



USO DE MICROPARTÍCULAS POLIMÉRICAS DO COMPÓSITO DE QUITOSANA E FIBRA DA CASCA DA BANANA-MAÇÃ PARA REMOÇÃO DE PARACETAMOL DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

Ana Beatriz Arruda Cajaiba^{1*}
Ana Carollina Rodrigues da Silva^{1*}
Carolina Nascimento da Silva^{1*}
Gabriela de Carvalho Lopes^{1*}
Gabrielle Vitória Gomes Silva^{1*}
Prof. Dr. Klauss Engelmann

RESUMO

A contaminação da água e perda de recursos hídricos é um problema global. Fármacos são poluentes emergentes de considerável importância pois não são retirados por tratamentos convencionais e causam grandes impactos a vida aquática. Tendo essa situação em vista, se faz necessário o desenvolvimento de tecnologias para conservar esse tão precioso recurso. O presente artigo tem como objetivo apresentar um estudo sobre a adsorção do paracetamol em efluentes aquáticos, utilizando micropartículas de um compósito formado pelo biopolímero de quitosana e fibra da casca da banana-maçã, e micropartículas de quitosana.

As micropartículas de quitosana e micropartículas do compósito foram adicionadas em tubos de ensaio contendo uma solução de paracetamol. Os sobrenadantes da solução foram analisados por espectrofotometria UV/Visível para quantificar a adsorção.

Os resultados obtidos por meio das análises mostram que o uso de micropartículas de quitosana apresentam boa adsorção do paracetamol, porém, o uso do compósito não aumentou a eficiência das propriedades adsorptivas, mantendo-se as mesmas e mostrando que a fibra de casca de banana-maçã nas condições do experimento se demonstrou inerte para retirada do fármaco.

Assim, foi possível concluir que o biopolímero quitosana tem um interessante potencial adsorptivo e que seu uso precisa ser estudado em relação a retirada de fármacos. Também foi possível constatar que apesar de fibras de casca de banana serem constantemente usadas para a retirada de metais pesados, não apresenta bons resultados na retirada do fármaco analisado.

Palavras-chave: Adsorção. Paracetamol. Quitosana. Fibra.

ABSTRACT

Contamination of water and loss of water resources is a global problem. Pharmaceuticals are emerging pollutants of considerable importance because they are not removed by conventional treatments and cause major impacts on aquatic life. Given this situation, it is necessary to develop technologies to conserve this precious resource. This paper aims to present a study on the adsorption of paracetamol in aquatic effluents, using microparticles of a composite formed by the biopolymer of chitosan and banana-apple peel fiber, and microparticles of chitosan.

¹ Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil
* tcc.tratamento.farmacos2@gmail.com

Recebido em: 30/06/2022

Apresentado à banca em: 23/06/2022

The chitosan microparticles and microparticles of the composite were added in test tubes containing a solution of paracetamol. The supernatants of the solution were smoothed by UV/Visible spectrophotometry to quantify the adsorption.

The results obtained through the analyses show that the use of chitosan microparticles present good adsorption of paracetamol, but the use of the composite did not increase the efficiency of the adsorptive properties, keeping the same and showing that the banana-apple peel fiber under the conditions of the experiment proved to be inert to remove the drug.

Thus, it was possible to conclude that the chitosan biopolymer has an interesting adsorptive potential and that its use needs to be studied in relation to the removal of drugs. It was also possible to verify that although banana peel fibers are constantly used for the removal of heavy metals, it does not show good results in the removal of the drug analyzed.

Keywords: Adsorption. Paracetamol. Chitosan. Fiber.

1 INTRODUÇÃO

Todos os organismos vivos são dependentes da água, seja em escala biológica, relacionadas ao meio ambiente, ou socioeconômicas, relacionadas a vida em sociedade e indústria. Isso faz com que a sua conservação seja de suma importância. Porém, no decorrer das últimas décadas a poluição e desperdício de recursos hídricos está aumentando de forma desenfreada. Estimulando pesquisas voltadas ao tratamento e preservação deste recurso natural (ARAGÃO, 2018).

Produtos químicos sintéticos ou naturais, que não são regularmente controlados no meio ambiente, mas possuem elevado risco de prejudicar o meio natural, são chamados poluentes emergentes. Os poluentes emergentes são os principais acarretadores de danos aos meios naturais. Dentre os principais destacam-se os fármacos, majoritariamente as classes terapêuticas, analgésicos, antipiréticos, anti-inflamatórios não esteroides e antirreumáticos. Que influenciam negativamente o meio aquático, ao qual são despejados sem devido tratamento (GEISSEN et al., 2015; ARAGÃO, 2018).

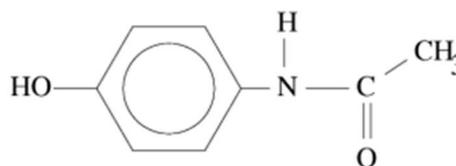
Considerando essa problemática, e a necessidade de novos métodos para tratamento de efluentes que visem esses poluentes emergentes, a utilização de um compósito bioadsorvente composto de fibras de casca da banana-maçã e quitosana tornam-se uma alternativa sustentável para remoção de paracetamol de efluentes domésticos.

1.1. PARACETAMOL

O paracetamol (N-(4-hidroxifenil)etanamida) (Figura 1) é um fármaco da classe dos não esteroidais, sendo um analgésico, antipirético e antitérmico (CASTRO, 2014). É um dos analgésicos mais utilizados mundialmente, e comercializado de forma livre e sem controle no Brasil. Trata-se de um derivado do *p*-aminofenol, e

produto metabólico da fenacetina e acetanilida (ARAÚJO et al., 2015).

Figura 1: Representação estrutural do Paracetamol N-(4-hidroxifenil)etanamida



Fonte: SOUSA et al. (2014)

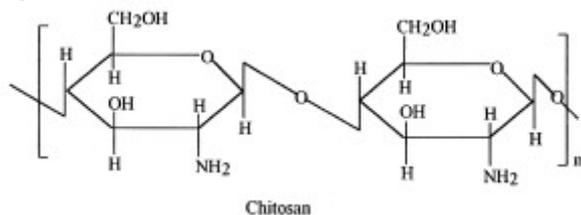
Devido seu consumo em grande escala, altas taxas de paracetamol encontram-se em efluentes domésticos, visto que após doses terapêuticas, 90 a 100% é excretado pela urina um dia depois do uso, os quais não sofrem devido tratamento por conta de políticas públicas (BERNAL et al., 2017; CASTRO, 2014). Em sua estrutura química, o paracetamol possui um grupo fenol, um dos graves acarretadores de danos à vida aquática mesmo em baixas concentrações, apresentando alta toxicidade (BACKES, 2016). Estudos realizados no Brasil sobre automedicação apontam o paracetamol como o antipirético mais utilizado no país, sendo consumido por 67,90% dos idosos (ELY et al., 2015) e por 45% do público infantil (VIEIRA et al., 2015). Dada a sua alta toxicidade e consumo de larga escala, se faz necessário o desenvolvimento de técnicas para a retirada do mesmo em ambientes aquáticos.

1.2. QUITOSANA

A quitosana (Figura 2) é um biopolímero constituinte da maioria dos exoesqueletos de crustáceos e insetos. Sua obtenção ocorre a partir da desacetilação da quitina, em que, parte das ligações de N-acetil são rompidas durante a formação de D-Glucosamina. A quitosana tem campo de aplicação vasto, sendo utilizada principalmente em produtos farmacêuticos, indústria alimentícia e tratamento de efluentes com destaque para processos de adsorção (KUMAR, 2000; ASSIS et al., 2003; ALCANTARA,

2018; NASCIMENTO et al., 2019; NATIVIDADE et al., 2021).

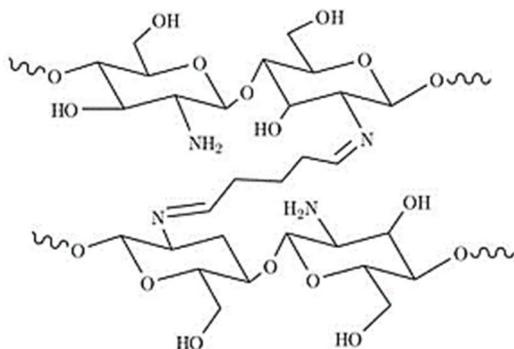
Figura 2: Representação estrutural da Quitosana



Fonte: KUMAR (2000)

Visando o aumento da eficiência desse biopolímero, diversos métodos são empregados inserindo grupos funcionais na cadeia do polímero. Um dos métodos é a reticulação, que visa impedir sua dissolução em meios ácidos e aumentar sua capacidade de adsorção (NASCIMENTO et al., 2019). Quando reticulada com 1,5-pentanodial (glutaraldeído) um agente reticulante comum, promove a ligação entre cadeias evitando sua dissolução conforme Figura 3 (BACKES, 2016).

Figura 3: Processo de reticulação da quitosana utilizando glutaraldeído



Fonte: CHUNWAH et al. (2014); NASCIMENTO et al. (2019)

Devido a seus diferentes sítios reativos presente em sua estrutura, a quitosana associada às fibras da casca da banana forma um composto com maior capacidade adsorptiva (NATIVIDADE et al., 2021). A disponibilidade de grupos amino na cadeia (NH_2) da estrutura da quitosana torna eficiente a absorção de substâncias com grupamentos fenólicos como o paracetamol (MILHOME, 2006).

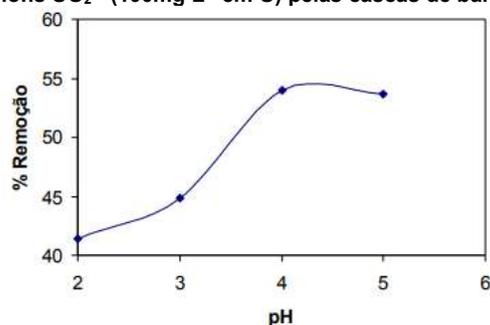
1.3. FIBRAS DA CASCA DA BANANA-MAÇÃ

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de banana do mundo, porém o consumo *in natura* gera resíduos orgânicos (cascas, sementes e bagaços). As cascas das bananas resultam em 40 a 50 milhões de toneladas descartadas anualmente, levando ao desperdício de uma potente biomassa (CANCIAM et al., 2015). Uma potencial finalidade para o uso

dessa biomassa residual é a utilização em compósitos (dois materiais que geram um terceiro produto) contribuindo para a redução do impacto ambiental (NATIVIDADE et al., 2021).

Métodos alternativos de remoção de contaminantes de águas vêm sendo estudados, tais como precipitação química, fitorremediação, biorremediação, adsorção utilizando carvão entre outros. Porém, possui alto custo e em sua maioria baixa eficácia dependendo da finalidade (SILVA, 2014). Fibras das cascas de bananas já foram empregadas para tratamentos de águas contaminadas com metais. No trabalho de Boniolo (2008), as fibras de casca de banana mostraram-se eficientes na adsorção de íons urânio (UO_2^{2+}) em pH 4, sendo uma elevação da adsorção quando pH da solução contendo UO_2^{2+} passou de 2 para 5 conforme Figura 4.

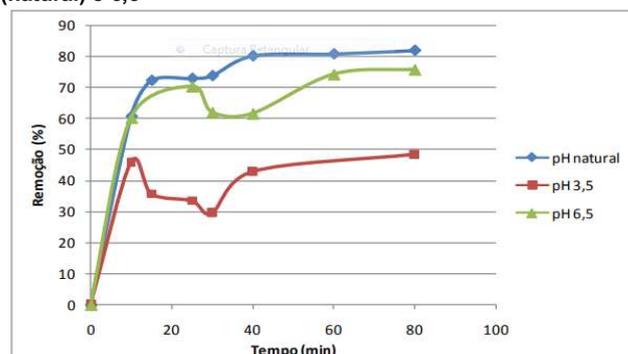
Figura 4: Influência do pH no processo de remoção dos íons UO_2^{2+} (100mg L^{-1} em U) pelas cascas de banana



Fonte: BONIOLO (2008)

Segundo Silva (2014), em testes de adsorção de íons chumbo (II), a casca da banana demonstrou ser mais eficiente em pH 5,36 (natural) com remoção de 80,71% de chumbo em solução aquosa como demonstra a Figura 5. As fibras da casca da banana-maçã *in natura* apresentam menor pH ($5,84 \pm 0,05$) em fase madura em relação a outros tipos, sendo favorável em sua capacidade adsorptiva (CARVALHO et al., 2018).

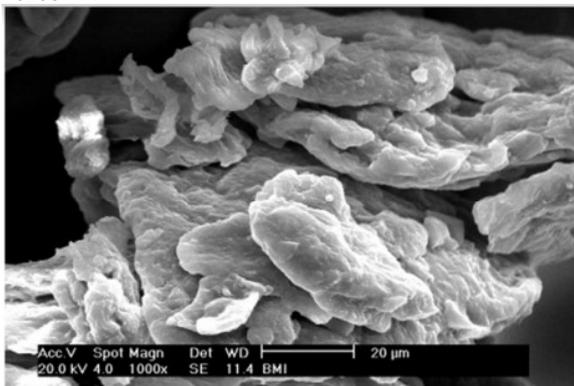
Figura 5: Percentual de remoção de íons chumbo (II) por adsorção através da casca da banana em pH 3,5, 5,36 (natural) e 6,5



Fonte: SILVA (2014)

A estrutura morfológica da fibra da casca da banana (Figura 6) é o que a torna favorável à aderência de substâncias em meio aquoso podendo assim, ser um adsorvente orgânico capaz de adsorver metais e substâncias orgânicas dependendo do pH (BONIOLO 2008).

Figura 6: Micrografia da casca da banana ampliada 1000 vezes



Fonte: BONIOLO (2008)

1.4. ADSORÇÃO

A adsorção consiste num processo de transferência de massa, em que, um sólido poroso concentra em sua superfície fluídos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos mesmos de outros meios. A adsorção é classificada em dois tipos, sendo: quimissorção que apresenta ligações fortes onde novas ligações são formadas pela troca e partilha de elétrons entre a superfície do adsorvato e do adsorvente, e a fisissorção, onde a adsorção é física sendo uma interação fraca entre a superfície do adsorvato e do adsorvente devido às forças de van der Waals (NASCIMENTO et al., 2020).

1.5. COMPÓSITOS

Os compósitos são misturas de dois ou mais materiais constituintes insolúveis, com propriedades, composição e estruturas que se combinam entre si. Compósitos são formados com o objetivo de aumentar as propriedades em relação aos componentes isolados (MOREIRA, 2009). Por isso, esse trabalho buscou a criação de um compósito entre o biopolímero quitosana com a fibra da casca da banana maçã para analisar um potencial aumento nas propriedades adsorptivas da quitosana.

2 METODOLOGIA

2.1. MATERIAIS

Os reagentes e materiais utilizados nos procedimentos, e seus respectivos fornecedores

estão descritos a seguir: Hidróxido de sódio (Greentec Soluções & reagentes); Ácido clorídrico; Quitosana (Polymar); Ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico (ácido cítrico) (Merck); Pentano-1,5-dial (glutaraldeído) (Sigma-Aldrich); Paracetamol em pó P.A.

Para a realização das etapas dos procedimentos, foram utilizados os seguintes equipamentos: Balança analítica modelo AG200, marca Gehaka® (São Paulo, Brasil); Liquidificador doméstico; Triturador doméstico; pHmetro digital modelo PG1800, marca Gehaka® (São Paulo, Brasil); Centrífuga; Espectrofotômetro UV/Visível modelo NI-1600 UV, marca Nova Instruments® (São Paulo, Brasil); Agitador magnético, marca IKA® Color Squid; Agitador mecânico; Estufa de secagem modelo NT513-i, marca Novatecnica (São Paulo, SP).

2.2. MÉTODOS

2.3. DETERMINAÇÃO DO GRAU MÉDIO DE DESACETILAÇÃO DA QUITOSANA

O grau médio de desacetilação da quitosana é um fator importante, já que, a quantidade de grupamentos aminos (NH_2) presente na cadeia polimérica são determinantes e influenciam no potencial adsorptivo da quitosana, assim como características hidrofóbicas (JANEGITZ et al., 2007).

Visando a obtenção da porcentagem de grupos aminos na quitosana baseado na metodologia de Meneses et al., (2016), em um béquer de 250 mL, adicionou-se 0,8001 g de quitosana em pó e 200 mL de HCl 0,05 mol.L⁻¹. O sistema foi mantido em agitação magnética por 24 horas. Em seguida, realizou-se uma titulação potenciométrica da solução com NaOH 0,08891 mol.L⁻¹ previamente padronizado.

2.4. PREPARO DAS FIBRAS DA CASCA DA BANANA-MAÇÃ

Para fazer o compósito de fibras e quitosana, realizou-se o prévio tratamento das fibras tendo como base a metodologia de Neis (2015), as cascas da banana foram secas em estufa utilizando formas de alumínio, e submetidas a temperatura de 50 °C por 71 horas. Após secagem, as fibras foram trituradas com auxílio de um liquidificador doméstico, o material triturado foi imerso em solução de NaOH 0,01 mol.L⁻¹. O sistema foi mantido em agitação mecânica por 40 minutos.

Após lavagem com água destilada e filtração utilizando um tecido (semelhante a malha de uma peneira), as fibras foram secas em estufa novamente por 71 horas a 50 °C em formas de alumínio, em seguida as fibras passaram por uma moagem secundária e terciária utilizando liquidificador e triturador doméstico. O material foi peneirado utilizando peneira comum de uso doméstico, sendo as fibras que passaram pela peneira as utilizadas.

2.5. PRODUÇÃO DE MICROPARTÍCULAS DE QUITOSANA E RETICULAÇÃO COM GLUTARALDEÍDO

Para obtenção das micropartículas, foi utilizado o método spraying. Tendo como base a metodologia de Natividade et al., (2021), foi solubilizada 12,5 g de quitosana em pó em 500 mL de uma solução de ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico 5% (m/v), a solução foi mantida em agitação magnética por cerca de 30 minutos para melhor solubilização da quitosana. Em seguida, foi realizada uma diluição de 1:1 da solução obtida com ácido cítrico. Posteriormente, aproximadamente 100 mL de solução diluída foi adicionada a um spray pulverizador export vertical e pulverizada em um béquer contendo 600 mL de solução de NaOH 2 mol.L⁻¹, sob agitação constante, o sistema foi mantido em agitação magnética por 24 horas.

Após agitação, as micropartículas foram separadas e lavadas por centrifugação. Após, foi adicionado 1,5 mL de glutaraldeído 3,5% a cada 1 mL da solução de micropartícula concentrada, o sistema foi mantido em repouso por 24 horas, e posteriormente as micropartículas foram filtradas com água destilada e secas em estufa a 60 °C por 24 horas. Em seguida, foram trituradas com auxílio de almofariz e pistilo para diminuição dos grânulos.

2.6. PRODUÇÃO DE MICROPARTÍCULAS DE QUITOSANA E FIBRAS DA CASCA DA BANANA-MAÇÃ E RETICULAÇÃO COM GLUTARALDEÍDO

Realizou-se o mesmo procedimento descrito no item 2.5. adicionando 3 g de fibras da casca da banana-maçã a solução 1:1 diluída de quitosana e ácido cítrico. A reticulação com glutaraldeído foi realizada da mesma forma na qual foram feitas as micropartículas de quitosana.

2.7. TESTES DE ADSORÇÃO DO PARACETAMOL

Com intuito de analisar as capacidades de adsorção de paracetamol utilizando as micropartículas de quitosana e fibras da casca da banana-maçã, foi simulado uma água residual contaminada com paracetamol, e a padronização da mesma.

Para os testes de adsorção, pesou-se 0,033g de micropartícula de quitosana em três tubos de ensaio, cada tubo contendo 2 mL de efluente contaminado com paracetamol. O sistema foi mantido em agitação magnética por 60 minutos, e após 24 horas em repouso os tubos foram centrifugados e o sobrenadante foi analisado por espectrofotometria UV/Visível.

2.8. QUANTIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DE PARACETAMOL

Foi realizada medidas de absorvância sobre o sobrenadante das amostras resultante do teste de adsorção, utilizando o espectrofotômetro UV/Visível no comprimento de onda de 245 nm, usando cubeta de quartzo com caminho óptico de 1 cm.

Padrões de paracetamol foram lidos no mesmo comprimento de onda (245 nm) que as amostras para prosseguir com a montagem da curva de calibração.

Os valores lidos foram comparados com a absorvância do efluente contaminado. As leituras foram feitas em triplicata para cada tubo, tanto para as micropartículas de quitosana e quitosana e fibras.

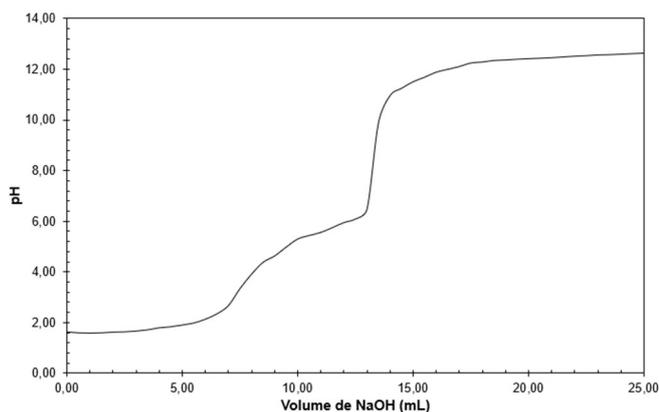
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos durante a prática do trabalho foram discutidos e justificados pelas autoras. As análises dos dados estão apresentadas nos itens que seguem.

3.1. DETERMINAÇÃO DO GRAU MÉDIO DE DESACETILAÇÃO DA QUITOSANA

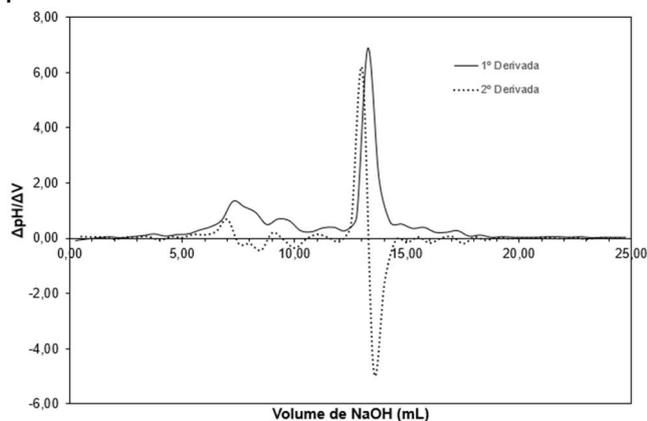
Foi realizada uma curva potenciométrica a partir das titulações realizadas com HCl 0,05 mol.L⁻¹ e NaOH 0,088913 mol.L⁻¹ obtendo-se a curva potenciométrica expressa na Figura 7.

Figura 7: Curva potenciométrica da quitosana



Visando melhor apuração do ponto de inflexão da curva, realizou-se a curva de segunda derivada (Figura 8).

Figura 8: Curva de segunda derivada potenciométrica da quitosana



Após obtenção dos gráficos, observa-se dois pontos de inflexão: o primeiro ponto refere-se ao volume de NaOH (mL) necessário para neutralizar o excesso de HCl (V_1); já o segundo ponto refere-se ao volume de NaOH (mL) necessário para neutralizar o excesso de quitosana protonada (V_2) conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Pontos de inflexão obtidos da curva potenciométrica da quitosana

Titulação	V_1 (mL)	V_2 (mL)
1º	7,39	13,21
2º	7,38	13,28
3º	7,87	14,28

Para determinar o grau médio de desacetilação da quitosana em porcentagem de grupamentos amino ($\%NH_2$), utilizou-se a Fórmula 1.

$$\%NH_2 = \frac{M_{NaOH} \times (V_2 - V_1) \times 161}{m} \times 100 \quad (\text{Fórmula 1})$$

Partindo da fórmula que exemplifica, a diferença entre o volume de NaOH utilizado para neutralizar o excesso de quitosana protonada em litros (V_2), e o volume de NaOH utilizado para neutralizar o excesso de HCl em litros (V_1). Essa diferença é multiplicada pela molaridade da solução de NaOH (M_{NaOH}) e a massa molar da unidade monomérica de quitosana que corresponde a 161 g.mol^{-1} (161). O produto da equação é então dividido pela massa em gramas da amostra de quitosana (m), o resultado é multiplicado por 100 para ser dado em porcentagem.

A massa de quitosana em pó utilizada foi de 0,8001 g, solubilizada em 200 mL de solução de HCl $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$. A padronização da solução de NaOH como titulante foi realizada em triplicata, sendo sua concentração de $0,088913 \pm 0,00331 \text{ mol.L}^{-1}$. Dessa forma, obteve-se o grau médio de desacetilação da quitosana (GMDQ) expresso na Tabela 2.

Tabela 2: Grau médio de desacetilação da quitosana

Titulação	GMDQ (%)
1º	10,41%
2º	10,56%
3º	11,47%
Média	10,81%

A determinação do grau de desacetilação da quitosana revelou que se tratava de quitina, já que para ser considerado quitosana a desacetilação da quitosana precisa ser igual ou superior a 75% (ROCHA et al., 2014), enquanto o valor obtido pelo experimento foi de 10,81%. Esse resultado implica na quantidade de grupos aminos livres na molécula para se ligar ao fármaco.

3.2. PREPARO DAS FIBRAS DA CASCA DA BANANA-MAÇÃ

Para tratamento inicial da casca da banana-maçã, 708,30 g de casca *in natura* foram secas, após secagem obteve-se 132,37 g de casca. Após moagem primária das cascas houve perda de massa resultando num total de 129,60 g de fibras utilizadas para tratamento com solução NaOH $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$. Durante a agitação do sistema as fibras absorveram a solução de NaOH e o sistema ficou mais denso.

Para filtração utilizou-se uma malha, pois a mistura estava muito consistente, impedindo que a filtração fluísse. Após secagem e moagem secundária, as fibras foram trituradas com auxílio de um almofariz e pistilo para diminuição dos grânulos, resultando em 65,74 g. Porém os

grânulos da fibra estavam grandes para a produção das micropartículas, visando diminuição do tamanho das fibras foi feita a trituração da mesma até alcance do tamanho desejado (Figura 9).

Figura 9: Fibras antes das triturações adicionais e após, respectivamente



3.3. PRODUÇÃO DAS MICROPARTÍCULAS DE QUITOSANA E RETICULAÇÃO COM GLUTARALDEÍDO

Preparou-se uma solução de quitosana e ácido cítrico sendo, 5% de ácido cítrico e 2,5% de quitosana. 25,03 g de ácido cítrico anidro foi dissolvido em 500 mL de água destilada, essa solução preparada foi adicionada a um béquer de 600 mL contendo 12,53 g de quitosana em pó, para melhor solubilização o sistema foi posto em agitação magnética por aproximadamente 30 minutos. Visando diminuição da viscosidade e concentração da solução produzida, realizou-se uma diluição 1:1 com 150 mL de solução de quitosana concentrada e 150 mL de solução de ácido cítrico nas mesmas concentrações feitas anteriormente.

A solução de quitosana diluída pulverizada na solução de NaOH 2 mol.L⁻¹ resultaram em micropartículas suspensas de quitosana (Figura 10).

Figura 10: Micropartículas de quitosana suspensas em solução de NaOH 2 mol.L⁻¹



Devido ao tamanho das micropartículas estarem bem pequenas, para reticulação com glutaraldeído utilizou-se as micropartículas numa solução concentrada das mesmas. Adicionou-se 9,45 mL de glutaraldeído 3,5% em 6,30 mL de micropartícula de quitosana, após secagem as

micropartículas apresentavam aspecto granuloso (Figura 11), sendo feita posteriormente uma trituração utilizando almofariz e pistilo resultando em 0,1410 g de micropartículas de quitosana.

Figura 11: Micropartículas de quitosana reticuladas



3.4. PRODUÇÃO DE MICROPARTÍCULAS DE QUITOSANA E FIBRA DA CASCA DA BANANA-MAÇÃ E RETICULAÇÃO COM GLUTARALDEÍDO

Realizou-se o mesmo procedimento feito no item 3.3. adicionando-se 3,0133 g de fibras da casca da banana-maçã. 16,05 mL de glutaraldeído 3,5% foram adicionados a 10,70 mL de solução concentrada de micropartículas de quitosana e fibras, resultando em 0,3474 g (Figura 12).

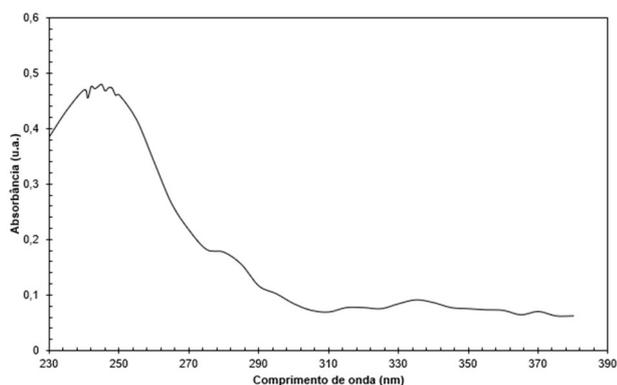
Figura 12: Micropartículas de quitosana e fibra da casca da banana-maçã reticuladas



3.5. CURVA EXPLORATÓRIA DO PARACETAMOL

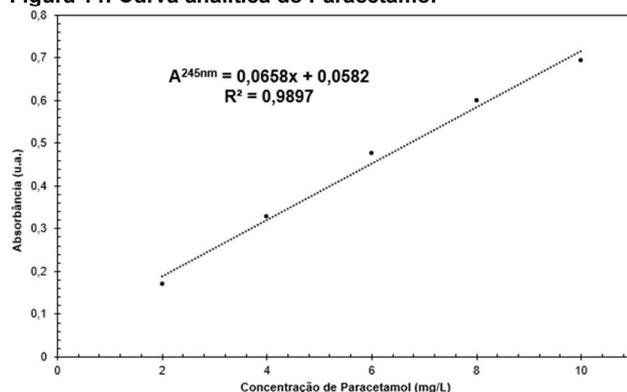
Para definir um comprimento de onda de leitura do paracetamol de maior absorbância, realizou-se uma curva exploratória sobre uma amostra de paracetamol de 200 mg.L⁻¹ (Figura 13).

Figura 13: Espectro de absorção do Paracetamol



Para curva exploratória a solução de paracetamol foi lida nos comprimentos de onda de 230 nm a 390 nm com intervalos de 5 nm. Definiu-se que o ponto de maior absorbância do paracetamol foi de 245 nm. Partindo desse comprimento de onda, realizou-se uma curva analítica do paracetamol utilizando cinco padrões nas concentrações de 10, 8, 6, 4 e 2 mg.L⁻¹ (Figura 14).

Figura 14: Curva analítica do Paracetamol



A partir da linha de tendência com coeficiente de determinação $R^2 = 0,9897$ observou-se que a correlação entre o eixo x e y é notável, obtendo-se a equação da reta expressa por $A^{245nm} = 0,0658x + 0,0582$. Partindo desses dados foi possível determinar a capacidade adsorptiva das micropartículas.

3.6. TESTES E QUANTIFICAÇÃO DE ADSORÇÃO DO PARACETAMOL

O efluente utilizado para as análises foi a triplicata da concentração do padrão de maior absorbância apresentado na curva analítica do paracetamol (Figura 14), sendo o efluente usado nos testes na concentração de 30 mg.L⁻¹. As leituras de absorbância foram feitas sobre o sobrenadante das amostras de leite centrifugadas no comprimento de onda de 245 nm. Utilizou-se como branco na leitura apenas água destilada. As leituras feitas de cada tubo de ensaio contendo as micropartículas de quitosana (MQ) e as

micropartículas de quitosana e fibras (MQF) estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3: Leituras de absorbância dos efluentes de MQ e MQF no comprimento de onda 245 nm

Efluente	Abs.	MQ	Abs.	MQF	Abs.
30 mg.L ⁻¹	2,179	1	0,145	1	-0,301
-	-	2	1,681	2	1,684
-	-	3	1,683	3	0,903

Analisando as absorbâncias é possível notar que MQ 1, MQF 1 e MQF 3 estão com uma leitura baixa devido a diluições do leite que foram feitas pela falta de um volume considerável para análise, porém, não obteve-se os valores sobre a diluição pois a mesma foi feita sem parâmetros.

Partindo das absorbâncias medidas das amostras foi possível obter, as concentrações de paracetamol presentes em cada tubo de ensaio (Tabela 4).

Tabela 4: Concentração de paracetamol nos efluentes

Amostra	Concentração (mg.L ⁻¹)	Paracetamol adsorvido (%)
Efluente	32,23	-
MQ 2	24,66	23,49
MQ 3	24,69	23,29
MQF 2	24,71	23,33

Devido a leitura negativa de absorbância de MQF 1, e as diluições de MQ 1 e MQF 3 estavam fora dos parâmetros analisados foram desconsideradas para efeitos de comparação.

Partindo da concentração dos efluentes e considerando que 2 mL de efluente foi analisado em cada tubo, definiu-se a quantidade de paracetamol presente em cada tubo, assim como a massa em gramas de micropartículas usadas (Tabela 5).

Tabela 5: Quantidade de paracetamol em cada teste e a quantidade de micropartículas

Amostra	Paracetamol (mg)	Micropartículas (g)
Efluente	0,06446	-
MQ 2	0,04932	0,0334
MQ 3	0,04938	0,0198
MQF 2	0,04942	0,0338

Tendo em vista a quantidade de micropartículas utilizada em cada tubo, fez-se a

relação para com a quantidade de paracetamol (Tabela 6).

Tabela 6: Relação de paracetamol em gramas por gramas de micropartículas

Amostra	Paracetamol (g)/(g) micropartícula
MQ 2	1,477
MQ 3	2,493
MQF 2	1,462

Segundo os dados obtidos, cada grama de micropartícula adsorve aproximadamente 1,47 g de paracetamol, porém no teste de MQ 3 foi adicionado uma massa de micropartícula inferior aos outros tubos, e mesmo assim as micropartículas adsorveram a mesma média que os outros tubos conforme Tabela 4.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia aplicada não demonstrou-se totalmente eficaz para a adsorção do paracetamol em efluente doméstico simulado. Visto que, as quantidades de paracetamol adsorvido foram baixas considerando a concentração do efluente.

O compósito não aumentou as propriedades adsorptivas, sendo possivelmente inerte nessas condições, já que a carga superficial da quitosana é positiva, e a das fibras é negativo, o que pode ter anulado as cargas da quitosana, diminuindo a adsorção. Visto que, a molécula de quitina (forma anterior a da quitosana) não apresenta os ligantes necessários para interagir com o grupo fenol presente na estrutura molecular de paracetamol, a combinação desses fatores pode ter afetado a adsorção.

Levando em consideração a quitosana como bioadsorvente de paracetamol em baixas concentrações como mostra o presente trabalho, se faz interessante o uso da mesma em estudos futuros, para analisar melhor sua adsorção de fármacos em meios aquosos.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a toda equipe e funcionários da ETEC irmã Agostina, a todos nossos professores, em especial o Prof. Dr. Klauss Engelmann, Prof. Dr. Fábio Rizzo de Aguiar, Profa. Thaís Taciano dos Santos e Prof. Dr. Alexandre de Jesus Barros, que nos orientaram e sanaram nossas intermináveis dúvidas, sempre de forma muito atenciosa e dedicada.

Agradecemos também aos nossos familiares, por todo apoio e compreensão durante o período de desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, M. **Aplicação de microesferas de quitosana na adsorção de losartana via planejamento experimental**. Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2018.

ARAGÃO, R. **Fármacos como poluentes emergentes em ambientes aquáticos: panorama de consumo na Região Metropolitana de São Paulo e quadro comparativo de políticas públicas entre países**. Universidade Federal de São Paulo, Instituto de Ciências ambientais, químicas e farmacêuticas, Diadema, 2018.

ARAÚJO, C; FILHO, C; SANTOS, V; MAIA, G; GONSALVES, A. Desenvolvimento de fármacos por hibridação molecular: uma aula prática de química medicinal usando comprimidos de paracetamol e sulfadiazina e a ferramenta virtual SciFinder®. **Química Nova**, V. 38, nº 6, p. 868-873, 2015.

ASSIS, O; SILVA, V. Caracterização estrutural e da capacidade de absorção de água em filmes finos de quitosana processados em diversas concentrações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, V. 13, nº 4, p. 223-228, 2003.

BACKES, C. **Uso de membranas suportadas de quitosana para a remoção de fenol de soluções aquosas por pervaporação**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química, Porto Alegre, 2016.

BERNAL, V; ERTO, A; GIRALDO, L; MORENO-PIRAJÁN, J. Effect of solution pH on the adsorption of paracetamol on chemically modified activated carbons. **Molecules**, V. 22, 2017.

BONIOLO, M. **Biossorção de urânio nas cascas de banana**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CANCIAM, C; BERTO, P; MARQUES, D; PEREIRA, N; VIEIRA, M. **Balço de massa no processo de produção de bioadsorvente à base de casca de banana**. V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, 2015.

CARVALHO, J; GUEDES, S; LOSS, R; NERIS, T; SILVA, S. Avaliação físico-química da casca da banana (*Musa spp.*) in natura e desidratada em

diferentes estádios de maturação. **Ciência e Contabilidade-CeS**, V. 4, nº 1, p. 5-21, 2018.

CASTRO, P. **Farmacocinética do Paracetamol**. Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2014.

CHUNWAH, Y; CHIHIM, L; CHIWAI, K; JOANNE, Y; KIMHUNG, L. A comprehensive study on adsorption behavior of direct, reactive and acid dyes on crosslinked and non-crosslinked chitosan beads. **Journal of Fiber Bioengineering and Informatics**, p. 35-52, 2014.

ELY, S. L.; ENGROFF P.; GUISELLI, R. S.; CARDOSO, C. G.; MORRONE, B. F.; CARLI, A, G. Uso de anti-inflamatório de analgésicos por uma população de idosos atendida na Estratégia Saúde da Família. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**. Ed 18. Julho-Setembro, 2015.

GEISSEN, V; MOL, H; NADAL, M; PLOEG, M; RITSEMA, C; ZEE, S. Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. **International Soil and Water Conservation Research**, V. 3, p. 57-65, 2015.

JANEGITZ, C. B.; LOURENÇÃO, C. B.; LUPETTI, O. K.; FATIBELLO-FILHO, O. Desenvolvimento de um método empregando quitosana para remoção de íons metálicos de águas residuárias. **Química Nova**, V. 30, nº4, p. 879-884, 2007.

KUMAR, M. A review of chitin and chitosan applications. **Reactive & Functional Polymers**, V. 46, p. 1-27, 2000.

MENESES, C. V. A.; AGOSTINHO, L. B.; ALVES, O. I.; PASCHOAL, L. L. **Conservação natural do morango (*Fragaria x ananassa Duchesne*), com filme obtido pela quitina encontrada no exoesqueleto do siri azul (*Callinectes sapidus*)**. Curso Técnico em Química, ETEC Irmã Agostina, 2016.

MILHOME, M. **Emprego de quitina e quitosana para adsorção de fenol de efluente de refinaria de petróleo**. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza, 2006.

MOREIRA, M. A. **Materiais compósitos**. Instituto Politécnico de Tomar-Departamento de Engenharia Química, Tomar, 2009.

NASCIMENTO, F. R.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, B. C.; MELO, Q. D.; RAULINO, C. S. G. **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: 25 de junho de 2022.

NASCIMENTO, I; SANTOS, I; ANDRADE, L; CAETANO, M; SOUSA, V. **Desenvolvimento de micropartículas magnéticas associadas à quitosana reticulada para recuperação de íons Ni²⁺ de efluentes industriais**. Curso Técnico em Química, ETEC Irmã Agostina, 2019.

NATIVIDADE, J; SILVA, S; ARAUJO, Y. **Revisão sistemática: Desenvolvimento de um compósito de quitosana reticulada e fibra da casca da banana-maçã para remoção de Lauril Éter Sulfato de Sódio em meio Aquoso**. Curso Técnico em Química, ETEC Irmã Agostina, 2021.

NEIS, M. Estudo das propriedades mecânicas e térmicas de compósito de polipropileno com casca de banana. **Revista Científica da Ulbra**, nº 13, p. 232-241, 2015.

ROCHA, B. B.; TIMM G.; SILVEIRA D. J.; GALARRARA V. C. J.; SANTOS, A. W. R. J. A.; **Determinação do grau de desacetilação de amostras de quitosana**. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

SILVA, N. **Utilização da casca de banana como biossorvente para a adsorção de chumbo (II) em solução aquosa**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Ambiental, Campo Mourão, 2014.

SOUSA, A; SOUZA, A; CARMO, C; CAMELO, G; DIAS, K; CARMO, R. **Preparo e caracterização de micropartículas de blenda de PHB/PEG veiculadoras de paracetamol**. Curso Técnico em Química, ETEC Irmã Agostina, 2014.

VIEIRA, L. A.; FRANÇA, G. G. As consequências no consumo indiscriminado do paracetamol e orientação farmacêutica à promoção ao uso racional. **Revista Oswaldo Cruz**, nº6, 2015.