma eficiência de remoção de tetraciclina de 22,9% para a concentração de 10 mg/L e 21,4% para a concentração de 30 mg/L para a matriz de 10% de carvão com carvão ativado obtido a partir de casca de banana, onde foram realizados teste em diferentes concentrações de fármacos para avaliar a eficácia de remoção.

O tema abordado mostrou muito em evidência de estudos realizados no mundo e em países como a China, Brasil e Estados Unidos, mostrando uma promissora área de estudos com foco em remoção de contaminantes e utilização de alternativas viáveis para utilização. O grande número de artigo de pesquisa justifica a abordagem da temática neste trabalho, mostrando o grande significado na atualidade. Outro ponto percebido é o aumento no número de pesquisa nos últimos 10, sendo justificado pela preocupação ambiental de todo o mundo com o tratamento dos recursos naturais e sua reutilização.

4.5 Adsorventes utilizados

Em relação a utilização dos adsorventes temos o destaque de cinco adsorventes encontrados, obtido com dados da pesquisa nas bases de dados já mencionadas anteriormente, cuja distribuição pode ser observado na figura 9.

Figura 9 – Adsorventes Utilizados.



Resultados expressivos de adsorção ocorreu com o carvão ativado, onde Rheinheimer (2016), Haro (2017) e Penha (2020) o utilizaram. Eles citam em seus trabalhos que é um dos processos de tratamento que vem sendo amplamente estudado, onde tem demonstrado ser uma boa alternativa para a remoção de compostos resistentes. As suas vantagens envolvem o baixo custo de implantação e a facilidade na sua operação frente aos demais métodos, além de apresentar elevada eficiência em muitos sistemas.

Dentre os adsorventes utilizados na literatura temos também os de origem minerais, como as zeólitas, estudadas por Smiljanić (2021), onde foram testados para a remoção de dois contaminantes emergentes como o ibuprofeno e naproxeno. Também teve-se a ocorrência do caulim, onde destaca-se o estudo de Yang (2022), que utilizou uma combinação de estudos experimentais e teóricos para analisar as propriedades de adsorção de norfloxacin, ciprofloxacina e ofloxacina em caulim modificado termicamente ativado. Estes materiais são destaque na literatura por terem características de serem bastantes porosos, uma importante qualidade para utilizados no processo de adsorção.

Outro adsorvente largamente utilizado foi o biocarvão obtido com tratamento térmico de resíduos agroindustriais, que são gerados no processamento de alimentos, fibras, couro, madeira, produção de açúcar, álcool. Como destaque de estudos temos oriundos de casca de laranja por Carvalho (2021) e da folha de mandioca por Schmucker (2019), que tem por objetivo utilizar materiais que não seriam aproveitados para fazer a remoção de contaminantes emergentes.

Obteve-se uma grande incidência na pesquisa literária do adsorvente de biocarvão ativado, onde se obtém através de tratamento térmico, podendo ser ativado fisicamente ou quimicamente. Esse adsorvente é de origem de compostos verdes, exemplos que foram encontrados foi o murumuru

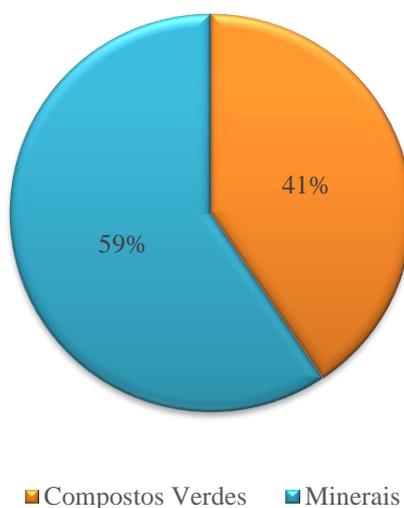
(*Astrocaryum murumuru Mart.*) estudado por Costa (2021), cannabis (*Cannabis sativum Hemp.*) por Sajid (2022), dendê in natura (*Elaeis guineensis*) por Ferreira (2018) e casca de banana (*Musa spp.*) por Provenzi (2020) que se destacaram pelos seus estudos de remoção de contaminantes e seus materiais utilizados como adsorventes.

Dentre as pesquisas citadas temos uma variedade de adsorvente, aqueles que são reaproveitados, já que seriam descartados, os que são por natureza muito propícios a sua utilização e os que estão estabelecidos em relação a tecnologias e suas vantagens de utilização.

4.6 Critérios da aplicação dos adsorventes

Rigueto et al (2021) traz um review de estudos disponíveis na literatura, onde ele demonstra argumentos para a utilização do método da adsorção como método de remoção, já que através do consumo intenso de medicamentos, proveniente ao aumento da população mundial e envelhecimento dele, o lançamento de efluentes contendo esses contaminantes vem crescendo no meio aquático. Carvalho (2021), Schmucker (2019), Costa (2021), Sajid (2022), Ferreira (2018) e Provenzi (2020) utilizaram da estratégia de estudar a utilização de compostos verdes para propor alternativas aos tratamentos já existentes. Rheinheimer (2016) utilizou-se de outro caminho de estudo, na utilização de um material mais conhecido e usado no tratamento de remoção de contaminantes. Smiljanić (2021) e Yang (2022) buscaram alternativas minerais, como estratégias de seus estudos, já que os adsorventes escolhidos têm características que propiciam sua utilização. Na Figura 10, obtido com dados da pesquisa, podemos observar a origem dos adsorventes.

Figura 10 – Origem dos adsorventes.



O estudo da adsorção mostra-se como uma alternativa, onde o método de processo é simplificado, onde existem diversos materiais de baixo custo para se utilizar e que estão disponíveis no meio ambiente, servindo de alternativa aos já existentes comercialmente.

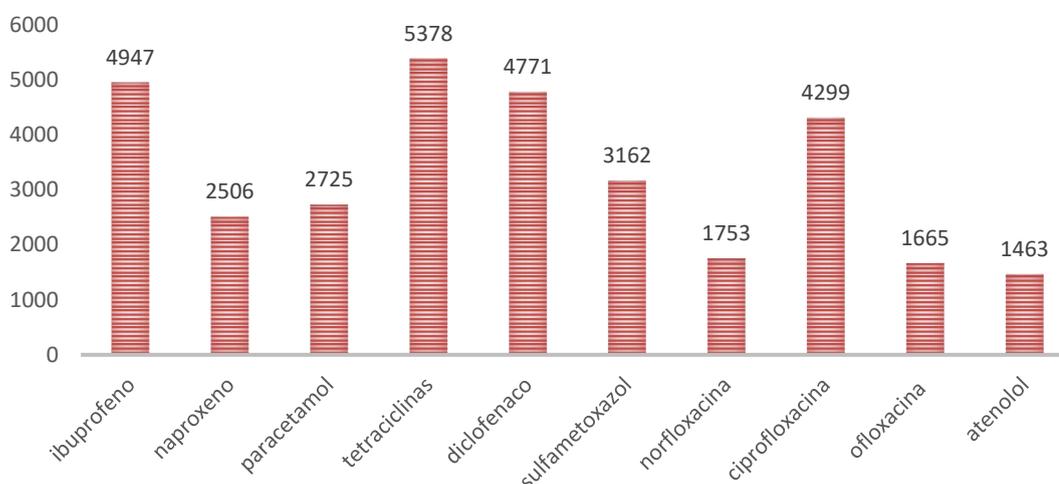
4.7 Metodologias e condições operacionais

Nos trabalhos observados, as metodologias utilizadas para preparação de dois tipos de adsorventes o biocarvão ativado e biocarvão, são bastante semelhantes, já que os materiais são de origem vegetal e necessitam de pré-tratamento, onde são lavados, secos, trituradas e peneirados. Tomando como exemplo os trabalhos de Costa (2021), Ferreira (2018), Sajid (2022) e Provenzi (2020,) o biocarvão ativado tem a necessidade de uma etapa a mais para sua ativação, já que é necessário um processo químico ou físico. Nos exemplos destacadas foram observadas a utilização da ativação química, com compostos como cloreto de zinco ($ZnCl_2$), ácido fosfórico (H_3PO_4) e ácido nítrico (HNO_3) com concentrações na sua utilização, variando de 0,1 a 1 Mol/L. Em relação ao tempo de ativação ele variou de 2 a 24 horas. Após esses tratamentos é necessário o tratamento térmico, feito em temperaturas que variaram de 45 °C a 450 °C e tempo de 4 a 48 horas.

Os adsorventes de origem minerais citados por Smiljanić (2021) e Yang (2022) tem a necessidade de outra metodologia para sua utilização. Eles foram preparados através de reações químicas ou foram retirados da natureza, sofrendo um tratamento térmico para sua ativação.

Nos trabalhos observados, no gráfico 5 obtido com dados da pesquisa, pode-se destacar os fármacos mais utilizados nos estudos temos o ibuprofeno, naproxeno, paracetamol, tetraciclina, diclofenaco, sulfametoxazol, norfloxacin, ciprofloxacina, ofloxacina e atenolol.

Figura 11 – Fármacos com maior utilização.

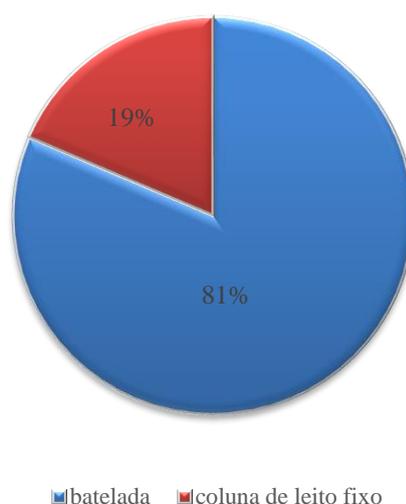


Nos estudos para utilização do fármaco são necessários uma metodologia de caracterização do fármaco, que consiste com a determinação do comprimento de onda da substância, para leitura em

equipamentos. Costa (2021), Ferreira (2018), Provenzi (2020) utilizaram-se de dados obtidos da literatura, onde estudos já realizados anteriormente utilizaram-se da metodologia de construção da curva de calibração, obtendo-se através de uma função da média de experimentos, empregando uma série de diluições e visando a obtenção de um comportamento linear da concentração do fármaco em função da absorbância como definição da faixa de trabalho analiticamente válida para a quantificação.

Em relação ao processo aplicado nos estudos, tem-se exemplos que foram feitos em batelada, como Carvalho (2021), Schmucker (2019), Smiljanić (2021) e Yang (2022), que se utilizaram de recipientes, como erlenmeyers, utilizados como reatores com condições de temperatura e agitação controladas através de equipamentos. Rheinheimer (2016) utilizou-se de coluna em leito fixo com condições de fluxo controlada. Na Figura 12, obtido com dados da pesquisa, podemos observar a incidência do tipo de processo utilizados na literatura.

Figura 12 – Tipos de metodologia utilizada.



Carvalho (2021), Schmucker (2019), Costa (2021), Sajid (2022), Ferreira (2018), Provenzi (2020), Rheinheimer (2016), Smiljanić (2021) e Yang (2022) utilizaram-se de condições operacionais dos ensaios de adsorção obtidas através de planejamentos experimentais, cujas variáveis analisadas foram pH, que variavam de 2 a 11, onde se analisou o meio básico, neutro e ácido. Em relação a massa do bioissorvente ela variou de 0,1 a 1 gramas a diferentes concentrações de fármaco que variavam 10 a 200 mg/L.

Estes estudos também desenvolveram ensaios cinéticos para avaliação do processo de adsorção, com condições fixas de concentração, massa e temperatura, onde observaram o decaimento da solução até o equilíbrio, ao obter a absorbância. Os ajustes dos dados foram feitos em modelos matemáticos cinéticos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem. Utilizou-se isotermas para avaliar a capacidade adsorptiva do adsorvente e determinar a melhor isoterma para o processo em questão. E ensaios de adsorção foram realizados nas condições de agitação, volume da solução e

temperatura fixos, variando apenas a massa de biocarvão. Os dados obtidos foram tratados de acordo com a revisão da literatura de modo a diagnosticar a natureza do processo de adsorção.

4.8 Comparativo de resultados

Biocarvão ativado

Nos resultados observados na literatura, disponíveis na tabela 1 obtido com dados da pesquisa, temos que destacar a utilização de biocarvão ativado sintetizado a partir de resíduos de murumuru (*Astrocaryum murumuru Mart.*) estudado por Costa (2021) e o carvão ativado preparado a partir de (*Cannabis Sativum Hemp*) (CSH) de Sajid (2022). Além de outros materiais, como o carvão ativado obtido a partir da casca de banana contido em uma matriz de poliuretano por Provenzi (2020) e o estudo do carvão ativado de dendê in natura por Ferreira (2018).

Tabela 7 – Estudos de adsorção com biocarvão ativado.

Adsorvente	Capacidade de Adsorção (mg/g)	Remoção (%)	Fármacos	Ref.
Murumuru (<i>Astrocaryum murumuru Mart.</i>)	>2,2 mg/g	>70%	ibuprofeno e naproxeno	Costa (2021)
Cannabis Sativum Hemp (CSH)	16,18 mg/g	-	paracetamol	Sajid (2022)
Casca de banana (<i>Musa spp.</i>)	-	21-23%	tetraciclina	Provenzi (2020)
Dendê in natura (<i>Elaeis guineensis</i>)	64,75 mg/g	-	paracetamol	Ferreira (2018)

Biocarvão

O estudo realizado por Carvalho (2021) para observar a capacidade de remoção de fármacos à base de biocarvão de bagaço de laranja teve resultados de adsorção de 100% de tetraciclina em águas residuárias domésticas e a eficiência da filtração com biocarvão foi em média 25% maior do que com o carvão comercial. Schmucker (2019) utilizou o biocarvão das folhas da mandioca (*Manihot esculenta Crantz*), onde observou-se que o pH não influencia significativamente a adsorção de fármaco, e que as melhores condições de adsorção propiciam uma alta capacidade adsorvente, resultados desses estudos na tabela 8 obtido com dados da pesquisa.

Tabela 8 – Estudos de adsorção com biocarvão.

Adsorvente	Capacidade de Adsorção (mg/g)	Remoção (%)	Fármacos	Ref.
bagaco de laranja	-	57,59%	tetraciclina	Carvalho (2021)

folhas da mandioca <i>(Manihot esculenta</i> <i>Crantz)</i>	57,60 mg/g	-	Sulfametoxazol	Schmucker (2019)
--	---------------	---	----------------	---------------------

Caulim e Zeólitas

Smiljanić (2021) realizou a combinação de estudos experimentais onde serviu para analisar as propriedades de adsorção do caulim modificado termicamente, e foram observados os principais fatores (temperatura de calcinação, dose, pH, cátions e regeneração) que afetam a adsorção. Para cada rocha rica em zeólitas, estudada por Yang (2022), foram feitas duas modificações diferentes das superfícies zeolíticas e observada a influência das concentrações iniciais do fármaco e do tempo de contato na adsorção, os resultados desses estudos estão na tabela 9 obtido com dados da pesquisa.

Tabela 9 – Estudos de adsorção com Caulim e Zeólita.

Adsorvente	Capacidade de Adsorção (mg/g)	Remoção (%)	Fármacos	Ref.
Caulim	-	88,53%, 89,43% e 91,46%.	norfloxacino, ciprofloxacino e ofloxacino	Smiljanić (2021)
Zeolitas	19,7 mg/g e 16,1 mg/g	-	ibuprofeno e naproxeno	Yang (2022)

Carvão Ativado

Rheinheimer (2016), Haro (2017) e Penha (2020) realizaram estudos acerca de utilização de carvão ativado comercial, onde testaram a viabilidade de utilização deste material em um processo de tratamento de efluentes contaminados. Os resultados destes estudos podem ser observados na tabela 10 obtido com dados da pesquisa.

Tabela 10 – Estudos de adsorção com Carvão ativado comercial.

Adsorvente	Capacidade de Adsorção (mg/g)	Remoção (%)	Fármacos	Ref.
Carvão Ativado comercial	167 mg/g	-	paracetamol	Penha (2020)
Carvão Ativado comercial	-	90%	paracetamol	Rheinheimer (2016)
Carvão Ativado comercial	-	94% e 95%	Atenalol e paracetamol	Haro (2017)

Os resultados obtidos em todos os tipos de adsorventes foram bem promissores, tendo em vistas que alguns os materiais utilizados são um reaproveitamento de matéria orgânica. O destaque

fica em relação ao carvão ativado comercial, onde obteve um resultado expressivo na remoção de fármacos. Também pode-se dar destaque para o murumuru e o dendê, por conseguirem uma alta capacidade de adsorção e remoção respectivamente, abrindo os olhos para novas pesquisas e estudos mais aprofundados e um possível uso em escala industrial.

5 CONCLUSÕES

Através de alguns estudos observados na literatura pode-se chegar a conclusões que os resultados obtidos nestes trabalhos revelam que a adsorção pode ser utilizada como técnica de remoção de fármacos, já que pode-se tanto utilizar adsorventes comerciais como alternativas, que se apresentaram muito eficientes e viáveis para a remoção de fármacos em processos de tratamento de efluentes.

Os resultados dos estudos com resíduos agroindustriais comprovaram que são uma matéria-prima eficiente, barata e sustentável para a fabricação de adsorventes e podem ser usados para a remoção eficiente de contaminantes de um sistema aquoso. Ainda tem-se estudos que utilizaram de materiais minerais, e apresentaram resultados muito satisfatórios na adsorção, como o caulim, que provou ser um bom meio de obtenção de adsorvente alternativo.

Outros estudos utilizaram adsorção com biocarvão ativado, funcionalizado com HNO_3 por exemplo, mas acarretou a diminuição da quantidade adsorvida dos fármacos, demonstrando a interferência dos grupos ácidos na eficiência de remoção. Análises ainda de materiais já disponíveis comercialmente, como carvão ativado, mostraram ser alternativas para serem usados como um adsorvente eficiente para águas contaminadas.

Diante do exposto conclui-se a possibilidade de conversão de um resíduo da agroindústria de baixo valor, sem destinação apropriada, e materiais minerais em produtos adsorventes, a serem utilizados como alternativa para tratamento de águas residuárias.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, Roseanne Santos de *et al.* **Utilização do biocarvão de bagaço de laranja na remoção de tetraciclina em água residuária.** *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 26, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620210002.1280>. Acesso em: 10 maio 2022.

COSTA, Raylime Louise Tavares *et al.* **Removal of non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) from water with activated carbons synthesized from waste murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.): Characterization and adsorption studies.** *Journal of Molecular Liquids*, p. 116980, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116980>. Acesso em: 5 maio 2022.

FERREIRA, Regiane Cristina *et al.* **Utilização de carvão ativado de dendê in natura e funcionalizado em meio ácido na adsorção de paracetamol.** *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 23, n. 1, 5 mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0304>. Acesso em: 10 maio 2022.

FONSÊCA, Mateus Cottorello. **Avaliação da adsorção de fármacos presentes em amostras aquosas usando biocarvão de bagaço de cana-de-açúcar.** 2020. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2020.

HARO, Nathalia Krummenauer. **Remoção dos fármacos atenolol, paracetamol e ampicilina por adsorção em carvão ativado.** 2017. PublishedVersion — reponame:Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UFRGS, [s. l.], 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/172254>. Acesso em: 10 maio 2022.

HOPPEN *et al.* 2019. **Adsorption and desorption of acetylsalicylic acid onto activated carbon of babassu coconut mesocarp.** *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7, 102862, 2019.

HOPPEN, Mariana Irene. **Adsorção e dessorção do ácido acetilsalicílico em carvão ativado de casca de coco de babaçu in natura e funcionalizado com HNO₃.** 2017. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** E-book. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária. 2020. (Estudos da pós-graduação). Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>. Acesso em: 10 de Novembro de 2021.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC), 2014.

PENHA, Vitória Cibely Silveira. **Tratamento de efluentes contaminados com paracetamol através da adsorção em batelada e coluna de leito fixo.** 2020. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2020.

PROVENZI, Eduarda Laís Dalmolin *et al.* **Estudo da adsorção de tetraciclina em uma matriz de poliuretano expandido com carvão ativado de casca de banana.** Revista Tecnológica, v. 29, n. 2, p. 430-435, 25 mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v29i2.52441>. Acesso em: 10 maio 2022.

RHEINHEIMER, Martin Oscar Witzke. **Remoção de Paracetamol por Adsorção em Carvão Ativado: Processo em Batelada e Coluna de Leito Fixo.** 2016. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RIGUETO, Cesar Vinicius Toniciolli; ALESSANDRETTI, Ingridy; DETTMER, Aline. **Remoção De Contaminantes Emergentes De Águas Residuais Por Adsorção: Um Review.** Disponível em: <https://10.29327/138535.1-47>. Acesso em: 5 maio 2022.

RIVERA-UTRILLA, José *et al.* **Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water.** A review. Chemosphere, v. 93, n. 7, p. 1268-1287, 2013.

SAJID, Muhammad *et al.* **Adsorption characteristics of paracetamol removal onto activated carbon prepared from Cannabis sativum Hemp.** Alexandria Engineering Journal, v. 61, n. 9, p. 7203-7212, set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.12.060>. Acesso em: 5 maio 2022.

SCHMUCKER, Jackeline Raquel. **Remoção de sulfametoxazol por adsorção em biocarvão ativado das folhas da mandioca (Manihot esculenta Crantz) em meio aquoso.** 2019. 60 f. Dissertação(Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.

SMILJANIĆ, Danijela *et al.* **Removal of non-steroidal anti-inflammatory drugs from water by zeolite-rich composites: The interference of inorganic anions on the ibuprofen and naproxen adsorption.** Journal of Environmental Management, v. 286, p. 112168, maio 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112168>. Acesso em: 5 maio 2022.

SOUSA, Dennis Dantas. **Produção e avaliação da farinha da casca de banana como bioadsorvente na remoção de corantes têxteis em águas residuárias.** 2015. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.

TORRES, Nádia Hortense *et al.* **Fármacos no Ambiente - Revisão.** REA - Revista de Estudos Ambientais, Blumenau, v. 14, n. 4, p.67-75, jul. 2012. Semestral.

YANG, Yuxuan *et al.* **Efficient with low-cost removal and adsorption mechanisms of norfloxacin, ciprofloxacin and ofloxacin on modified thermal kaolin: experimental and theoretical studies.** Journal of Hazardous Materials, v. 430, p. 128500, maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128500>. Acesso em: 5 maio 2022.