



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO FINAL DE CURSO

JOSÉ JUDEILTON BENTO TEMOTEO SEGUNDO

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO ENDOCARPO DE
COCO VISANDO REMOÇÃO DE PARACETAMOL POR ADSORSÃO**

JOÃO PESSOA –PB

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

JOSÉ JUDEILTON BENTO TEMOTEO SEGUNDO

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO ENDOCARPO DE
COCO VISANDO REMOÇÃO DE PARACETAMOL POR ADSORSÃO**

Trabalho Final de Curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba, como requisito do
Programa de Graduação em Engenharia Química para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química.

Orientador: Prof. Dr. Rennio Felix de Sena

JOÃO PESSOA-PB

2018


JOSÉ JUDEILTON BENTO TEMOTEO SEGUNDO

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO ENDOCARPO DE
COCO VISANDO REMOÇÃO DE PARACETAMOL POR ADSORSÃO**

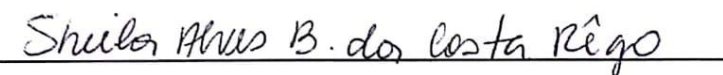
Trabalho Final de Curso apresentado à Universidade Federal da Paraíba, como requisito do Programa de Graduação em Engenharia Química para obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Química**.

Aprovado em 01 de Novembro de 2018


BANCA EXAMINADORA



Prof(a). Dr(a). Rennio Felix da Sena



Prof(a). Dr(a). Sheila Alves Bezerra da Costa Rego



Engenheiro Químico Angeolino José Pontes D' Araújo

JOÃO PESSOA – PB

2018

S456p Segundo., José Judeilton Bento Temoteo

Produção de carvão ativado a partir do endocarpo de coco visando a remoção de paracetamol por adsorção. José Judeilton Bento Temoteo Segundo – João Pessoa, 2018.

63f. il.:

Orientador: Prof.^a Dr. Rennio Felix da Sena

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Química) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meu avô Arestides, que sempre me apoiou em todos os momentos da minha vida se fazendo presente e me protegendo de tudo que me fizesse mal.

Aos meus amigos de jornada de curso: Ayane Rodrigues, Cárllison Júnior, Hevair Castro, Letícia Marinelli, Mônica Cunha, que estiveram comigo desde o começo do curso e foram essenciais para que minha jornada da graduação tivesse êxito.

Aos meus amigos de vida, Mariana Tolentino e Romulo Magalhães, por permanecerem em minha vida ao longo de toda minha trajetória.

A PROJEQ, empresa júnior de Engenharia Química e Química Industrial, por me desenvolver tanto como profissional e como pessoa. Por permitir trabalhar com tantas pessoas maravilhosas e por conceder-me a oportunidade pôr em prática tudo o que adquiri com as minhas experiências teóricas.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, por me manter firme nessa jornada de cinco anos de graduação e interceder por meus passos para que eu chegasse até aqui.

À meus pais, Judeilton e Fatima, por sempre apoiarem minhas decisões e por se fazerem presentes em minha vida em todos os momentos que eles se faziam essenciais.

A meu avó, Arestides, por ser como um anjo da guarda para mim, me protegendo e sempre estando do meu lado para o que eu precisar.

A meu irmão, Cristellys, por acompanhar as lutas diárias e rotineiras ao meu lado.

A meu amigo Arthur Coutinho por apoiar, acompanhar e ajudar-me a desenvolver este trabalho. Sem você seria muito mais exaustivo e estressante.

A Angeolino Pontes por me ajudar nas discussões para este trabalho e por aceitar o convite para participar da banca examinadora, é um engenheiro químico excelente.

Ao Prof. Dr. Rennio Felix Sena pela orientação deste trabalho e por toda compreensão fornecida para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão.

A Prof. Dra. Sheila Alves Bezerra da Costa Rego, por ensinar-me que entre professores e alunos não deve existir um distanciamento, ambos devem caminhar sempre juntos em prol de um bem comum. A Universidade Federal da Paraíba tem orgulho por você estar inserida no corpo docente.

Ao Laboratório de Carvão ativado pelo suporte no desenvolvimento deste trabalho e a equipe que o compõe, ao Prof. Emerson Jaguaribe, Wendel, Gabriel e Débora pelo compartilhamento de experiências.

Ao Laboratório de Operações Unitárias, Laboratório de Tecnologia de Novos Materiais e ao Laboratório de Combustíveis e Materiais pelo suporte na caracterização dos materiais. Em especial a Rafael e José Neto pela disponibilidade e auxílio dos experimentos.

Aos inúmeros amigos que fiz durante a graduação pelo suporte emocional e apoio dado e por sempre me proporcionarem momentos de felicidade e o sentimento de pertencimento.

RESUMO

Inseridos na contextualização da política ambiental, encontram-se os contaminantes emergentes, compostos químicos que poluem o nicho ambiental e que não possuem estudos específicos para controle de suas concentrações limites no ambiente. Dentro do grupo dos contaminantes emergentes encontram-se os fármacos, compostos bioativos com baixa degradabilidade e alta acumulação em organismos vivos, que mesmo em pequenas concentrações podem causar alterações celulares. O paracetamol ou Acetaminofeno é um dos medicamentos mais consumidos em todo o mundo devido sua venda sem prescrição médica e seus efeitos analgésicos e antipiréticos, devido ao elevado consumo gera como consequência seu alto índice de excreção em esgotos domésticos e pela falta de conhecimento um descarte inadequado, contaminando o ambiente. As técnicas primárias utilizadas atualmente nas estações de tratamento de efluentes não são eficazes na remoção dos contaminantes emergentes, diante disso são necessárias o uso de técnicas terciárias como a adsorção. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a remoção do paracetamol a partir de um efluente sintético, na concentração de 20 mg. g⁻¹, por adsorção utilizando como adsorvente o carvão ativado produzido a partir do endocarpo de coco e caracteriza-los. A produção do carvão ativado de endocarpo nas granulometrias 4, 8, 9, 10 e 28 mesh foi feita com programação 500°C /10°C.min⁻¹/30 min, ativação química com ácido fosfórico e ativação física com vapor d'água. Diante das caracterizações superficiais em granulometria diferentes pode-se notar que a diminuição da granulometria aumenta na área superficial BET e diminui densidade aparente do carvão ativado. As análises FT-IR identificaram a presença de grupos hidroxilas no carvão ativado conferindo ao carvão ativado uma afinidade química com o adsorbato estudado. Nos ensaios de adsorção verificou-se que o carvão ativado produzido a partir do endocarpo de coco na granulometria 28 mesh mostrou-se superior ao de granulometria 10 mesh e o carvão ativado comercial a 10 mesh, removendo 100% do paracetamol contido no efluente sintético em 480 min para uma quantidade de carvão igual a 0,8 g. Os modelos característicos de isotermas de Freundlich são mais representativos aos carvões endocarpo de coco. Estes carvões seguem o modelo cinético de pseudo-segunda ordem enquanto o carvão comercial segue o de pseudo-primeira ordem. A remoção de paracetamol em efluentes por carvão ativado de endocarpo de coco mostrou-se efetiva nas condições do experimento indicando ser uma técnica terciária promissora para tratamentos de efluentes.

Palavras chave: Adsorção, Cinética, Carvão ativado, Granulometria, Paracetamol.

ABSTRACT

Inserted in the contextualization of the environmental policy, are the emerging contaminants, chemical compounds that pollute the environmental niche and that do not have specific studies to control their concentrations in the environment. Within the group of emerging contaminants are drugs, bioactive compounds with low degradability and high accumulation in living organisms, which even in small concentrations can cause cellular changes. Paracetamol or Acetaminophen is one of the most consumed drugs worldwide due to its sale without a prescription and its analgesic and antipyretic effects, due to the high consumption resulting in its high rate of excretion in domestic sewage and lack of knowledge an inappropriate disposal, contaminating the environment. The primary techniques currently used in effluent treatment plants are not effective in the removal of emerging contaminants, due to which tertiary technical uses such as adsorption are required. The main objective of this study was to evaluate the removal of paracetamol from a synthetic effluent at a concentration of 20 mg. g⁻¹, by adsorption using as adsorbent the activated charcoal produced from the coconut endocarp and characterizing them. The production of the activated charcoal of the endocarp in the grades 4, 8, 9, 10 and 28 mesh was done with programming 500 ° C / 10 ° C.min⁻¹ / 30 min, chemical activation with phosphoric acid and physical activation with water steam. Considering the surface characterization in different granulometry it can be noticed that the decrease of the granulometry increases in the BET surface area and decreases the apparent density of the activated charcoal. The FT-IR analyzes identified the presence of hydroxyl groups in the activated charcoal giving the activated charcoal a chemical affinity with the studied adsorbate. In the adsorption experiments it was verified that the activated carbon produced from the coconut endocarp in the 28 mesh granulometry was higher than the 10 mesh granulometry and the commercial activated charcoal at 10 mesh, removing 100% of the paracetamol contained in the synthetic effluent in 480 min for an amount of coal equal to 0.8 g. The characteristic models, Langmuir and Freundlich, of adsorption isotherms do not fit the coconut endocarp coals. Activated coconut endocarp coals follow the kinetic model of pseudo-second order while commercial charcoal follows the pseudo-first order kinetic model. The removal of paracetamol in effluents by activated carbon of coconut endocarp was effective under the conditions of the experiment, showing a promising tertiary technique for effluent treatment.

Keywords: Adsorption, Kinetics, Activated charcoal, Granulometry, Paracetamol.

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Rotas de destino final de fármacos no meio ambiente.....	11
Figura 2. Estrutura química do paracetamol.....	13
Figura 3 Partes internas do coco.....	17
Figura 4. Compra de coco verde por semana na cidade de João Pessoa.....	17
Figura 5. Isotermas mais comuns.....	20
Figura 6. Isotermas típicas de classificação BET.....	21
Figura 7. Endocarpo de coco secando ao sol.....	26
Figura 8. Esmeril.....	27
Figura 9. Moinho de martelo.....	27
Figura 10. Agitador eletromagnético de peneiras.....	28
Figura 11. Forno elétrico rotativo -CHINO.....	29
Figura 12. Caldeira elétrica para produção de vapor d'água.....	29
Figura 13. Microporosímetro ASAP 2020.....	30
Figura 14. Balança analítica.....	31
Figura 15. Equipamentos usados para extração do paracetamol.....	33
Figura 16. Espectrofotômetro.....	33
Figura 17. Varredura do efluente sintético.....	35
Figura 18. Isotermas de adsorção de nitrogênio nos carvões ativados produzidos.....	38
Figura 19. Difratoograma de raios -X do carvão ativado do endocarpo de coco a 10 mesh.....	40
Figura 20. Difração de raios-X para CA 28 mesh.....	41
Figura 21. Espectros na região do infravermelho para o carvão ativado a 10 mesh.....	41
Figura 22. Espectros na região do infravermelho para o carvão ativado a 10 mesh.....	42
Figura 23. Curva de calibração do paracetamol por espectrofotometria UV.....	43
Figura 24. Remoção de paracetamol usando o CA de endocarpo de coco a 10 mesh.....	43
Figura 25. Remoção de paracetamol usando CA comercial a 10 mesh.....	44
Figura 26. Remoção de paracetamol usando CA de endocarpo de coco a 28 mesh.....	44
Figura 27. Comparação entre os percentuais de remoção dos carvões ativados com 0,8 g utilizado no ensaio.....	45
Figura 28. Modelo de isoterma de Langmuir para o CAE 10 mesh.....	46
Figura 29. Modelo de Freundlich para CAE 10 mesh.....	46
Figura 30. Modelo de Langmuir para o CAC 10 mesh.....	47
Figura 31. Modelo de Freundlich para CAC 10 mesh.....	47
Figura 32. Modelo de Langmuir para o CAE 28 mesh.....	48

Figura 33. Modelo de Freundlich para o CAE 28 mesh.....	48
Figura 34. Modelo cinético de pseudo-primeira ordem para o CAE 10 mesh.....	50
Figura 35. Modelo cinético de pseudo-segunda ordem para o CAE 10 mesh.....	50
Figura 36. Modelo cinético de pseudo-primeira ordem para o CAC 10 mesh.....	51
Figura 37. Modelo de pseudo-segunda ordem do CAC 10 mesh.....	51
Figura 38. Modelo de pseudo-primeira ordem para o CAE 28 mesh.....	52
Figura 39. Modelo de pseudo-segunda ordem para o CAE 28mesh.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais fontes de desreguladores endócrinos em águas superficiais.....	12
Tabela 2. Propriedades Físico-químicas do Paracetamol	14
Tabela 3. Legislações que visam ao gerenciamento correto dos fármacos	15
Tabela 4. Classificação de poros segundo a IUPAC	16
Tabela 5. Tipo de isoterma conforme fator de separação.....	22
Tabela 6. Características morfológicas dos carvões ativados produzidos a partir do endocarpo de coco.....	37
Tabela 7. Caracterização dos carvões quanto a densidade, pH e teor de cinzas	39
Tabela 8. Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich para o CAE 10	47
Tabela 9. Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich do CAC 10 mesh	48
Tabela 10. Parâmetros de Langmuir e Freundlich para o CAE 28 mesh	49
Tabela 11. Parâmetros do modelo de pseudo-segunda ordem para o CAE 10mesh	51
Tabela 12. Parâmetros de pseudo-primeira ordem para o CAC 10 mesh.....	52
Tabela 13. Parâmetros de pseudo-segunda ordem para o CAE 28 mesh	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. OBJETIVOS	9
1.1.1. Objetivo Geral	9
1.1.2. Objetivos Específicos	9
2. REVISÃO TEÓRICA	10
2.1. HISTÓRICO	10
2.2. CONTAMINANTES EMERGENTES–DISRUPTORES ENDÓCRINOS, FÁRMACOS E O PARACETAMOL	11
2.2.1. Disruptores endócrinos	11
2.2.2. Fármacos	12
2.2.3. O Paracetamol.....	13
2.3. CARVÃO ATIVADO	15
2.3.1. Matéria Prima	16
2.3.1.1. O coco	16
2.3.1.2. Endocarpo de Coco	18
2.3.2. Produção do Carvão ativado	18
2.4. ADSORÇÃO	19
2.4.1. Isotermas de Adsorção.....	20
2.4.1.1. Modelo de Langmuir.....	21
2.4.1.2. Modelo de Freundlich	23
2.4.2. Cinética de adsorção	23
2.4.2.1. Modelo de pseudo-primeira ordem	24
2.4.2.2. Modelo de pseudo-segunda ordem	24
3. METODOLOGIA.....	26
3.1. PREPARO DO CARVÃO ATIVADO.....	26
3.1.1. Matéria-prima	26

3.1.2.	Carbonização e ativação	28
3.2.	CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO	30
3.2.1.	Rendimento	30
3.2.2.	Caracterização da estrutura porosa	30
3.2.3.	Densidade aparente	31
3.2.4.	Determinação do teor de cinzas	31
3.2.5.	pH do carvão ativado	32
3.2.6.	Difração de raios-X.....	32
3.2.7.	Espectroscopia da absorção na região do infravermelho (FT-IR)	32
3.3.	PREPARO DO PARACETAMOL UTILIZADO	32
3.3.1.	Extração e caracterização do Paracetamol.....	33
3.4.	ENSAIOS DE ADSORÇÃO	34
3.4.1.	Determinação das condições experimentais de adsorção.	34
3.4.3.	Cinética de Adsorção	36
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1.	CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO CARVÃO ATIVADO....	37
4.1.1.	Isotermas de adsorção de nitrogênio.....	37
4.1.2.	Densidade aparente, teor de cinzas e pH	38
4.1.3.	Difração de raios-X.....	39
4.1.4.	Espectroscopia da absorção na região do infravermelho (FT-IR)	41
4.2.	ENSAIOS DE ADSORÇÃO DO PARACETAMOL EM CARVÃO ATIVADO	42
4.2.1.	Curva analítica de calibração	42
4.2.2.	Remoção do paracetamol.....	43
4.2.3.	Isotermas de adsorção	46
4.2.4.	Modelos cinéticos	49
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICE	61
APÊNDICE A – ABERTURA DAS MALHAS DAS PENEIRAS TYLER.....	61
APÊNDICE B1-VALORES DO PERCENTUAL DE REMOÇÃO DO PARACETAMOL PELOS DIFERENTES CARVÕES EM DIFERENTES MASSAS.....	62
APÊNDICE B2 – VALORES DE QE E CE EM FUNÇÃO DO TEMPO E CONTATO.	63

1. INTRODUÇÃO

Os contaminantes emergentes estão integrados na temática da sustentabilidade ambiental que vem sendo discutida com vigor desde o início do século. Esses contaminantes são componentes químicos que conferem toxicidade ao nicho ambiental (água, solo, ar) e não são inspecionados adequadamente ou não possuem registro frente a legislação vigente, como por exemplo os efluentes industriais, domésticos, hospitalares ou ainda os resultantes de atividades agrícolas e da pecuária (MONTAGNERA; VIDALA; ACAYABAB, 2017).

A presença de compostos com atividade biológica, fármacos e produtos de higiene pessoal, é bastante comum em matrizes aquáticas como: águas residuais, águas subterrâneas e de consumo humano gerando uma situação de contaminação ambiental preocupante, uma vez que estes compostos, quando em contato, proporcionam uma reação fisiológica no organismo dos seres vivos (NUNES, 2011).

Os fármacos são microcontaminantes ambientais (da ordem de $\mu\text{g.L}^{-1}$ e ng.L^{-1}) bioativos que possuem características lipofílicas e frequentemente apresentam baixa biodegradabilidade no ambiente. Propriedades como essas apresentam um grande potencial de acumulação biológica nos organismos e alta permanência no meio ambiente. (CHRISTENSEN, 1998)

Incorporado na classe dos fármacos encontram-se os Compostos Disruptores Endócrinos (EDCs, do inglês: *Endocrine Disruptor Compounds*), estes são agentes que podem bloquear ou alterar a ação hormonal natural nos seres vivos (BORRELY *et. al.*, 2012). Estudos recentes apontam que a exposição de animais aos EDCs durante o período reprodutivo aumenta a probabilidade de desenvolvimento de endometriose e câncer relacionados aos hormônios: câncer de mama e próstata, por exemplo (FENT; WESTON; CAMINADA apud BORRELY *et.al*, 2012). Diante disso tem-se o aumento do interesse por novas formas de tratamento de efluentes que viabilizem a remoção de contaminantes emergentes e micropoluentes do meio ambiente.

Um dos EDCs mais utilizados é o Acetaminofeno ou Paracetamol. Este fármaco possui metabolização incompleta no organismo-alvo sendo excretados praticamente inalterados contaminando assim a rede de esgotos e conseqüentemente os corpos hídricos, com probabilidade de retornar ao consumo humano (RHEINHEIMER, 2016).

Em estudos de remoção de microcontaminantes de efluentes, existem alternativas terciárias de tratamento consideradas promissoras como Processos Oxidativos Avançados (POAs) e a Adsorção (COSTA. *et. al.*, 2018).

A adsorção em carvão ativado está sendo amplamente utilizado na remoção poluentes em efluentes em razão de possuir um baixo custo de implementação e de operação, poder ser produzido a partir de biomassas residuais e para a maioria dos sistemas, apresentar elevada eficiência. Outra vantagem do carvão ativado sobre os demais materiais adsorventes é que sua superfície pode ser modificada de modo a fornecer um carvão ativado específico para o que se deseja aplicar. (MONDAL *et. al.* apud MANGUEIRA, 2014).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Produzir carvões ativados a partir do endocarpo de coco, em granulometrias diferentes, ativados quimicamente com ácido fosfórico (H_3PO_4) e fisicamente com vapor d'água para utilizá-lo como adsorvente na remoção do paracetamol, por adsorção, em soluções sintéticas no sistema de banho infinito.

1.1.2. Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar o endocarpo de coco através da análise granulométrica e produzir seus respectivos carvões ativados fisicamente e quimicamente;
- ✓ Caracterizar a estrutura porosa dos carvões ativados, através da análise de adsorção de N_2 (g) a 77 K, para determinar áreas superficiais, volumes de poros e diâmetros médios dos poros;
- ✓ Determinar outras propriedades físicas e químicas dos carvões ativados produzidos conforme a granulometria, tais como: pH, teor de cinzas, rendimento, Difração de raios-X (DRX), Espetroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR) e densidade aparente;
- ✓ Comparar a eficiência de adsorção do Paracetamol no carvão ativado produzido a partir do endocarpo de coco com granulometrias diferentes;
- ✓ Comparar a eficiência de adsorção do Paracetamol no carvão ativado de endocarpo de coco com um carvão ativado comercial laboratorial;
- ✓ Construir o estudo das isotermas de adsorção para verificar se a interação do adsorvente com o adsorbato segue os modelos tradicionais de Langmuir e Freundlich;
- ✓ Observar o comportamento do carvão ativado de endocarpo de coco e determinar o modelo que melhor representa o processo de adsorção.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. HISTÓRICO

Nas últimas três décadas, os diversificados produtos químicos bioativos não recebem a devida atenção como poluentes ambientais. Este grupo de produtos inclui os de origem farmacêutica e ingredientes ativos em produtos de higiene pessoal, sendo continuamente introduzidos em ambientes aquáticos como misturas complexas através de várias vias, porém majoritariamente por esgotos não tratados e tratados.

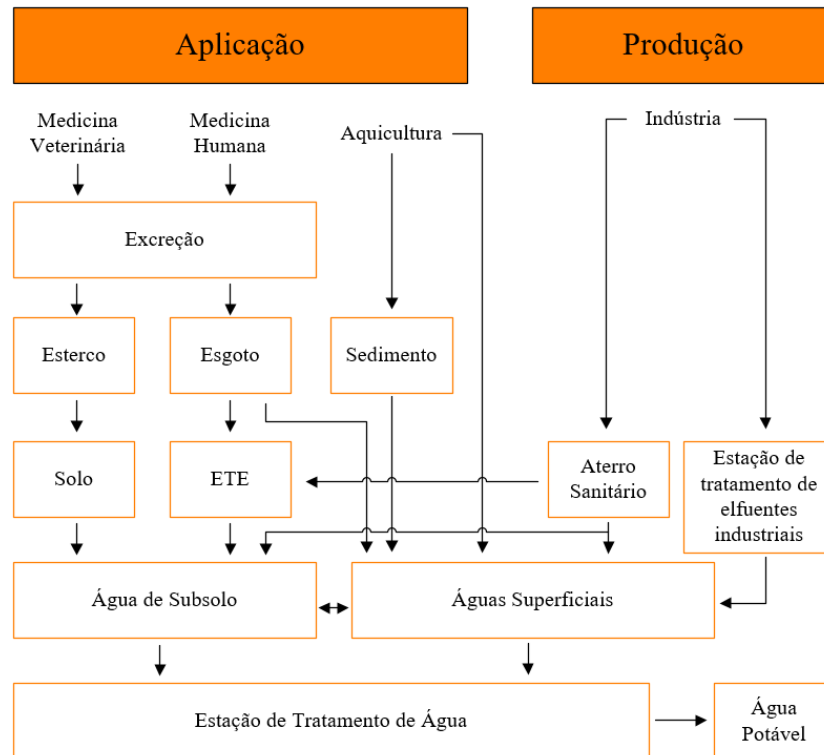
A presença de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto e em fontes de água potável demonstra o quão é fundamental uma metodologia que avalie os processos de tratamentos envolvidos relacionados à eficiência de remoção dessas substâncias (BILA, 2005). Estudos demonstram que esses micropoluentes e seus metabólitos estão presentes em ambientes aquáticos em diversas partes do mundo, como Alemanha, Áustria, Brasil, Canadá, Espanha, Holanda, Inglaterra, Itália, Japão, Suíça, Estados Unidos e Reino Unido (SILVA, 2012).

De acordo com *Chiarelo* (2014), pesquisas recentes indicam que o nível de concentração de fármacos encontrados em ambientes aquáticos está relacionado com o padrão de consumo dos mesmos pela população, taxa de remoção nas Estação de Tratamento de Efluentes (ETEs), tipo de efluente que aporta nas ETE e sazonalidade. O paracetamol é um dos medicamentos mais consumidos no mundo, devido estar enquadrado entre os chamados Medicamentos Isentos de Prescrição (MIPs) indicados nos tratamentos de sintomas ou doenças de menor intensidade (FREITAS *et.al.*, 2017).

A principal via de acesso dos fármacos no ambiente aquático, em geral, é por meio das estações de tratamento de efluentes (ETEs) ou através do depósito indevido de esgoto sanitário em rios. Quando o esgoto é transportado até uma ETE, alguns desses compostos podem ser degradados parcialmente ou permanecem inalterados ao longo do tempo resultando na contaminação do ambiente (VICENTE, 2011).

A seguir (Figura 1) são abordadas as possíveis rotas para o destino final de fármacos quando introduzidas no meio ambiente.

Figura 1. Rotas de destino final de fármacos no meio ambiente.



Fonte: Adaptação de VICENTE, 2011.

O principal fator de contaminação ambiental por medicamentos é o descarte inadequado, seja por falta de uso ou perda de validade (ARAÚJO, 2016). Grande parte da População acaba fazendo o descarte de medicamentos de forma inadequada, por desconhecimento ou por falta de informações, levando assim a graves danos a natureza, que podem repercutir na saúde pública e ambiental. (GIL, 2005).

2.2. CONTAMINANTES EMERGENTES–DISRUPTORES ENDÓCRINOS, FÁRMACOS E O PARACETAMOL

2.2.1. Disruptores endócrinos

Os disruptores endócrinos, desreguladores endócrinos ou ainda agentes hormonalmente ativos são compostos que podem ter origem natural ou sintética, e são capazes de afetar o equilíbrio hormonal de organismos superiores contribuindo para infertilidade, hermafroditismo e podendo ainda aumentar a taxa de câncer nos órgãos reprodutores (PÁDUA *et. al.*, 2009). A USEPA, Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, caracteriza os desreguladores endócrinos como “agentes exógenos que mesmo presente em concentrações traços possuem a

capacidade de interferir na síntese, secreção, transporte, ligação, ação ou eliminação de hormônios naturais, que são responsáveis pela manutenção, reprodução, desenvolvimento e comportamento dos organismos” (USEPA, 2010).

A principal forma de contaminação de águas superficiais por desreguladores endócrinos é o lançamento de esgotos domésticos tratados ou *in natura*. Pesquisas recentes apontam que o aumento da proporção da intersexualidade em peixes é causado pela quantidade de efluentes lançados em águas receptoras de efluentes em ETE de esgoto doméstico. Além das emissões pontuais de efluentes domésticos e industriais, há também as emissões difusas que são associadas a chuva e ao escoamento que ela resulta, chegando aos corpos de água e contribuindo para o aporte de desreguladores endócrinos (PÁDUA *et al.*, 2009).

A Tabela 1 expõe, de forma resumida, os possíveis desreguladores endócrinos de acordo com a fonte de poluição.

Tabela 1. Principais fontes de desreguladores endócrinos em águas superficiais

Fontes	Tipos De Fontes	Desreguladores Endócrinos (Edcs) Presentes
Efluente industrial	Pontual	Hormônios naturais e sintéticos, alquifenóis, ftalatos, bisfenol A, fármacos, cafeína, pesticidas, bifenilas policloradas (PCB), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), retardantes de chama, pesticidas, dioximas.
Esgoto Doméstico	Pontual	Hormônios naturais e sintéticos, alquifenóis, ftalatos, bisfenol-A, fármacos, cafeína.
Deflúvio pecuário	Difusa	Hormônios naturais e sintéticos, antibióticos, fármacos veterinários.
Natural	Difusa	HPA, estrogênios naturais e fitoestrogênios.

Fonte: Adaptação de RAIMUNDO, 2007

2.2.2. Fármacos

Os fármacos são moléculas complexas conhecidas por terem diferentes propriedades biológicas e físico-químicas, além de serem essenciais para a preservação da saúde do homem na prevenção de doenças, no entanto, um consumo elevado associado ao descarte inadequado e aos tratamentos convencionais primários de águas e efluentes acarretam em prejuízos irreversíveis ao meio ambiente (HARO, 2017).

A aderência dos fármacos através de sua metabolização em um organismo inicia-se por diversas reações bioquímicas de hidrólise, epoxidação, hidroxilação, redução e adição de grupos funcionais. Posteriormente, moléculas endógenas altamente polares ligam-se aos metabólitos formados nas reações anteriores ou aos próprios fármacos originais que não

conseguiram ser metabolizados, tornando-os assim mais solúveis em água facilitando sua excreção (TAMBOSI *et al.*, 2010).

Diferentemente de outros micropoluentes, tais como pesticidas e poluentes industriais, cujas concentrações no meio ambiente tendem a diminuir devido a restrições dos órgãos regulamentadores, é esperado o aumento do consumo dos fármacos em decorrência dos seus efeitos benéficos à saúde, resultando assim no aumento de sua ocorrência no meio ambiente (AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013).

2.2.3. O Paracetamol

O acetaminofeno ou paracetamol, como é conhecido popularmente, é um fármaco com propriedades analgésicas e antipiréticas, mas sem propriedades anti-inflamatórias clinicamente significativas. A origem das palavras paracetamol e acetaminofeno estão vinculadas a nomenclatura utilizada na química orgânica: **para-acetilaminofenol** e **N-acetil-para-aminofenol**, respectivamente. Baseando-se no Guia para a Nomenclatura de Compostos Orgânicos, atribui-se para esse composto o nome sistemático de N-(4-hidroxifenil) acetamida (LIBERAL, 2008; PANICO; POWELL; RICHER, 1993).

O paracetamol apresenta-se como um pó branco, inodoro e cristalino de baixa solubilidade em água fria, altamente solúvel em metanol, etanol, dimetilformamida, dicloreto e etileno, acetato de etila e acetona e insolúvel em pentano e benzeno. Degrada-se facilmente em condições ácidas, possui estabilidade a luminosidade, umidade e temperatura. Sua estrutura consiste em um anel benzênico com um grupo hidroxila e uma etanamida nas posições 1 e 4, conforme a Figura 2 (Merk Index, 2018; CHIARELLO, 2014).

Figura 2. Estrutura química do paracetamol



Fonte: LIBERAL, 2008

A Tabela 2 a seguir apresenta as características físico-químicas do paracetamol:

Tabela 2. Propriedades Físico-químicas do Paracetamol

Propriedades	Características
Fórmula Molecular	$C_8H_9NO_2$
Massa molecular	151,16 g.mol ⁻¹
Composição percentual	C: 63,56%; H: 6,00%; N: 9,27%; O: 21,17%
Ponto de fusão	169°C (valor médio)
pKa	9,5

Fonte : Merk Index, 2018.

Dentre os medicamentos mais consumidos no Brasil, destaca-se o Paracetamol, principalmente em casos de automedicação uma vez que seu uso é permitido com ou sem prescrição médica. Após o seu consumo, cerca de 90% é excretada por humanos através da urina em um tempo médio de 24 horas. Este é um dos fatores preocupante da utilização do paracetamol. Segundo *Costa e Costa* (2011) a contaminação ambiental causada por resíduos de medicamentos é despercebida porém perigosa, já que em concentrações consideradas irrisórias é possível observar alterações celulares.

O paracetamol é considerado um dos medicamentos de uso seguro por não apresentar reações adversas e efeitos colaterais imediatos, além de não ter interação com a grande maioria dos medicamentos, no entanto em casos de superdosagens (Acima de 4g por dia) pode causar toxicidade hepática e falhas renais (HARO, 2017). Diminuição da empatia interpessoal, aumento da frustração e redução da capacidade de avaliação de erros bem como causar doenças no sangue e formação de tumores pelo corpo são consequências atribuídas ao alto consumo do paracetamol (LOPES; MATHEUS, 2012; RANGLES, 2016).

2.2.4. Legislação

Mesmo com o atual avanço nos estudos das remoções dos contaminantes emergentes, Os fármacos ainda não possuem uma legislação que comporte esta série de novos componentes que são continuamente lançados no meio ambiente. Nesta abordagem, pode-se concluir que o lançamento de componentes residuais derivados de fármacos em efluentes é um tema relevante para a saúde pública (CHIARELO, 2014).

Nos Estados Unidos, o órgão que regulamenta a presença de resíduos de fármacos em ambientes aquáticos é a Agencia dos Estados Unidos para Administração de Alimentos e

Drogas (USFDA). Já na Europa existem normas para riscos ambientais decorrentes do uso descontrolado de fármacos, estas normas descorem sobre a recomendação de testes de ecotoxicidade crônica e aguda, reconhecendo que a maioria dos compostos ativos farmacêuticos podem apresentar efeitos crônicos mesmo em baixas concentrações (VICENTE,2011).

Segundo a Agência Europeia para Produtos Medicinais (EMA), se a concentração do componente ativo presente no meio ambiente esteja abaixo de $0,01 \mu\text{g. L}^{-1}$, este provavelmente não é considerado um risco ambiental, já para valores acima destes, devem ser feitas análises do efeito que o fármaco pode causar (CASTIGLIONI *et al.*, 2004).

No Brasil, diante da preocupação com o uso demasiado de medicamentos, o Ministério da Saúde criou o Comitê Nacional para o uso racional de Medicamentos, conforme a portaria nº 1555/07, que visa monitorar e melhorar a qualidade e a segurança na utilização de medicamentos. A Tabela 3 dispõe as ações pesquisadas e implementadas no País no que diz respeito aos fármacos no ambiente.

Tabela 3. Legislações que visam ao gerenciamento correto dos fármacos

Ação	Finalidades e Recomendações
Lei Estadual 13039	Laboratórios produtores assumem responsabilidade da destinação adequada a medicamentos com prazos de validade vencidos no Paraná (PARANÁ, 2001)
ANVISA RDC-306	Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviço de Saúde (PGRS) (BRASIL, 2004).
Portaria 1555/07	Criação do comitê Nacional para a Promoção do Uso Racional de Medicamentos (Ministério da Saúde, 2007)
Lei Federal 12305	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010)
RDC nº17/2010	Estabelece as normas para as Boas Práticas de Fabricação de Medicamentos. (BRASIL, 2010)

Fonte: Adaptação de BORRELY *et al.*, 2012

2.3. CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado é composto basicamente de uma base gráfica, em que os vértices e as bordas podem acomodar uma série de elementos químicos (O, N, H) que se apresentam na forma de grupos funcionais. Estes grupos funcionais e a alta área específica são resultantes do processo de ativação que pode ser química ou física. (LOPES, *et al.*, 2013).

Os CA's são basicamente compostos de carbono com alta porosidade obtidos a partir da carbonização da biomassa (material com alto teor de carbono) e que são "ativados" para

produzir um aumento na sua porosidade interna (PEGO, 2016). As ativações podem ser químicas, quando há o uso de algum reagente químico desidratante, ou física, quando há exposição da biomassa a tratamentos térmicos, em temperaturas elevadas, utilizando um fluido inerte.

Para a fabricação de um carvão ativado há uma grande variedade de matérias-primas, basta que tenham alto conteúdo carbonáceo, como madeira, endocarpo de coco, sementes, ossos de animais, petróleo, carvões de origem mineral, plástico, pneus, lignita e material betuminoso (MANGUEIRA, 2014).

Com relação a estrutura dos carvões ativados, a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) classifica os carvões conforme a Tabela 2 abaixo:

Tabela 4. Classificação de poros segundo a IUPAC

Tipo de Poro	Diâmetro médio	Função Principal
Microporos	$\Theta_m < 20\text{Å}$	Proporciona alta capacidade de adsorção para moléculas de dimensões pequenas, tais como gases e solventes comuns.
Mesoporos	$20\text{Å} < \Theta_m < 500\text{Å}$	São importantes para a adsorção de moléculas grandes tais como corantes e proporcionam a maioria da área superficial para carvões impregnados com produtos químicos
Macroporos	$\Theta_m > 500\text{Å}$	São normalmente considerados sem importância para a adsorção e sua função é servir como transporte para moléculas gasosas.

Fonte: Adaptação de CLAUDINO, 2003.

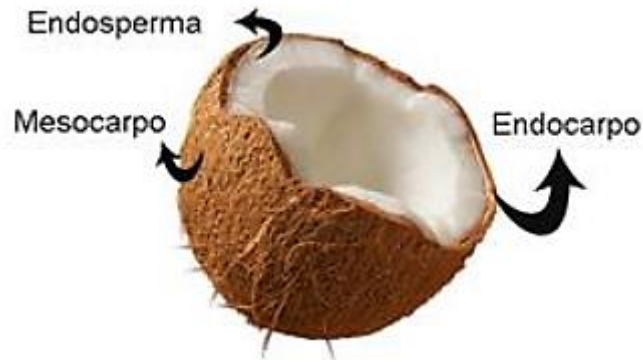
De modo que, todos os carvões ativados possuem estruturas micro, meso e macroporosas, entretanto em quantidades variáveis, dependendo do precursor e o modo de produção aplicado (MANGUEIRA, 2014).

2.3.1. Matéria Prima

2.3.1.1. O coco

O coco é o fruto resultante do coqueiro, *Cocos nucifera L.*, com o maior valor comercial agregado e sua constituição pode ser detalhada conforme a Figura 3.

Figura 3 Partes internas do coco

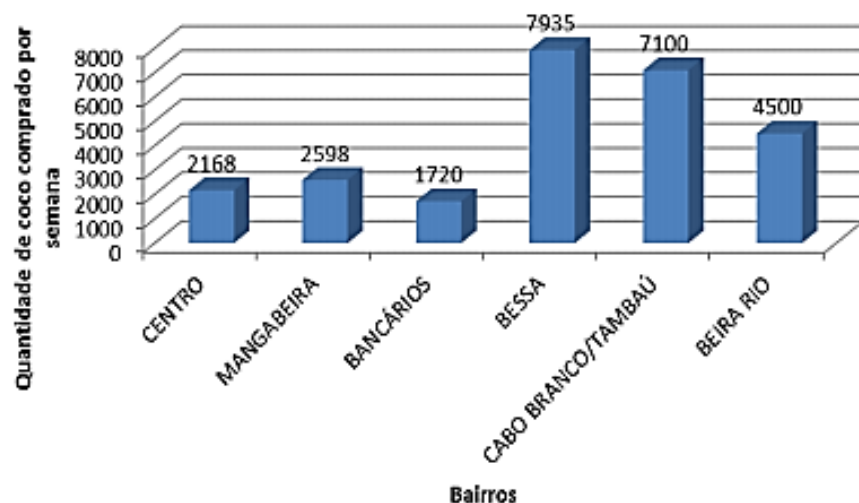


Fonte: BEZERRA, 2012.

O consumo do coco no mercado brasileiro é estimado a 65% de coco seco e 35% de coco verde, de modo que o consumo da água de coco verde tem crescido vigorosamente. (PEREIRA, 2012). Com o elevado consumo, tem-se como consequência a geração de rejeitos em volumes significativos, principalmente em lixões, encostas, vazadouros e até mesmo em aterros sanitários, que durante o seu processo de decomposição por ação microbiológica emitem gás metano, um dos gases do efeito estufa (PASSOS, 2005).

Nos estudos de Santos, *et al.* (2016), A produção de resíduos de coco verde foi expressa pela quantidade de coco comprada semanalmente nos respectivos bairros da cidade de João Pessoa-PB, conforme a Figura 4. A partir deste estudo constatou-se que cerca de 4000 cocos são descartados diariamente, o que resulta em aproximadamente seis toneladas diárias de rejeitos sendo gerados, com um tempo médio de decomposição de oito anos.

Figura 4. Compra de coco verde por semana na cidade de João Pessoa



Fonte: SANTOS, *et al.* 2016

Com relação ao aproveitamento desses resíduos, não há incentivo ou iniciativa por parte do poder público, fazendo com que ocorra a diminuição da vida útil de aterros sanitários e quando descartados de forma inadequada, representam riscos à saúde humana e ao meio ambiente (SANTOS, 2016). Diante disso surgem diversos estudos para reaproveitamento deste material, como a produção de carvão ativado utilizado na remoção de efluentes.

2.3.1.2. Endocarpo de Coco

O endocarpo ou casquilho é a parte rígida do fruto do coco. Reveste o endosperma na qual é inicialmente líquida e conforme amadurecimento do fruto torna-se sólida, de modo que, quando o fruto está completamente maduro há pouca água no interior do fruto (BEZERRA, 2012).

O endocarpo seco apresenta em sua composição elevados teores de lignina, além de celulose e hemicelulose em quantidades menores. A lignina é um polímero aromático constituído de um sistema heterogêneo e ramificado sem nenhuma unidade repetidora definida. Ocorre na maioria das plantas, entretanto sua composição não é idêntica em todas elas (AGUIAR, *et. al*, 2009).

O endocarpo *in natura* pode ter uma significativa agregação de valor quando aplicado na produção de carvão ativado ou como combustível, devido seu poder calorífico, sendo, muito utilizado em revestimento de paredes e móveis na forma de pastilhas, como também em produtos ligados a atividades do ramo artesanal. (PAZ, 2017)

2.3.2. Produção do Carvão ativado

O Carvão ativado é normalmente preparado por pirólise da matéria prima carbonosa a temperaturas abaixo de 1000° C. Sua produção envolve basicamente carbonização e ativação, de modo que durante a carbonização a maior parte da matéria não carbonada, elementos como Oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e enxofre são eliminados como produtos gasosos voláteis da decomposição por pirolise da matéria-prima precursora (MANGUEIRA, 2014).

O processo de ativação reforça a estrutura porosa do carvão ativado, uma vez que após a carbonização o carvão sintetizado não possui alta capacidade adsorptiva. Esse processo consiste em submeter o material a reações secundárias, visando o aumento de sua área superficial, sendo assim responsável pelo aumento do diâmetro dos poros menores, desobstrução e criação de novos poros nos materiais. (ROSA, 2008; MANGUEIRA, 2014.)

As ativações no carvão podem ser químicas ou físicas, de modo que a ativação química consiste em impregnar agentes desidratantes (ácido fosfórico ou cloreto de zinco) sobre o precursor ainda não carbonizado ou após a carbonização. Já as físicas consistem na gaseificação

do material previamente carbonizado pela oxidação com dióxido de carbono, vapor d'água ou outras misturas gasosas (BEZERRA, 2012; MANGUEIRA, 2014).

2.4. ADSORÇÃO

Entre os principais processos de tratamentos de efluentes encontra-se a adsorção, esta operação oferece o método mais efetivos para remoções de poluentes em tratamentos de água, além disso, outros processos como precipitação, filtração por membranas, não conseguem alcançar o limite estabelecido pela resolução n° 357 da CONAMA para a concentração do efluente descartado (MORAIS, 2014).

A adsorção é uma operação de transferência de massa onde o componente em uma fase fluida (gasosa ou líquida) é transferida para a superfície de uma fase sólida, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos. Os componentes que se unem à superfície são chamados de adsorbatos e a fase sólida que retém o adsorbato é chamado de adsorvente (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A migração dos componentes de uma fase para outra tem como força motriz a diferença de concentração entre o seio do fluido e a superfície do adsorvente. Normalmente o adsorvente encontra-se empacotado em leito fixo por onde passa a fase fluida continuamente até que não haja mais transferência de massa. Como o adsorbato concentra-se na superfície do adsorvente, quanto maior for essa superfície, maior será a eficiência de adsorção e devido a isso os adsorventes são sólidos com partículas porosas (BORBA, 2006; RHEINHEIMER, 2016).

A adsorção pode ser classificada quando a sua intensidade em dois tipos: a adsorção física (fisissorção) e química (quimissorção) ou ainda a adsorção simultânea dos dois tipos. A adsorção física é causada principalmente por forças de Van der Waals entre moléculas do adsorbato e os átomos que compõem a superfície do adsorvente, de modo a permanecerem fracamente ligadas a superfície e com baixos calores de adsorção (MANGUEIRA, 2014).

A quimissorção ocorre pela formação de ligações químicas entre a superfície do adsorvente e do adsorbato e o rearranjo dos elétrons do fluido que interagem com o sólido. Este tipo de adsorção apresenta como característica a formação de uma única camada sobre a superfície sólida e a irreversibilidade da ligação (ATKINS, 2004; MORAES, 2014).

Vários fatores podem afetar adsorção, tais como a estrutura molecular, tamanho da partícula do material adsorvente, a solubilidade do soluto, o pH do meio, o tempo de contato e a temperatura. A capacidade adsortiva de um material pode, ainda, medida quantitativamente por meio de isotermas, que mostram a relação de equilíbrio entre a concentração da fase fluida

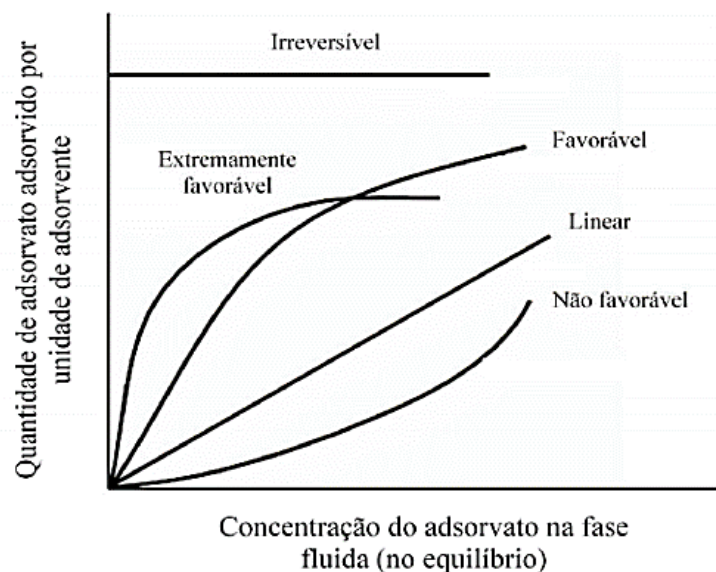
e a concentração do adsorbato que se deposita nos adsorventes a uma determinada temperatura (BATISTA, 2014).

2.4.1. Isotermas de Adsorção

A isoterma de adsorção consiste num método bastante utilizado para representar estados de equilíbrio de um sistema de adsorção e o seu tratamento teórico. Estas isotermas podem ser investigadas a partir de mecanismos propostos de adsorção, dentre eles encontram-se os de Langmuir e o de Freundlich, sendo os mais utilizados, porem ambos falham em predizer fatores como, pH e força iônica (ARAÚJO, 2017; BORBA, 2006).

A capacidade de adsorção de qualquer material adsorvente é em função da pressão (quando na forma gasosa) ou da concentração (quando na forma líquida) e da temperatura. Quando em um processo a capacidade adsorviva variar com a concentração mantendo fixa a temperatura é possível obter curvas denominadas de isotermas (CLAUDINO, 2003). O formato comum característico das isotermas é apresentado na Figura 5 a seguir.

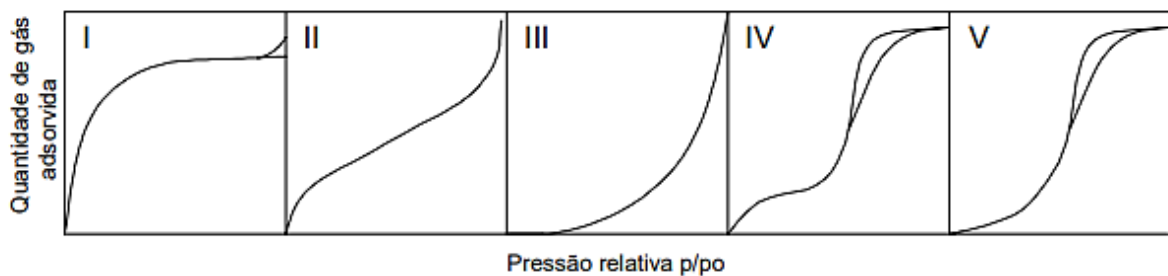
Figura 5. Isotermas mais comuns



A isoterma linear passa pela origem e a quantidade adsorvida é proporcional a concentração do fluido. As isotermas convexas são favoráveis, já que grandes quantidades adsorvidas podem ser obtidas com baixas concentrações de soluto. As isotermas côncavas são desfavoráveis, uma vez que há uma baixa capacidade de adsorção em baixas concentrações (MARCIEL, 2012).

Existem diversos registros de isotermas para diferentes tipos de adsorvente e adsorbatos, no entanto a maioria dessas isotermas resulta na adsorção física. São de grande importância no projeto de sistemas de adsorção uma vez que os leitos de adsorção operam a temperatura constante, enquanto a pressão e a capacidade dos casos adsorvidos são variadas. As isotermas podem ser convenientemente grupadas em cinco classes, que representam a classificação originalmente proposta por Brunauer, Emmet e Teller, conforme a Figura 6 (SOARES, 2001).

Figura 6. Isotermas típicas de classificação BET



Fonte: SOARES, 2001.

Cada tipo de isoterma (Figura 6) está associada a um tipo de poro envolvido:

- ✓ Isoterma de tipo I: associa-se a adsorção em microporos;
- ✓ Isoterma de tipo II: associa-se a adsorção de sistemas não porosos;
- ✓ Isoterma de tipo III e V: associa-se a interações muito fracas em sistemas contendo macro e Mesoporos;
- ✓ Isoterma de tipo IV: associa-se diretamente ao fenômeno da capilaridade que ocorre em sistemas mesoporosos.

2.4.1.1. Modelo de Langmuir

O modelo de Langmuir explica a adsorção em uma superfície simples, infinita e não porosa de um sistema ideal. Baseando-se se na mobilidade das moléculas adsorvidas pela superfície adsorvente, de modo que, a medida que mais moléculas são adsorvidas, há uma distribuição uniforme resultando na formação de uma monocamada sobre toda a superfície (SOARES, 2001). Pode ser considerado como o modelo mais representativo para sistemas com forte interação entre a superfície do adsorvente e o soluto para um único componente.

A expressão matemática para a isoterma de Langmuir é representado pela Equação 1.

$$Q_e = \frac{bQ_m C_e}{1 + bC_e} \quad (1)$$

Onde: Q_e é a quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio (mg. g^{-1}); Q_m é a capacidade máxima de adsorção (mg. g^{-1}); C_e é a concentração no equilíbrio (mg. L^{-1}) e b é a constante de Langmuir.

A Equação 1 fundamenta-se nas hipóteses de que:

- ✓ Todos os sítios do sólido têm a mesma atividade para adsorção;
- ✓ Não existe interação entre as moléculas adsorvidas;
- ✓ Toda adsorção segue o mesmo mecanismo, e cada adsorvente completo tem a mesma estrutura;
- ✓ A extensão da adsorção não é mais do que a formação de uma camada monomolecular sobre a superfície do adsorvente.

O rearranjo da equação 1 em formato linear, permite determinar os valores dos parâmetros b e Q_m , uma das formas linearizadas é abordada pela Equação 2.

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_m C_e b} + \frac{1}{Q_m} \quad (2)$$

A representação gráfica de $\frac{1}{Q_e}$ em função de $\frac{1}{C_e}$ é uma reta de inclinação $\frac{1}{Q_m b}$ e interceptação $\frac{1}{Q_m}$, permite a obtenção dos parâmetros para o modelo.

A forma da isoterma de Langmuir pode, ainda, ser descrita conforme seu fator de separação, R , expressos na Tabela 5, onde R é calculado conforma a Equação 3.

$$R = \frac{1}{1 + bC_i} \quad (3)$$

Onde C_i é a concentração inicial da solução.

Tabela 5. Tipo de isoterma conforme fator de separação

Valor de R	Tipo de Isoterma
$R > 1$	Desfavorável
$R=1$	Linear
$0 < R < 1$	Favorável
$R=0$	Irreversível

Fonte: Adaptado de ARAÚJO,2017.

2.4.1.2. Modelo de Freundlich

O modelo de Freundlich é considerado empírico que descreve processos não ideais com adsorventes de superfície heterogênea e adsorção em multicamadas (MACIEL, 2012). Este modelo avalia a dependência entre a parcela de material adsorvido e a concentração do material presente em solução.

A isoterma de Freundlich é expressa pela Equação 4.

$$Q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

Onde: K_F é a constante de Freundlich (mg/g) (mg/L) que indica a capacidade de adsorção do adsorvente; n é uma constante experimental que indica o efeito da concentração na capacidade de adsorção e representa a intensidade de adsorção.

O parâmetro n pode ser interpretado da seguinte maneira:

- ✓ Se $n = 0$ então a adsorção é linear;
- ✓ Se $n > 1$ indica que a adsorção é física e favorável;
- ✓ Se $n < 1$ indica que é uma adsorção química.

A linearização da Equação 4 para a determinação dos parâmetros experimentais é dado por:

$$\ln Q_e = \ln K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \ln C_e \quad (5)$$

Para obtenção dos parâmetros, deve-se construir um gráfico correlacionando os valores de $\ln Q_e$ em função de $\ln C_e$.

2.4.2. Cinética de adsorção

A cinética de adsorção avalia a velocidade do processo de concentração do adsorbato na superfície do adsorvente, sendo essa velocidade dependente de fatores como: natureza, peso molecular, solubilidade do adsorbato, natureza e estrutura dos poros do adsorvente e fatores como pH, temperatura e concentração da solução que contém espécies adsorvidas (MACIEL, 2012).

Todas as informações relacionadas a cinética permitem avaliar a natureza das etapas determinantes da velocidade, que está diretamente ligada as interações adsorvente/adsorbato e pode ser parcialmente caracterizada pela energia de ativação do processo e pelo efeito da temperatura sobre a velocidade. Compreender os parâmetros cinéticos é de elevada importância pois eles permitem calcular a velocidade de adsorção, o tempo necessário para remoção de

contaminantes, a quantidade adsorvida e o tempo de residência. (AZIZIAN, 2004; BONNATO, 2013).

Os estudos de equilíbrio de adsorção são de extrema importância na determinação da eficácia de adsorção. Entretanto também é de grande utilidade estudar o tipo de mecanismo e as etapas controladoras para o processo de adsorção analisado. Os modelos cinéticos lineares são empregados para compreender o mecanismo que controla o processo de adsorção, sendo os mais difundidos os de pseudo-primeira ordem e o de pseudo-segunda ordem (ARAÚJO, 2017).

2.4.2.1. Modelo de pseudo-primeira ordem

O modelo de pseudo-primeira ordem proposto por Lagergren considera a reversibilidade da adsorção e o alcance de um estado de equilíbrio em que ocorre tanto o processo de adsorção (reação direta) quanto o processo de dessorção (reação inversa). É amplamente utilizada em processos de adsorção do soluto em uma solução líquida e baseada na capacidade de adsorção do sólido (MARCIEL, 2012).

A equação de taxa que representa o modelo de pseudo-primeira ordem é apresentada pela Equação 6.

$$\frac{dQ}{dt} = k_1(Q_e - Q_t) \quad (6)$$

Onde: k_1 é a constante de taxa da adsorção de pseudo-primeira ordem (min^{-1}); Q_t é a quantidade de adsorbato adsorvida no tempo t (mg. g^{-1}); Q_e é a capacidade de adsorção no equilíbrio (mg. g^{-1}).

Integrando a Equação 6 com as condições de contorno ($Q_t=0$ até $Q_t= Q_t$ e $t=0$ até $t=t$) para uma forma linear obtém-se:

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln(Q_e) - \frac{k_1}{2,303}t \quad (7)$$

A Equação 7 permite a construção gráfica para a obtenção da cinética de adsorção através de $\log(Q_e - Q_t)$ versus t .

2.4.2.2. Modelo de pseudo-segunda ordem

A equação de pseudo-segunda ordem considera que no processo de adsorção existe a formação de forças de valência através de troca ou compartilhamento de elétrons entre moléculas do adsorvente e do adsorbato (ARAÚJO, 2017).

Para o modelo de pseudo-segunda ordem, a taxa de transferência de adsorbato da solução para a superfície do adsorvente é descrita pela Equação 8.

$$\frac{dQ_t}{dt} = k_2(Q_e - Q_t)^2 \quad (8)$$

Onde: k_2 é a constante de velocidade para o modelo de pseudo-segunda ordem, obtido em $\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$.

Integrando a equação 8 obtém-se a equação linear para o modelo de pseudo-segunda ordem.

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \quad (9)$$

Para $t=0$ tem-se a constante de adsorção inicial, definida pela Equação 10.

$$h = k_2 Q_e^2 \quad (10)$$

Para a obtenção da curva característica e os parâmetros do modelo, os dados obtidos experimentalmente são plotados e o gráfico $\frac{t}{Q_e}$ versus t , resultará em uma relação linear.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Carvão Ativado (LCA) localizado no Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba e recebeu suporte do Laboratório de Operações Unitárias (CT/UFPB), Laboratório de Tecnologia de Novos Materiais (TECNOMAT-CT/UFPB) e Laboratório de Combustíveis e Materiais (LACOM-CCEN/UFPB).

3.1. PREPARO DO CARVÃO ATIVADO

3.1.1. Matéria-prima

Inicialmente procedeu-se a coleta do resíduo sólido do fruto do coco (endocarpo) obtido a partir de rejeitos do comércio local, localizado na cidade de João Pessoa – Paraíba. Este material coletado foi exposto ao sol (Figura 7) visando remover o restante da polpa, por um período de 10 horas. Depois que os resíduos foram eliminados, procedeu-se a remoção das fibras que envolvem os casquilhos pelo uso do esmeril, ver Figura 8. Após isso o material foi fragmentado em um moinho de martelo, conforme a Figura 9.

Figura 7. Endocarpo de coco secando ao sol



Fonte: AUTORAL, 2018.

Figura 8. Esmeril



Fonte: AUTORAL, 2018.

Figura 9. Moinho de martelo



Fonte: AUTORAL, 2018.

Feita a trituração do material, foi feito o peneiramento seletivo do endocarpo de coco em um agitador magnético de peneiras (Figura 10), onde obteve-se a separação granulométrica nas granulometrias de 4, 8, 9, 10 e 28 mesh (Apêndice A contém as aberturas das peneiras do modelo Tyler.)

Figura 10. Agitador eletromagnético de peneiras



Fonte: AUTORAL,2018.

3.1.2. Carbonização e ativação

Inicialmente, a um béquer de 500 mL, transferiu-se 50 g do endocarpo de coco preparado e em seguida 60 mL de uma solução de ácido clorídrico 5% v/v. Com auxílio de um agitador termomagnético, esse conjunto foi coberto com um vidro relógio e exposto a uma temperatura de 80 °C por um período de 6 horas. Em seguida o material foi lavado em água destilada, para remover o excesso de ácido presente de modo a atingir uma faixa neutra de pH (6,75), e seco em estufa (QUIMIS) por 12 horas a 105 °C.

A massa do material seco foi obtida em uma balança analítica e transferido novamente a um béquer de 500 mL, medido, na proporção 1:1 (massa do agente ativante com massa do precursor), ácido fosfórico (H₃PO₄) 85% m/v como agente de impregnação da ativação química e água destilada em quantidade suficiente para que toda a massa do endocarpo ficasse submersa. Encaminhou-se o béquer, previamente coberto, com o material ao agitador termomagnético à temperatura de 80 °C por 2 horas e em seguida desidratado a 150 °C, no mesmo sistema de aquecimento. Após a desidratação, o material foi adicionado a um cadinho de porcelana, dando-se início ao processo de carbonização. Os cinco materiais nas suas respectivas granulometrias passaram por esse procedimento.

As amostras foram pirolisadas em um forno elétrico rotativo (CHINO), conforme a Figura 11. A programação de preparo foi feita a partir da temperatura final em °C, da razão de aquecimento em °C.min⁻¹ e do tempo em que a temperatura final permaneceu constante (tempo

de residência). Na carbonização a temperatura foi de 500 °C com razão de aquecimento de 10 °C.min⁻¹.

Figura 11. Forno elétrico rotativo -CHINO



Fonte/: AUTORAL, 2018.

Todos os carvões sofreram ativação física, onde o gás oxidante foi o vapor d'água, a 110 °C, gerado em uma caldeira elétrica (Figura 12) acoplada ao forno rotativo. O fluxo de vapor d'água foi aberto quando a temperatura atingiu o tempo de residência, permanecendo assim sobre as amostras a um fluxo de 0,8 kg.h⁻¹ por 30 minutos.

Figura 12. Caldeira elétrica para produção de vapor d'água



Fonte: AUTORAL, 2018

Ao fim da programação, o carvão foi lavado com bastante água deionizada (quente e fria, alternadamente) para eliminar o excesso de ácido. Após essa lavagem o carvão foi seco em estufa (QUIMIS), A 105 °C, por 48 horas.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO ATIVADO PRODUZIDO

3.2.1. Rendimento

Após a lavagem, o carvão que havia sido levado à estufa a 105 °C por 48 horas (conforme o item 3.1.2) foi obtida a massa em balança analítica e com isso foi possível determinar o rendimento do carvão ativado produzido a partir da Equação 11.

$$R_{CA} = \frac{\text{massa final do carvão}}{\text{massa inicial da matéria prima}} \times 100 \quad (11)$$

3.2.2. Caracterização da estrutura porosa

Com o objetivo de determinar a área superficial, o volume e o tamanho dos poros de sólidos, os carvões preparados foram caracterizados por adsorção de N₂ A 77 K, utilizando o microporosímetro da MICROMERITICS, modelo ASAP 2020 (Figura 13), conectado a um microcomputador, o método fundamenta-se nos trabalhos de Brunauer, Emmett e Teller (BET). A amostra medindo 0,25 g foi degaseificada a 300°C sob vácuo e em seguida analisada.

Figura 13. Microporosímetro ASAP 2020



Fonte: Site do laboratório de carvão ativado, UFPB-2018.

3.2.3. Densidade aparente

A densidade aparente dos carvões ativados foi determinada pela relação massa/volume do carvão ativado, em uma proveta. A amostra foi introduzida em uma proveta com massa previamente medida, de 5,0 mL, e esta foi submetida a leves impactos laterais, de modo a compactar o material. Após a verificação de que não há variações de volume compacto, foi feita a medição da massa, em uma balança analítica marca Shimadzu, modelo AX200 (Figura 14). Dividiu-se a massa pesada do carvão pelo volume medido, para calcular a densidade aparente de cada amostra em g.cm^{-3} (MANGUEIRA, 2014).

Figura 14. Balança analítica



Fonte: AUTORAL, 2018.

3.2.4. Determinação do teor de cinzas

As cinzas são resíduos minerais que permanecem após a queima da matéria orgânica. O conteúdo das cinzas é muito importante pois dependendo do solvente utilizado na adsorção parte das cinzas podem ser extraídas, contaminando e mudando o pH da solução (MANGUEIRA, 2014).

O teor de cinzas das amostras dos carvões ativados foi determinado por gravimetria, que consiste em determinar a perda de peso do material, submetido à calcinação.

A metodologia de execução foi a seguinte: Mediu-se, analiticamente, 1,0 g de cada amostra, em cadinhos de porcelana. Posteriormente, os cadinhos foram levados para a mufla a 800°C , durante quatro horas. Após esse período, os cadinhos foram transferidos para o dessecador para serem resfriados e, em seguida, mediu-se a massa residual. O teor de cinzas foi calculado através da Equação 12.

$$C_z(\%) = \frac{R}{m_{CA}} \cdot 100 \quad (12)$$

Onde: C_z (%) = teor de cinzas; R = massa do resíduo da calcinação (g) e m_{CA} = massa da amostra (g).

3.2.5. pH do carvão ativado

O procedimento para medição do pH foi realizado da seguinte maneira: Inicialmente, mediu-se 1,0 g do carvão e transferiu-se para um erlenmeyer de 250 mL, acrescentando-se em seguida 100 mL de água destilada. A mistura foi aquecida e deixada em ebulição durante 5 min. Após esfriar até a temperatura ambiente, adicionou-se mais 100 mL de água destilada, para então se medir o pH da suspensão, através de um pH-metro da TECNOPON modelo mPA 210 (MEDEIROS, 2008).

3.2.6. Difração de raios-X

Os carvões ativados de 10 mesh e 28 mesh foram caracterizados por difração de raios-X (DRX) no Laboratório de Tecnologia de Novos Materiais da Universidade Federal da Paraíba, pelo aparelho de difração de raios-X, modelo D2 Phaser-Bruker com fonte de radiação $\text{CuK}\alpha$, tensão de 30 mV, corrente de 30 mA, com velocidade de varredura de $2^\circ \cdot \text{min}^{-1}$, com ângulo 2θ de 5 a 90° e passo de $0,020^\circ$.

3.2.7. Espectroscopia da absorção na região do infravermelho (FT-IR)

Os carvões ativados de 10 mesh e 28 mesh foram caracterizados por FT-IR no Laboratório de combustíveis e materiais da Universidade Federal da Paraíba. Os ensaios foram realizados com o espectrofotômetro Shimadzu modelo IR Prestige-21, em um comprimento de onda na faixa de $4000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$. A amostra de carvão ativado foi dispersa em Brometo de Potássio na proporção 1:100 mg para confecção de pastilhas de 1,2 cm de diâmetro. O objetivo desta análise é determinar os grupos funcionais presentes no carvão ativado de endocarpo de coco.

3.3. PREPARO DO PARACETAMOL UTILIZADO

O paracetamol utilizado nos experimentos foi adquirido em uma farmácia local da cidade de João Pessoa-PB, cujo fabricante é a NEO QUÍMICA, vendido em 750 mg de paracetamol por comprimido. Para uma maior precisão nos testes e remoção de agentes interferentes da composição que não são desejados para este trabalho, foi aplicada uma técnica para extração do paracetamol do comprimido comercial.

3.3.1. Extração e caracterização do Paracetamol

Para a extração do paracetamol do comprimido, foram triturados em um almofariz dois comprimidos do medicamento (1,5570 g) e transferidos para um erlenmeyer de 125 mL. A este recipiente foram adicionados 40,0 mL de álcool etílico da marca ALPHATEC (PA, 99,8% de pureza) e a suspensão foi agitada vigorosamente em um agitador magnético durante 5 minutos e sendo filtrada para um balão tarado. O resíduo foi lavado com 10,0 mL de álcool etílico e descartado. A solução extraída foi encaminhada para um evaporador rotativo da marca QUIMIS, em conjunto com um banho termostático da marca SOLAB e uma bomba de vácuo da marca SOLAB (Figura 15), onde o solvente foi removido, fornecendo 1,1523 g (74%) de paracetamol. O produto foi caracterizado no espectrofotômetro (de UV-Vis/Mini 1240 (Shimadzu), ver Figura 16 (LÚCIA *et.al* ,2003).

Figura 15. Equipamentos usados para extração do paracetamol.



Fonte: AUTORAL, 2018.

Figura 16. Espectrofotômetro.



Fonte: AUTORAL ,2018.

3.3.2. Preparo do efluente sintético

Após o procedimento de extração, o paracetamol extraído foi colocado em um recipiente fechado e colocado no dessecador para evitar umidade.

O efluente sintético foi preparado da seguinte maneira: Em um balão volumétrico de 200 mL, foram transferidos 0,200g do paracetamol extraído, previamente medidos em balança analítica da marca Shimadzu modelo AX200. Em seguida, aferiu-se o menisco com água destilada e homogeneizou-se, resultando em uma solução primária de 1g. L^{-1} . A partir desse efluente primário foram preparadas os padrões para a curva de calibração e o efluente sintético para os ensaios de adsorção.

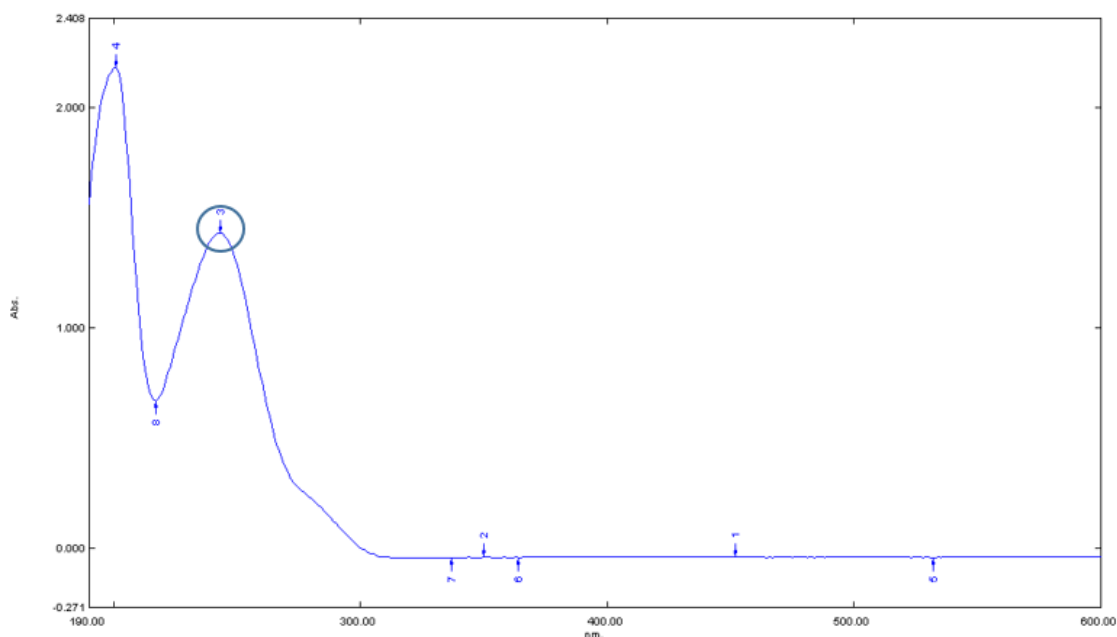
3.4. ENSAIOS DE ADSORÇÃO

3.4.1. Determinação das condições experimentais de adsorção.

O procedimento experimental realizado para avaliar quantitativamente a adsorção de paracetamol nos carvões ativados, foi feita em duas bateladas à temperatura de $25^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e pH natural da solução.

Inicialmente construiu-se uma curva analítica com diluições da solução padrão de paracetamol, utilizando as concentrações de: 1,0; 3,0; 6,0; 9,0; 12; 15; 20; 25 mg. L^{-1} , preparados a partir do padrão primário de 1g.L^{-1} . As leituras foram realizadas em um Espectrofotômetro de UV-Vis/Mini 1240 (Shimadzu) em um comprimento de onda de 243 nm, conforme circulado na Figura 17. Este mesmo equipamento foi utilizado na determinação das concentrações das amostras após o tratamento.

Figura 17. Varredura do efluente sintético



Fonte: AUTORAL, 2018.

Para os experimentos de adsorção do paracetamol presente no efluente sintético foi utilizado uma solução na concentração de 20 mg. L^{-1} . O tempo de realização dos ensaios foi de 16 horas para o carvão ativado de endocarpo de coco nas granulometrias de 10 e 28 mesh e com o carvão ativado granulado comercial (Dinâmica, CAS 7440-44-0) peneirado em malha de 10 mesh, de forma a padronizar o tamanho da partícula e assim fazer a comparação com o carvão do endocarpo de coco.

3.4.2. Isotermas de adsorção

Para os ensaios pontuais de adsorção de paracetamol foram medidos cerca de (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 g) de amostras secas de carvão ativado de endocarpo de coco nas granulometrias de 10 mesh e 28 mesh e 10 mesh do carvão comercial foram inseridas em erlenmeyer de 250 mL onde se adicionou 200 mL da solução de paracetamol sintético na concentração de 20 mg. L^{-1} . Estes erlenmeyers foram colocados em uma incubadora Shaker (SL 221-SOLAB) com agitação de 190 rotações por minuto, durante 16 horas. Em intervalos de tempo predeterminados (0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 8; 12 e 16 horas), uma alíquota de 3 mL era retirada de cada amostra e quantificada no espectrofotômetro.

A quantidade de paracetamol adsorvido por grama de carvão, Q_e , e a porcentagem de paracetamol adsorvido, %Ads, são determinados pelas equações 13 e 14 a seguir:

$$Q_e = \frac{(C_i - C_e) \cdot V_t}{M_c} \quad (13) \quad \%Ads = \frac{(C_i - C_e) \cdot 100}{C_i} \quad (14)$$

De modo que: Q_e = quantidade de paracetamol adsorvido no equilíbrio por grama de carvão ativado (mg. g^{-1}); C_i = concentração inicial da solução sintética de paracetamol (mg. L^{-1}); C_e =concentração de paracetamol que permanece em solução no equilíbrio (mg. L^{-1}); V_t = volume total da solução utilizada na experiência de adsorção (mL); M_c = massa de carvão ativado (g).

O estudo das isotermas de adsorção foi realizado através do tratamento de dados obtidos experimentalmente e aplicados aos modelos de Langmuir e Freundlich.

3.4.3. Cinética de Adsorção

O procedimento experimental para determinação da cinética de adsorção é o mesmo descrito no item 3.4.4. Para esse estudo aplicou-se os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO CARVÃO ATIVADO

4.1.1. Isotermas de adsorção de nitrogênio

A Tabela 6 apresenta os resultados da metodologia aplicada para caracterização morfológica dos carvões ativados produzidos a partir do endocarpo de coco.

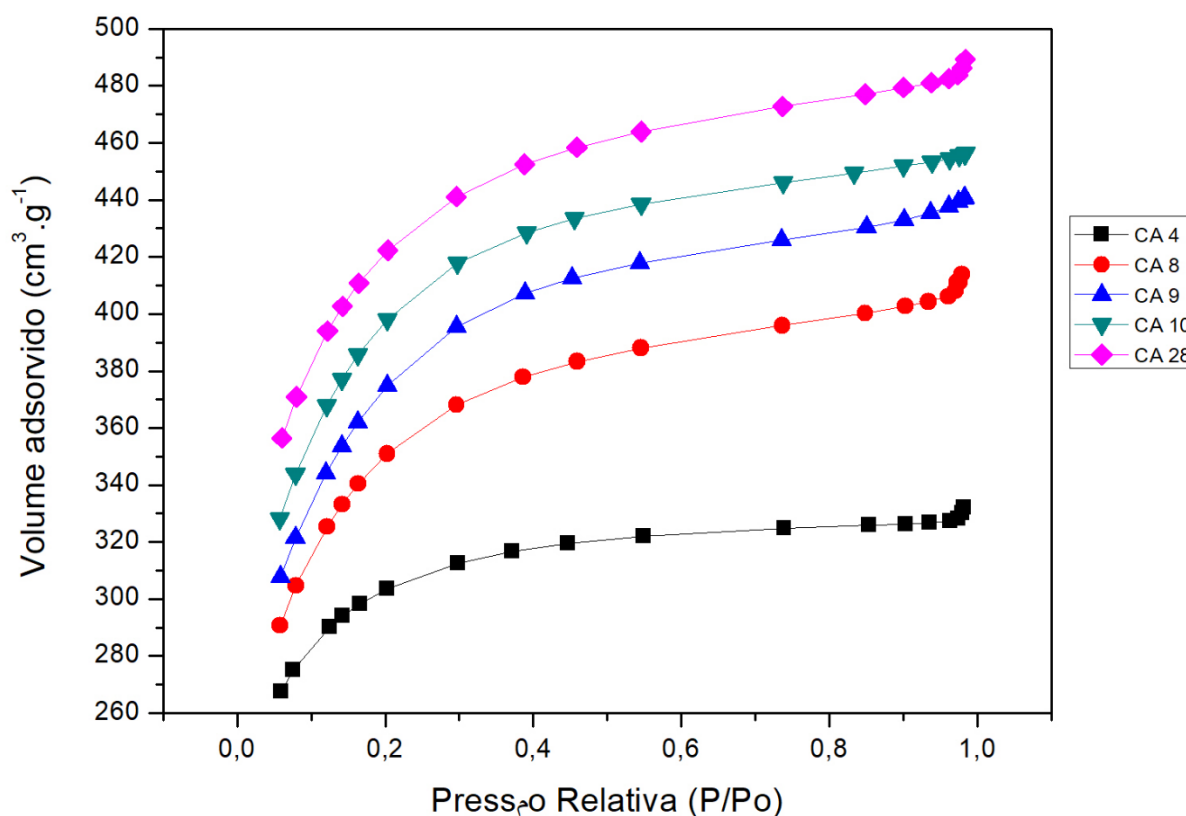
Tabela 6. Características morfológicas dos carvões ativados produzidos a partir do endocarpo de coco

Amostra	Área BET ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	Área de microporo ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	Volume de microporo ($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	Diâmetro dos poros (Å)	Rendimento (%)
CA 4 mesh	1046,93	675	0,306398	19,5024	56,27
CA 8 mesh	1236,01	658	0,247447	20,6331	48,12
CA 9 mesh	1319,92	555	0,236306	20,6463	49,19
CA 10 mesh	1400,13	638	0,273265	20,1517	53,46
CA 28 mesh	1473,95	741	0,323958	20,4166	54,67

Em análise da Tabela 6 é possível notar que com a diminuição da granulometria do carvão ativado, ocorre um aumento significativo na área superficial BET do mesmo. Outro ponto a se notar é que a programação utilizada $500^\circ\text{C} / 10^\circ \cdot \text{min}^{-1} / 30 \text{ min}$ é eficiente, obtendo carvões ativados com áreas superficiais superiores a $800 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. No que diz respeito aos diâmetros dos poros, os cinco carvões apresentaram uma magnitude semelhante e conforme a classificação da IUPAC o carvão ativado de 4 mesh classifica-se como microporoso e os demais apresentam mesoporos em sua estrutura.

O formato da isoterma de adsorção, como foi visto no item 2.4.1, fornece informações qualitativas preliminares sobre o mecanismo de adsorção e da estrutura dos carvões ativados. As isotermas de adsorção de nitrogênio do carvão proveniente do endocarpo de coco em diferentes granulometrias são apresentadas na Figura 18.

Figura 18. Isotermas de adsorção de nitrogênio nos carvões ativados produzidos



De acordo com a classificação originalmente proposta por Brunauer, Emmet e Teller (BET) as isotermas de adsorção-dessorção de N_2 a 77 K apresentadas na Figura 18 possuem características do tipo I, ou seja, estão ligadas a adsorção em microporos com superfície externa relativamente pequena onde ocorre adsorção em monocamada (SOARES, 2001).

Observa-se que a isoterma correspondente ao carvão ativado na granulometria de 28 mesh apresenta maior quantidade de gás adsorvido ($489,20 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) justificando a sua área superficial BET superior as demais granulometrias.

4.1.2. Densidade aparente, teor de cinzas e pH

A Tabela 7 apresenta a caracterização dos carvões ativados quanto a densidade aparente, pH e teor de cinzas realizados nos cinco carvões produzidos.

Tabela 7. Caracterização dos carvões quanto a densidade, pH e teor de cinzas

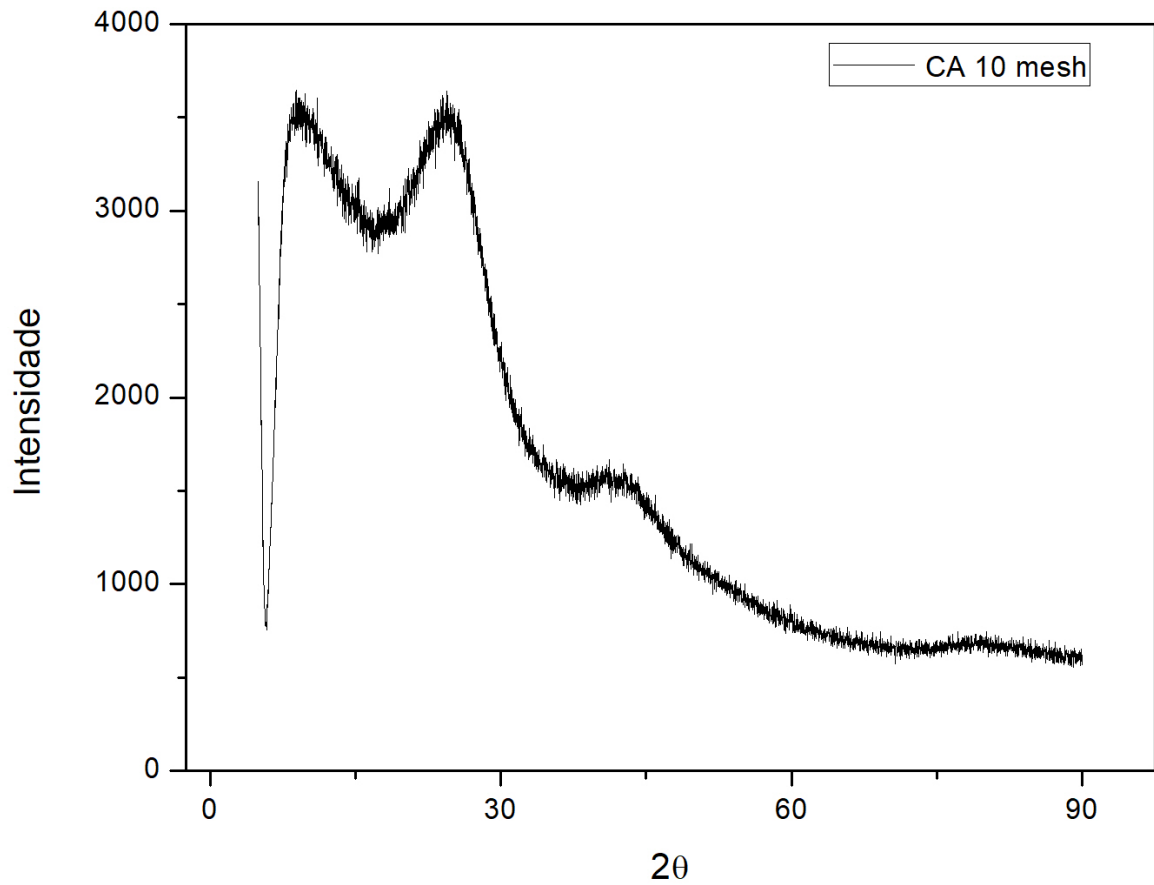
Amostra	Densidade Aparente (g.cm ⁻³)	pH	Cinzas(%)
CA 4 mesh	0,5738	6,21	0,12
CA 8 mesh	0,5679	5,85	0,18
CA 9 mesh	0,5635	5,94	0,28
CA 10 mesh	0,5421	6,03	0,41
CA 28 mesh	0,5222	5,92	1,18

Em análise dos dados expostos na Tabela 6 e 7 pode-se observar que a quanto maior a área superficial do carvão ativado menor será sua densidade aparente, para este estudo uma menor granulometria resulta em uma menor densidade. Os valores de pH dos carvões produzidos apresentam-se levemente ácidos, mesmo após a lavagem, sendo concordantes com o processo de ativação realizado, visto que foram utilizados ácidos como agente de impregnação. O teor de cinzas apresenta-se relativamente baixos sendo satisfatórios para os carvões produzidos já que o baixo teor de cinzas é considerado um fator favorável para o processo de adsorção, e neste estudo mostram-se inversamente proporcionais ao tamanho da granulometria

4.1.3. Difração de raios-X

O difratograma de raios-X do carvão ativado de endocarpo de coco para a granulometria de 10 mesh é apresentado na Figura 19.

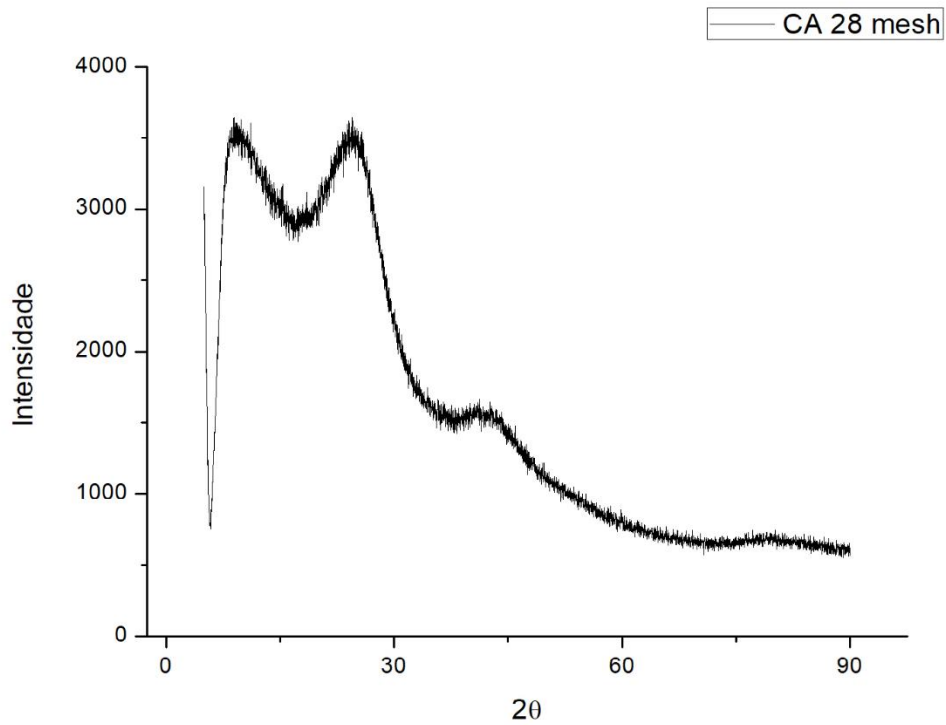
Figura 19. Difratoograma de raios -X do carvão ativado do endocarpo de coco a 10 mesh



Através do difratograma da Figura 19, gerado pelo cruzamento dos dados de intensidade e ângulo de fase, foi possível notar que o carvão ativado produzido apresenta uma estrutura amorfa e sem resquícios do agente de impregnação da ativação química.

O DRX também foi realizado para o carvão ativado de endocarpo de coco a 28 mesh (Figura 20), apenas a título de confirmação, pois como a granulometria é apenas o que diferencia os dois carvões ativados e este é um procedimento físico, o DRX das amostras são iguais ou similares.

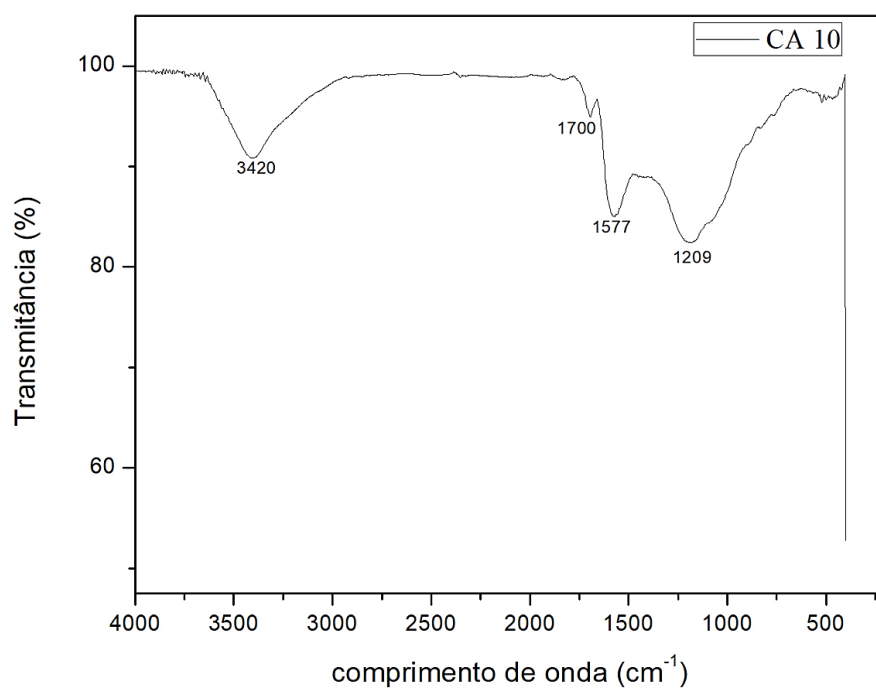
Figura 20. Difração de raios-X para CA 28 mesh



4.1.4. Espectroscopia da absorção na região do infravermelho (FT-IR)

A Figura 21 apresenta o espectro na região do infravermelho para a amostra do carvão ativado produzido a partir do endocarpo de coco na granulometria de 10 mesh.

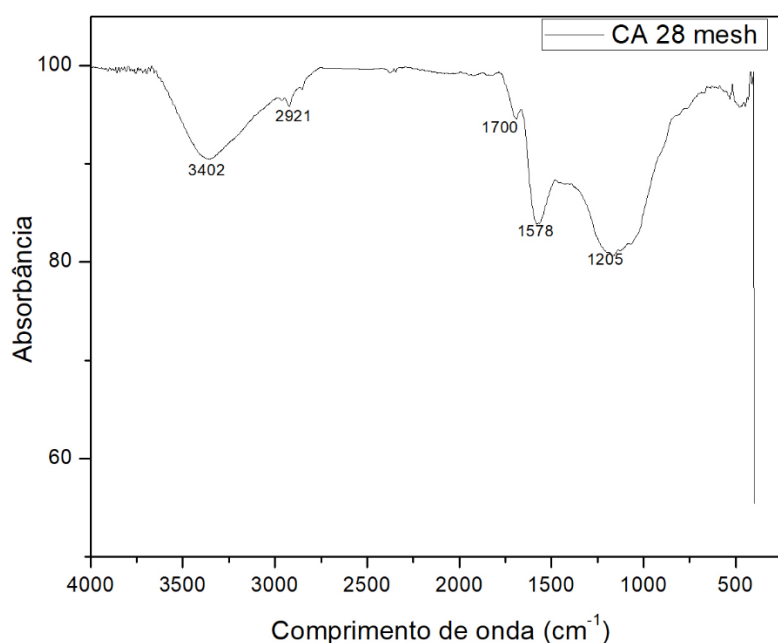
Figura 21. Espectros na região do infravermelho para o carvão ativado a 10 mesh



Em análise da Figura 21, a banda em torno de 3420 cm^{-1} é atribuída ao estiramento do grupo -OH , a presença desse estiramento refere-se as ligações de hidrogênio presentes na celulose. A banda em torno de 1700 cm^{-1} evidencia a presença de grupos carbonila C=O , existentes em ácidos carboxílicos, cetonas e na própria celulose. A banda entre 1505 e 1428 cm^{-1} refere-se à vibração da ligação C=C em anel aromático, característicos da lignina. A banda de 1209 cm^{-1} indica a presença de grupos ésteres, éteres ou fenólicos (CAMBUIM, 2009; COSTA; FURMANSKI; DOMINGUINI, 2015).

A espectroscopia na região do infravermelho também foi realizada para o carvão ativado de 28 mesh (Figura 22), similar ao que ocorreu para o DRX, os FT-IR dos carvões ativados em diferentes granulometrias foram semelhantes.

Figura 22. Espectros na região do infravermelho para o carvão ativado a 10 mesh

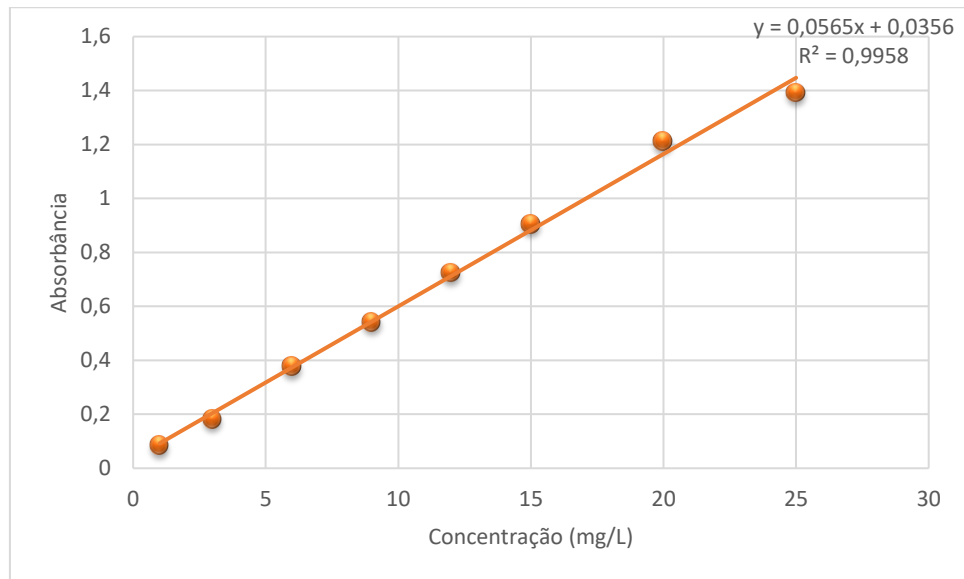


4.2. ENSAIOS DE ADSORÇÃO DO PARACETAMOL EM CARVÃO ATIVADO

4.2.1. Curva analítica de calibração

A quantificação do paracetamol em solução foi realizada por espectrofotometria de absorvância de luz ultravioleta. Deste modo, foi construída uma curva de calibração (Figura 23) utilizando as concentrações e medindo as absorvâncias correspondentes no comprimento de onda de 243 nm , descritas no item 3.4.1.

Figura 23. Curva de calibração do paracetamol por espectrofotometria UV



4.2.2. Remoção do paracetamol

As curvas de adsorção de paracetamol pelos carvões ativados de endocarpo de coco, na granulometria de 10 (Figura 24) e 28 mesh (Figura 26), e o carvão comercial a 10 mesh (Figura 25). São explanadas na Figura 22 para diferentes massas de carvão ativado, conforme a metodologia abordada no item 3.4.2. Os resultados dos estudos estão contidos no apêndice B1.

Figura 24. Remoção de paracetamol usando o CA de endocarpo de coco a 10 mesh

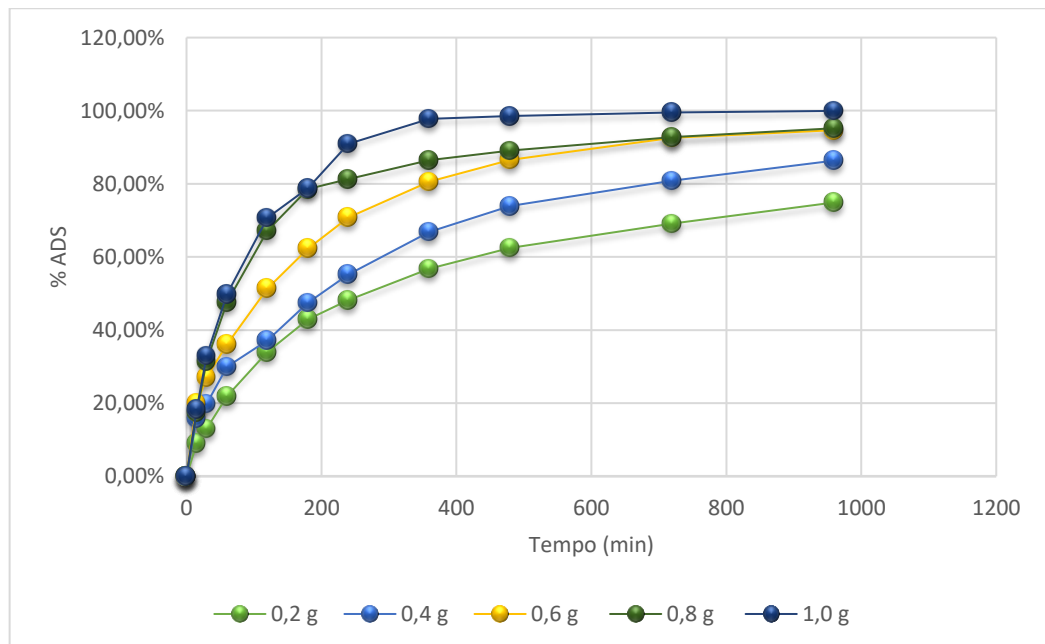


Figura 25. Remoção de paracetamol usando CA comercial a 10 mesh

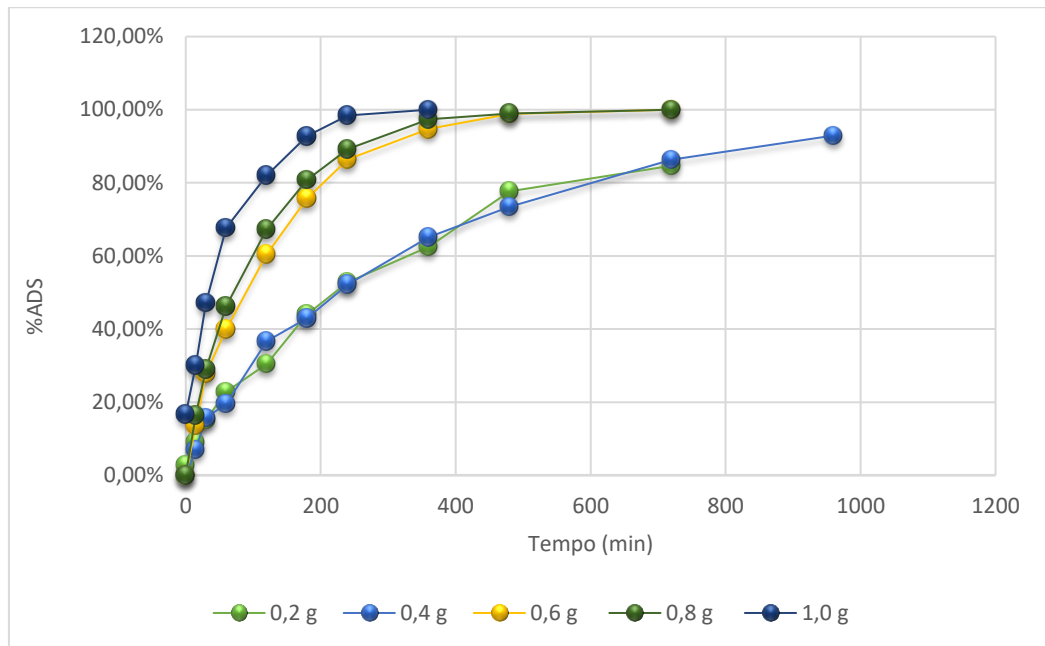
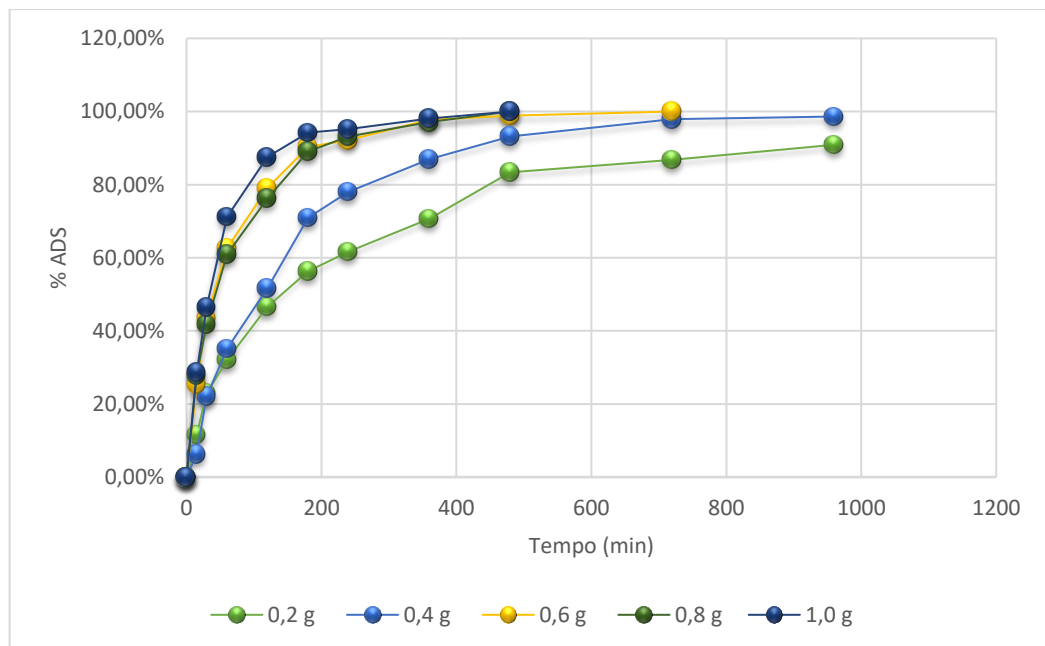
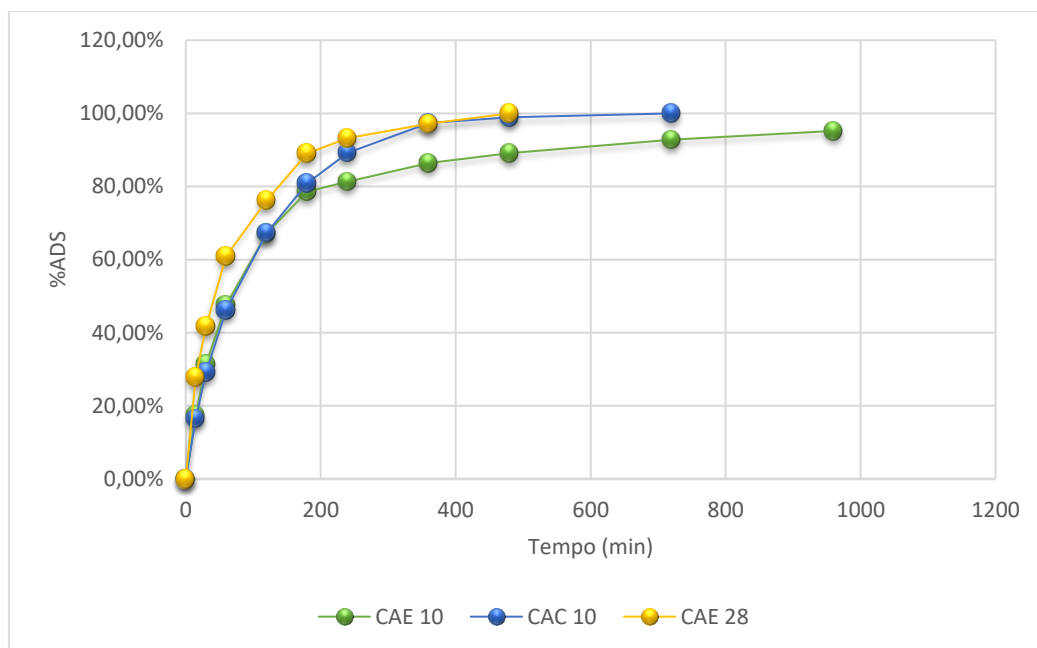


Figura 26. Remoção de paracetamol usando CA de endocarpo de coco a 28 mesh



A Figura 27 facilita a visualização comparando o desempenho da remoção do paracetamol pelos carvões ativados fixando a quantidade de 0,8 g do adsorvente. A escolha desse valor foi devido a observações dos dados experimentais e conclusão que há maiores variações neste ponto.

Figura 27. Comparação entre os percentuais de remoção dos carvões ativados com 0,8 g utilizado no ensaio



Nota: CAE- Carvão Ativado de Endocarpo; CAC- Carvão Ativado Comercial

Em análise das Figuras 24 a 27 nota-se uma redução na taxa de adsorção com o tempo, o que é justificado pela redução da quantidade de sítios ativos disponíveis para adsorção das moléculas do paracetamol. Outra observação está atrelada ao efeito das massas dos carvões ativados na remoção do paracetamol com o tempo, indicando que a adsorção aumenta com o aumento das massas dos carvões ativados, como já era esperado, pois o número de sítios adsorptivos aumentou proporcionalmente.

Comparando os CAE 10 e o CAC 10 nas Figuras 24 e 25 vemos que o carvão comercial se mostra superior ao do endocarpo para uma mesma granulometria, adsorvendo uma maior quantidade de paracetamol no mesmo intervalo de tempo. Com auxílio da Figura 27, para uma quantidade fixa de carvão ativado, no período de 960 minutos de contato com o efluente sintético, o CAE 10 removeu 95,20% do fármaco, enquanto em 720 minutos o CAC removeu completamente o fármaco.

Analisando as Figuras 24 e 26, vemos a influência da granulometria do endocarpo de coco na adsorção do paracetamol, onde o carvão de menor granulometria adsorveu uma maior quantidade de paracetamol para um mesmo intervalo de tempo, isto pode ser justificado pelo aumento da superfície de contato obtido no carvão de granulometria menor. Com auxílio da Figura 27 vemos que no período de 480 minutos, o CAE 28 já tinha removido todo o paracetamol do efluente sintético, mostrando-se mais eficiente que o CAE 10 e o CAC 28.

4.2.3. Isotermas de adsorção

Os dados experimentais das isotermas de adsorção de paracetamol foram tratados segundo os modelos de Langmuir e Freundlich a partir de suas linearizações, Equações 2 e 5 respectivamente. Para esta análise foi fixado o tempo de contato em 360 minutos nas diferentes massas de carvão ativado para os três tipos colocados em foco neste documento. Os valores obtidos de Q_e e C_e estão contidos no Apêndice B2.

Figura 28. Modelo de isoterma de Langmuir para o CAE 10 mesh

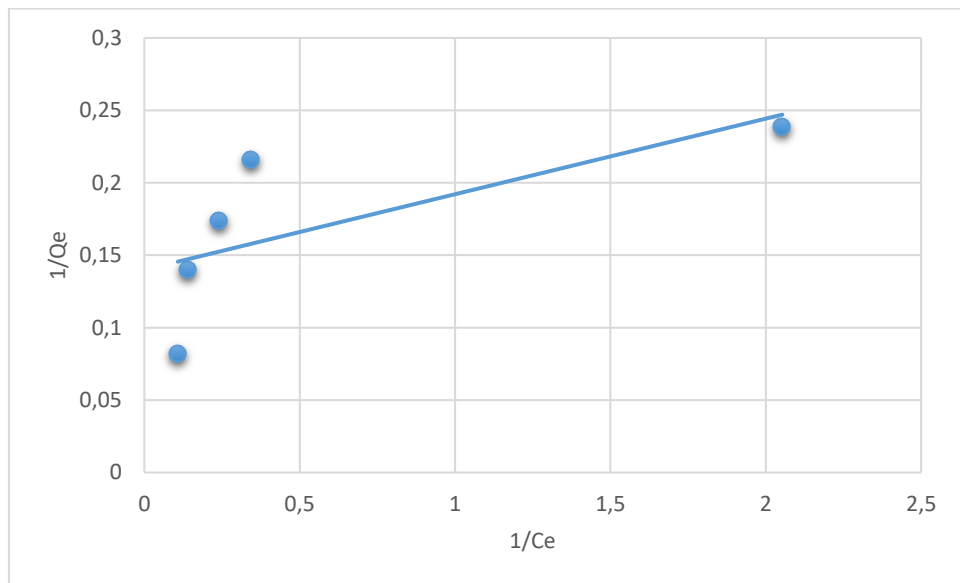
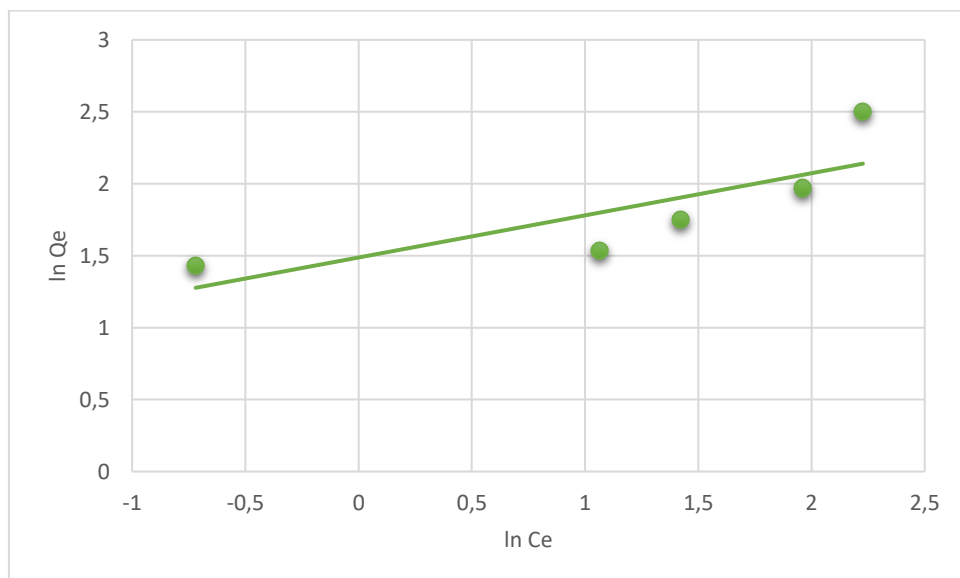


Figura 29. Modelo de Freundlich para CAE 10 mesh



Os resultados dos parâmetros da isoterma de Langmuir e Freundlich, obtidos pela regressão linear estão contidos na Tabela 8.

Tabela 8. Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich para o CAE 10

Langmuir			Freundlich		
b (L.mg ⁻¹)	Qm (mg.g ⁻¹)	R ²	K _F (mg.g ⁻¹)(mg.L ⁻¹)	n	R ²
-0,05195	-0,99567	0,4854	1,15017	3,4164	0,628

Figura 30. Modelo de Langmuir para o CAC 10 mesh

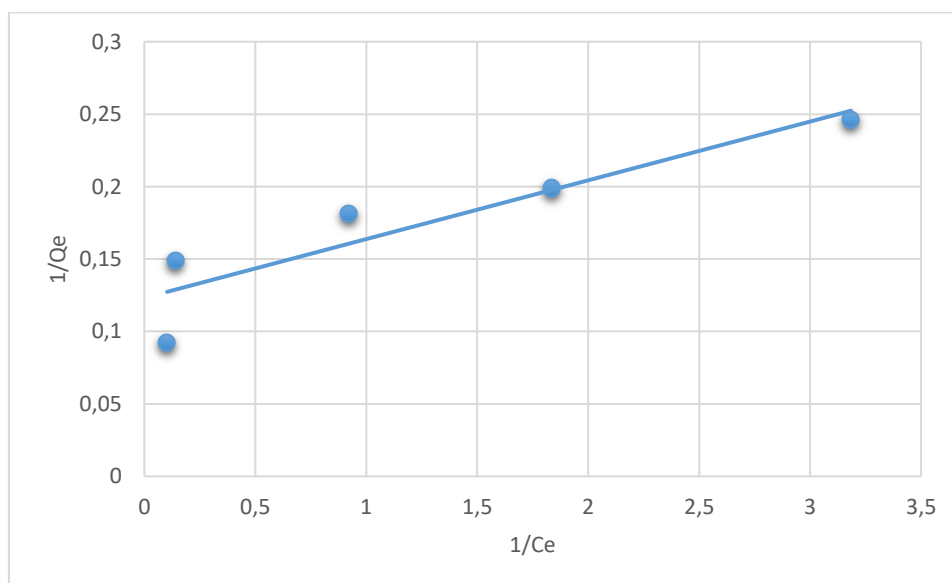
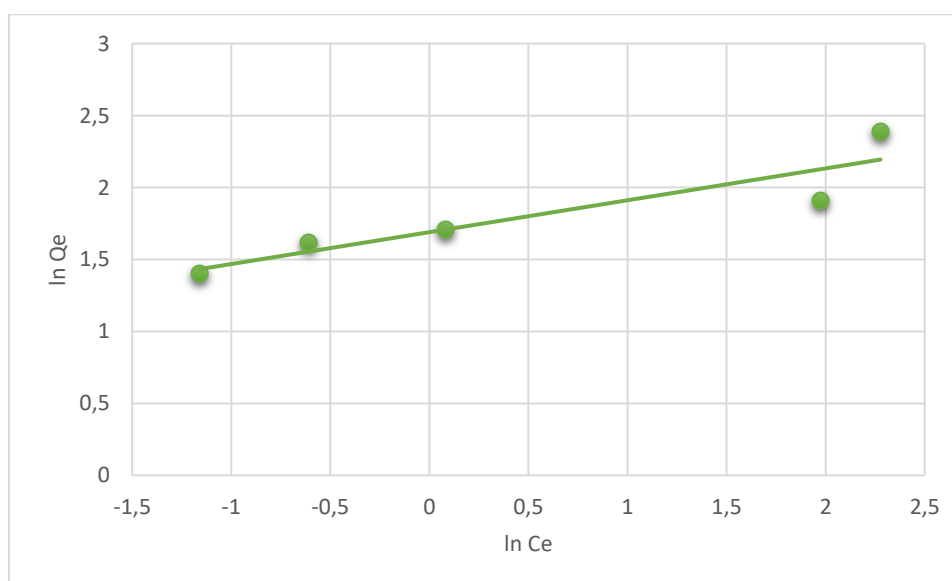


Figura 31. Modelo de Freundlich para CAC 10 mesh



Os resultados dos parâmetros da isoterma de Langmuir e Freundlich, obtidos pela regressão linear estão contidos na Tabela 9.

Tabela 9. Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich do CAC 10 mesh

Langmuir			Freundlich		
b (L.mg ⁻¹)	Qm (mg.g ⁻¹)	R ²	K _F (mg.g ⁻¹)(mg.L ⁻¹)	n	R ²
0,3292	8,1172	0,8394	5,41833	4,51299	0,8369

Figura 32. Modelo de Langmuir para o CAE 28 mesh

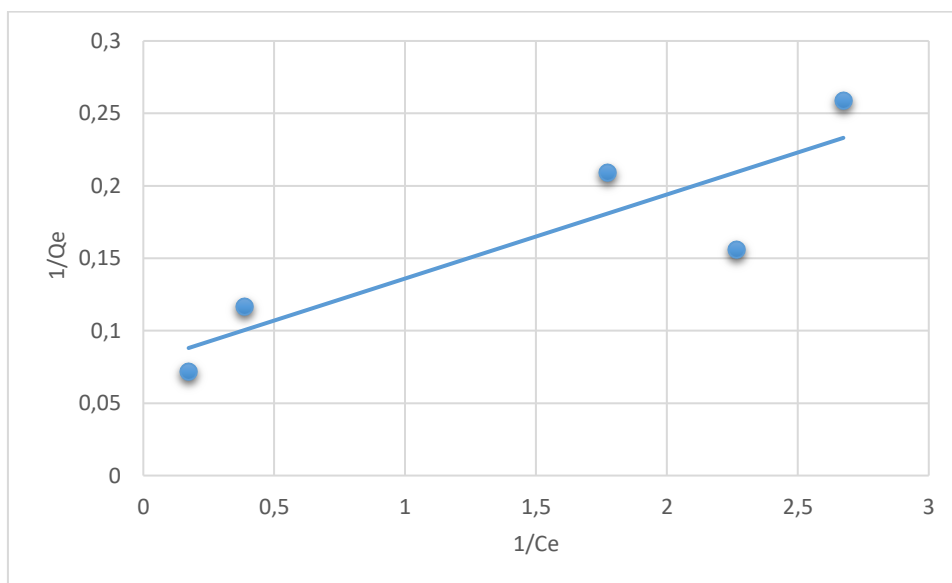
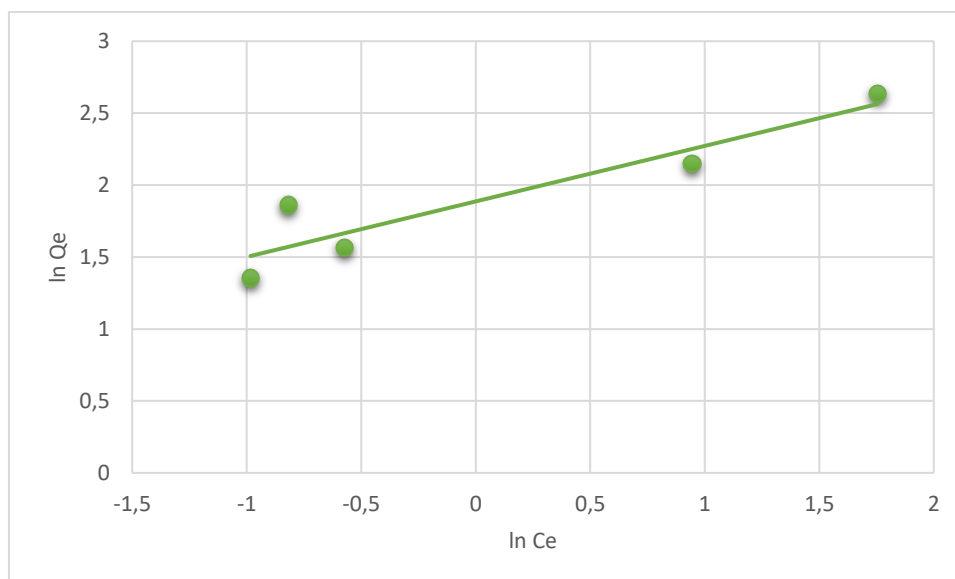


Figura 33. Modelo de Freundlich para o CAE 28 mesh



Os resultados dos parâmetros da isoterma de Langmuir e Freundlich, obtidos pela regressão linear estão contidos na Tabela 8.

Tabela 10. Parâmetros de Langmuir e Freundlich para o CAE 28 mesh

Langmuir			Freundlich		
b (L.mg ⁻¹)	Qm (mg.g ⁻¹)	R ²	K _F (mg.g ⁻¹)(mg.L ⁻¹)	n	R ²
0,74352	12,8182	0,7761	6,5966	2,5927	0,8684

Tomando apenas os valores de R² não fica evidenciado qual dos modelos se ajusta melhor aos dados experimentais de adsorção do CAE 10, CAC 10 e CAC 28, entretanto nota-se que o no que diz respeito ao ajuste dos pontos na reta, o modelo de Freundlich mostra-se mais representativo do que o de Langmuir. Apresentando resultado similar aos trabalhos de *Mangueira (2014)* e *Cambuim (2009)*.

O fator *n* que representa a intensidade de adsorção obtido pela linearização do modelo de Freundlich, e expressa a força de ligação entre o carvão e o paracetamol e pela observação das Tabelas 8, 9 e 10 vemos que o CAC 10 possui maior força de ligação com o fármaco quando comparado com o CAE 10 e CAE 28. Em observação dos valores de K_F nas Tabelas 8, 9 e 10, sabe-se que quanto maior seu valor maior a capacidade de adsorção do adsorbato pelo adsorvente, sendo assim vemos que o CAE 28 mesh é o que possui a maior capacidade de adsorção. Esta análise apenas complementa o que já foi discutido neste trabalho.

4.2.4. Modelos cinéticos

Para os ensaios cinéticos envolvendo a adsorção do paracetamol utilizando o endocarpo de coco como adsorvente, foram testados os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, conforme a forma integrada desses modelos apresentados pelas Equações 7 e 9, respectivamente.

Os modelos de pseudo-primeira ordem e de pseudo-segunda ordem para carvões ativados utilizados para a adsorção, na quantidade de 0,8 g do adsorvente, são apresentados nas Figuras a seguir.

Figura 34. Modelo cinético de pseudo-primeira ordem para o CAE 10 mesh

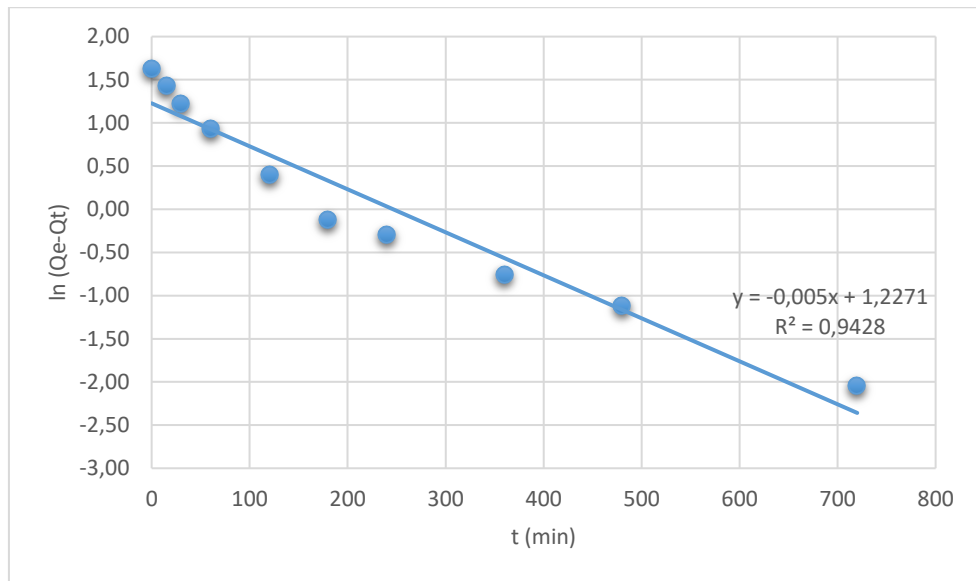
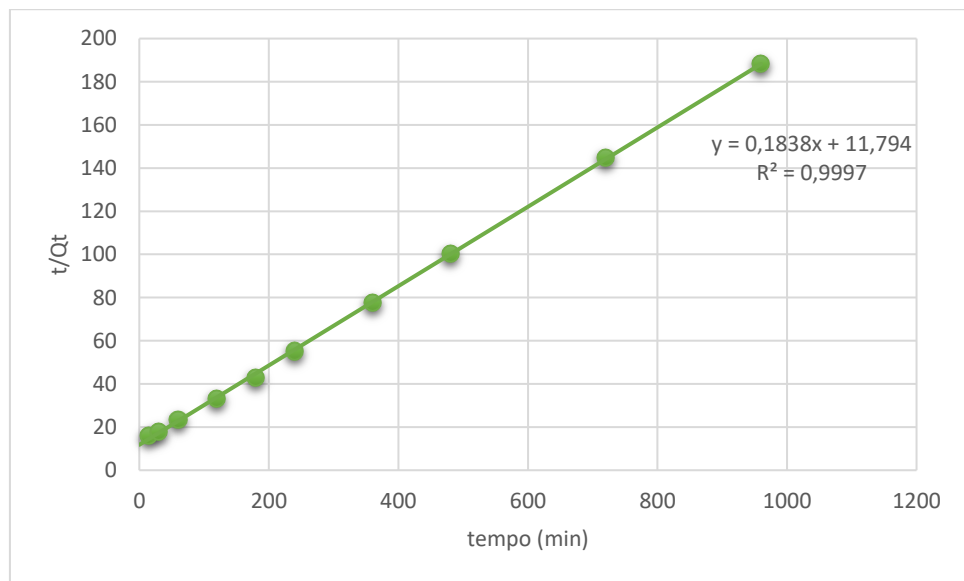


Figura 35. Modelo cinético de pseudo-segunda ordem para o CAE 10 mesh



Observado as Figuras 34 e 35, é possível notar que o modelo cinético que melhor se ajusta ao CAE 10 mesh é o modelo de pseudo-segunda ordem ($R^2=0,9997$), devido a distribuição uniforme dos dados experimentais ao longo da reta. A equação da reta e o coeficiente de correlação do modelo de pseudo-segunda ordem estão dispostos na Figura 35.

Com os dados obtidos, contidos no Apêndice B2, foi possível obtermos os parâmetros para o modelo cinético de pseudo-segunda ordem, conforme a Tabela 11.

Tabela 11. Parâmetros do modelo de pseudo-segunda ordem para o CAE 10mesh

Parâmetros pseudo-segunda ordem	
Qe (mg.g ⁻¹)	k ₂ (g.mg ⁻¹ .min ⁻¹)
5,44	5,2 x10 ⁻⁴

A Tabela 11 mostra que a capacidade de adsorção do CAE 10 mesh é 5,44 mg. g⁻¹, mostrando-se muito próximo do Qe obtido experimentalmente para 960 min (5,10 mg. g⁻¹), conforme o Apêndice B2. Desta forma, vemos que o modelo de pseudo-segunda ordem pode representar o ensaio cinético de adsorção no CAE 10 mesh.

Figura 36. Modelo cinético de pseudo-primeira ordem para o CAC 10 mesh

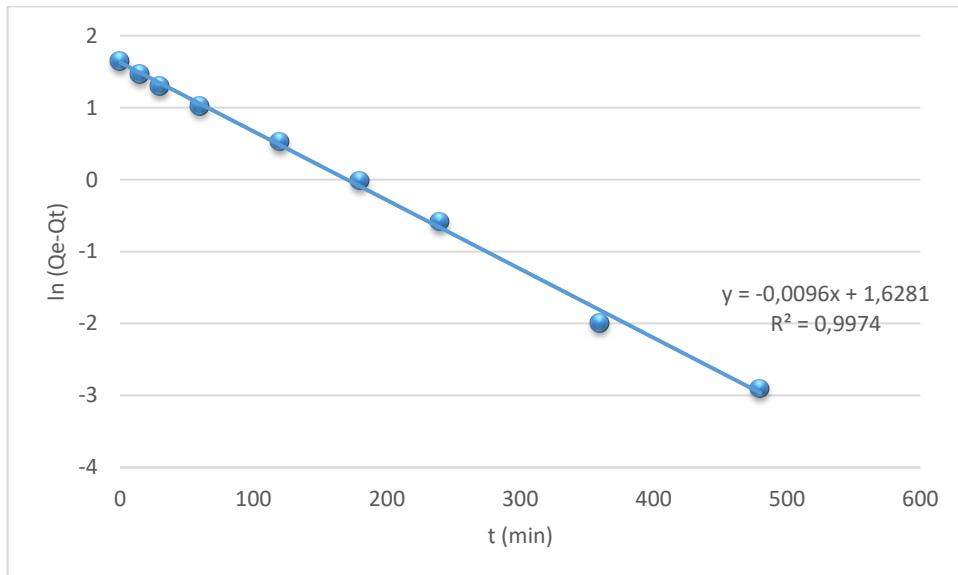
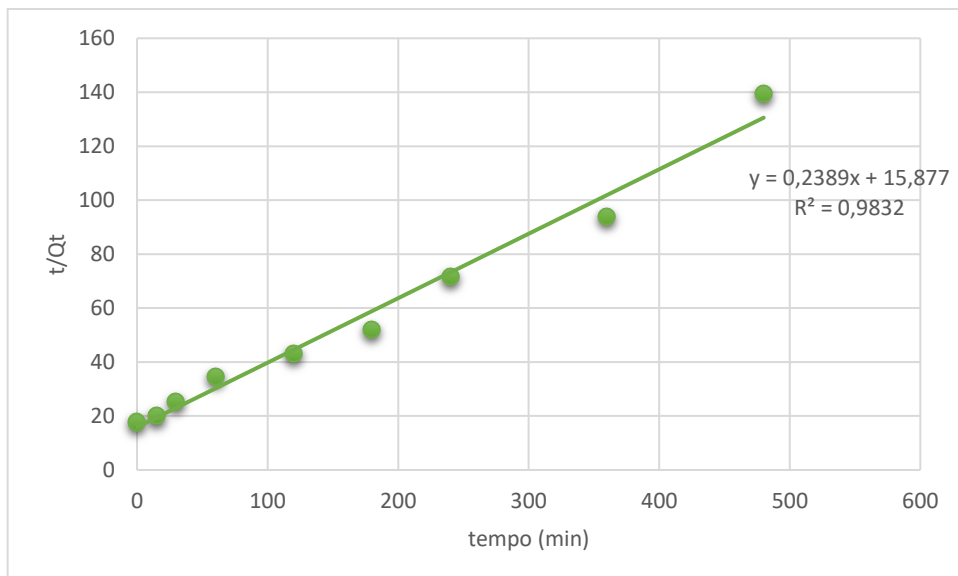


Figura 37. Modelo de pseudo-segunda ordem do CAC 10 mesh



Observado as Figuras 36 e 37, é possível notar que o modelo cinético que melhor se ajusta ao CAC 10 mesh é o modelo de pseudo-primeira ordem, devido a distribuição uniforme dos dados experimentais ao longo da reta ($R^2=0,9974$). A equação da reta e o coeficiente de correlação do modelo de pseudo-segunda ordem estão dispostos na Figura 36.

Com os dados obtidos, contidos no Apêndice B2, foi possível obtermos os parâmetros para o modelo cinético de pseudo-primeira ordem, conforme a Tabela 12.

Tabela 12. Parâmetros de pseudo-primeira ordem para o CAC 10 mesh.

Parâmetros pseudo-primeira ordem	
Q_e ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	k_1 (min^{-1})
5,0942	0,0221

A Tabela 12 mostra que a capacidade de adsorção do CAC 10 mesh é $5,0942 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, mostrando-se muito próximo do Q_e obtido experimentalmente para o intervalo de tempo 480 minutos ($5,1068 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) conforme o Apêndice B2. Desta forma, vemos que o modelo de pseudo-primeira ordem pode representar o ensaio cinético de adsorção no CAC 10 mesh.

Figura 38. Modelo de pseudo-primeira ordem para o CAE 28 mesh

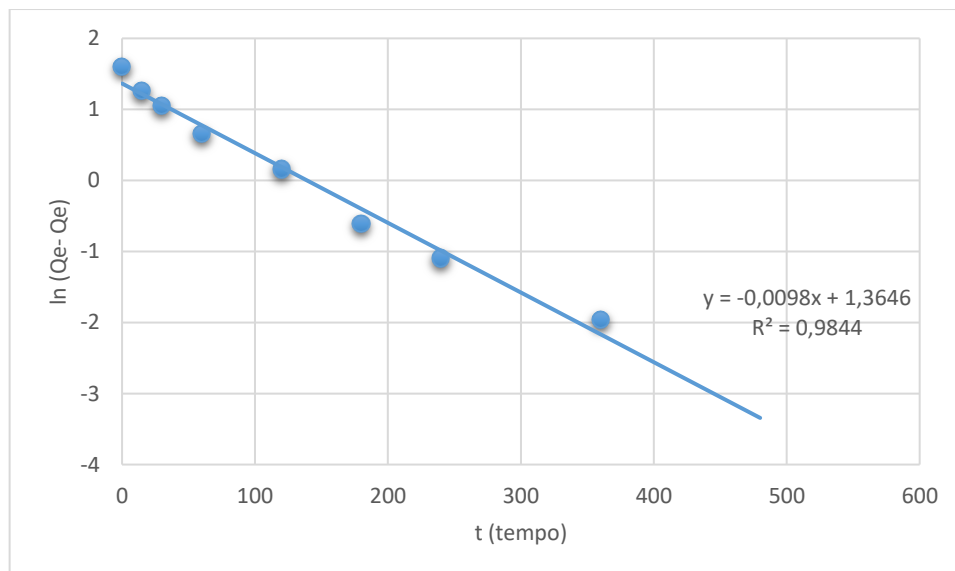
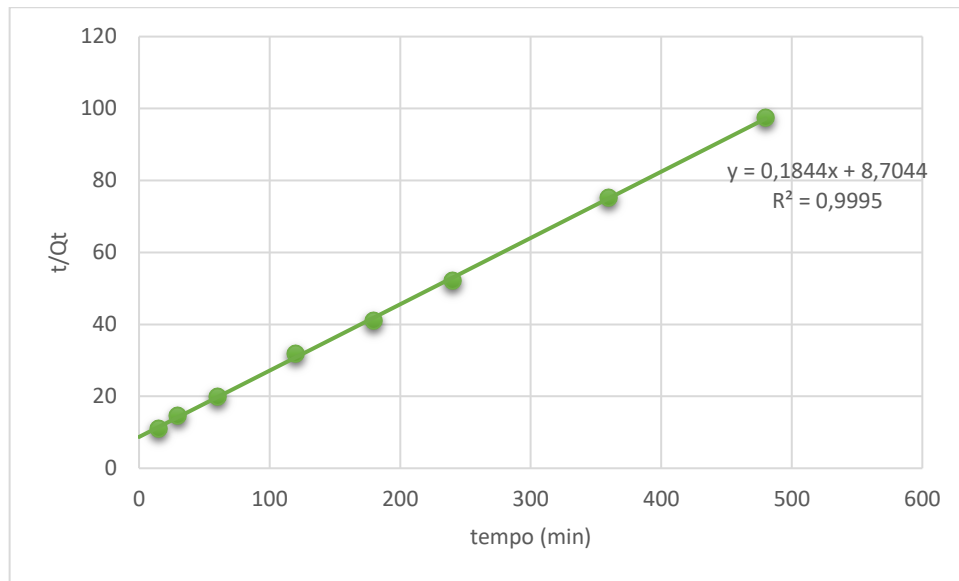


Figura 39. Modelo de pseudo-segunda ordem para o CAE 28mesh.



Observado as Figuras 38 e 39, é possível notar que o modelo cinético que melhor se ajusta ao CAE 28 mesh é o modelo de pseudo-segunda ordem ($R^2=0,9997$), devido a distribuição uniforme dos dados experimentais ao longo da reta. A equação da reta e o coeficiente de correlação do modelo de pseudo-segunda ordem estão dispostos na Figura 39.

Com os dados obtidos, contidos no Apêndice B2, foi possível obtermos os parâmetros para o modelo cinético de pseudo-segunda ordem, conforme a Tabela 13.

Tabela 13. Parâmetros de pseudo-segunda ordem para o CAE 28 mesh

Parâmetros pseudo-segunda ordem	
Qe (mg.g ⁻¹)	k ₂ (mg.g ⁻¹ .min ⁻¹)
5,422	7,2 x 10 ⁻⁴

A Tabela 13 mostra que a capacidade de adsorção do CAE 28 mesh é 5,422 mg. g⁻¹, mostrando-se próximo do Qe obtido experimentalmente para o intervalo de tempo 480 minutos (4,92mg. g⁻¹) conforme o Apêndice B2. Desta forma, vemos que o modelo de pseudo-segunda ordem pode representar o ensaio cinético de adsorção no CAE 28 mesh.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados obtidos das caracterizações superficiais dos carvões ativados produzidos a partir do endocarpo de coco, conclui-se que a planejamento, programação e ativações forneceram carvões com áreas superficiais BET elevadas: de 1046,93 a 1473,95 m².g.

A análise granulométrica forneceu uma relação diretamente proporcional entre a granulometria e a área superficial BET e inversamente proporcional a densidade aparente.

O formato característico das isotermas de adsorção de nitrogênio para os carvões ativados produzidos a partir do endocarpo de coco foi classificado como favorável indicando elevada transferência de massa por adsorção mesmo em baixas concentrações do adsorbato, mostrando-se positivo ao estudo realizado, já que os fármacos se encontram em baixas concentrações no meio ambiente.

O espectro na região do infravermelho (FT-IR) para o carvão ativado produzido a partir do endocarpo do coco indicam a presença de grupos hidroxila e carbonilas em sua estrutura, de modo que estes possuem alta afinidade química com o paracetamol favorecendo a adsorção.

Em comparação dos ensaios de adsorção em granulometrias diferentes, percebeu-se que uma granulometria menor possui maior capacidade adsorptiva. Em 480 minutos de adsorção o CAE 10 mesh tinha removido 89,12% do paracetamol contido na solução sintética enquanto o CAE 28 mesh já havia removido todo o paracetamol da solução.

Com relação a efetividade da adsorção o CAE 28 mesh mostrou-se superior ao carvão comercial, que por sua vez foi mais efetivo do que o CAE 10 mesh.

No estudo dos modelos de isotermas, vimos que o modelo mais representativo para os carvões estudados foi o de Freundlich.

Por fim, pudemos observar que as cinéticas de adsorção do carvão ativado produzido a partir do endocarpo de coco, comportam-se conforme o modelo de pseudo-segunda ordem enquanto o carvão comercial comporta-se conforme o modelo de pseudo-primeira ordem.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os modelos de isotermas de adsorção caracterizados neste trabalho não foram representativas o suficiente para comprovar qual se ajusta ao carvão ativado de endocarpo de coco, diante disso sugere-se o teste de novos modelos como: difusão intrapartícula, modelo de Sips, etc.

O difratograma de raio-X confirmou a estrutura amorfa do carvão ativado deixando abertura para os próximos trabalhos a abertura para a análise de Fluorescência de Raios -X (FRX) para quantificar possíveis minerais que possam existir, mesmo em quantidades irrisórias.

Sugere-se também a aplicação para outros fármacos diferentes como a nimesulida, diclofenaco e dipirona, para verificar se o comportamento do carvão ativado na adsorção se mantém.

Visando um maior contato com a Engenharia Química, pode-se estudar o comportamento da adsorção em um reator tubular do tipo *plug flow reactor (PFR)* de regime contínuo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, C. M. *et.al* **Hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) utilizando celulases produzidas pelo fungo *Aspergillus niger***. Anais do I Seminário Internacional de Ciência, Tecnologia e Ambiente, Paraná. 2009.
- AQUINO, F. S.; BRANDT, E. M. F.; CHERNICHARO, C.A.L. **Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura**. Eng. Sanit Ambient.v.18, n. 3. 187-204.2013.
- AMÉRICO, J. H. P.; MINILLO, A.; CARVALHO, S.L. **Detecção do analgésico paracetamol no córrego da onça, três lagoas- MS**. VII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 12, 2012, p.38, 47.
- ARAÚJO, A. J. P. **Utilização de caranguejo e sisal como bioadsorventes na remoção de óleo**. 2017.72p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba. João pessoa. 2017
- ARAÚJO, N. M. C. **Influência do fármaco paracetamol no processo de digestão anaeróbica de efluentes**. 2016.34f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Associação Caruaruense de Ensino Superior e Técnico. Caruaru, p.5.2016.
- ATKINS, P. W. **Físico-química**. 7 ed. Rio de Janeiro: LT, 2004. v.2, p. 427.
- AZIZIAN, S. **Kinetic Models of Sorption: a Theoretical Analysis**. Journal of Colloid and Interface Science.v. 276, p. 47-52, 2004.
- BATISTA, T. S. **Estudo de adsorção de metais pesados em efluentes utilizando a casca da tangerina como biomassa adsorvente**.2014.49f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande. 2014.
- BEZERRA, A. F. **Carvão ativado de endocarpo de coco da baía produzido em forno micro-ondas**.2012. 55p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João pessoa, p.13, 2012.
- BILA, D.M. **Degradação e remoção da atividade estrogênica do desregulador endócrino 17β-estradiol pelo processo de ozonização**. 2005.281f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
- BONNATO, I. C. **Remoção de H₂S através de adsorção por carvão ativado**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. 165f. Florianópolis.2013.
- BORBA, C. E. **Modelagem da remoção de metais pesados em coluna de adsorção de leito fixo**. 2006.145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- BORRELY, I.S. *et. al*. **Contaminação de águas por resíduos de medicamentos: ênfase ao cloridrato de fluoxetina**. O Mundo da Saúde, São Paulo, v.34, n.4, 556-663, 2012.

BRASIL, Lei n.12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; Altera a Lei n. 9605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, de 03 de agosto de 2010.

BRASIL, Resolução RDC n° 17, de 16 de abril de 2010. Aprova os “ **Requisitos para verificação e cumprimento das Boas Práticas de Fabricação de medicamentos**”. Órgão emissor: ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em <www.anvisa.gov.br> (Acesso em 18 de outubro de 2018).

BRASIL, Resolução RDC n° 306, de 07 de dezembro de 2004. Aprova os “ **Regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde**”. Órgão emissor: ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em <www.anvisa.gov.br> (Acesso em 18 de outubro de 2018).

BROWN, G. G. **Operaciones básicas de la ingeniería química**. Espanha, Editora Marin S.A. 1965.

CAMBUIM, K. B. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com H₃PO₄ e fisicamente com vapor d’água: produção, caracterização e aplicações**. 2009.137p. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

CASTIGLIONI, S. *et al* **Methodological approaches for studying pharmaceuticals in the environment by comparing predicted and measured concentrations in River Po, Italy**. Regulatory Toxicology and Pharmacology, v. 39, p.25-32, 2004.

CHIARELO, M. **Análise dos fármacos enalapril, metformina, paracetamol, tetraciclina e seus produtos de degradação por UHPLC-MS/MS após processo de tratamento biológico associado a membranas em efluente hospitalar**. 2014. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) -Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul.p.21.2014.

CHRISTENSEN, F.M. **Pharmaceutical in the environment-a human risk**. Regulatory Toxicology and Pharmacology, Maryland Heights, v.28, n. 3, p. 212-221, 1998.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**.2003.90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 11. 2003.

COSTA, A. S.; COSTA, M. S. **Poluentes farmacêuticos: a poluição silenciosa**. Jornal Eletrônico, Faculdades Integradas Vianna Júnior, Ano III, ed. I. 2011. Disponível em <http://portal.viannajr.edu.br/files/uploads/20140221_095032.pdf> (Acesso em 10 de outubro de 2018).

COSTA, L.F. *et.al*. **Utilização de Biocarvão e Processos Oxidativos Avançados para Remoção do Propranolol de Efluentes Aquosos Simulados**. Revista Virtual de Química,2018,10(2), 295-312.

COSTA, P.D.; FURMANSKI, L.M.; DOMINGUINI, L. **Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de Casca de Nozes para adsorção e azul de metileno.** Revista Virtual de Química.v.7, n.4.p.1272-1285.2015.

DAUGHTON, C.; TERNES, T. **Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agentes of subtle change?** Environmental Health Perspectives, 107 (supl. 6):907-938, 1999.

FENT, K.; WESTON, A.A.; CAMINADA, D. **Ecotoxicology of human pharmaceuticals.** Aquatic Toxicology. 2006; 76:122-159.

FREITAS, J. A. B. **Medicamentos isentos de prescrição: perfis de consumo e os riscos tóxicos do paracetamol.** Revinter, v. 10, n. 3, p. 134-154, 2017.

GIL, E.S.; MATHIAS, R.O. **Classificação e riscos associados aos resíduos químicos farmacêuticos.** Revista Eletrônica de Farmácia, v. 2, n. 2, p. 87-93, 2005.

HARO, N. K. **Remoção dos fármacos atenolol, paracetamol e ampicilina por adsorção em carvão ativado.** 2017.130f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. p. 6 , 2017.

LIBERAL, J. P. M. **Desenvolvimento e caracterização de comprimidos matriciais de dupla camada contendo o paracetamol.** 2008.98f. Dissertação (Mestrado em Controle de Qualidade) – Universidade do Porto. p. 27-28. 2008.

LOPES, J.; MATHEUS, M. E. **Risco de hepatotoxicidade do Paracetamol (Acetaminofem).**2012. Revista Brasil Farm. 93(4):411-414, 2012.

LOPES, C. W. *et.al.* **Síntese e caracterização de carvões ativados derivados do sabugo de milho.** PERSPECTIVA, Erechim. v. 38, n. 139, p. 27-35, 2013.

LÚCIA, H. *et. al.* **Síntese dos analgésicos paracetamol e fenacetina e do adoçante dulcina: um projeto para química orgânica experimental.** Química Nova. São Paulo, v.26, n.2, 284-286, 2003.

MACIEL, S. E. L. **Avaliação da adsorção de manganês na zeólita sintética ZSM-5 antes e após sua utilização como catalizador do craqueamento do petróleo.**2012. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.2012.

MANGUEIRA, E.S.V. **Produção de carvão ativado a partir de Endocarpo de Coco da Baía (*Cocos nucifera*) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin.** 2014,103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, p.14, 2014.

MEDEIROS, L. L. **Remoção de cobre (II) de soluções aquosas por carvões ativados de bagaço de cana-de-açúcar e endocarpo de coco da baía isentos de tratamentos químicos superficiais.**2008.99p. Tese (Doutorado em Química Analítica) -Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

Merck - Index online: An encyclopedia of chemical, drugs and biologicals. Disponível em: <<https://www.rsc.org/Merck-Index/>> (Acesso em 07 de outubro/2018).

Ministério da Saúde. Portaria n.1555, de 27 de julho de 2007. Institui o Comitê Nacional para **Promoção do Uso Racional de Medicamentos.**

MONDAL, P.; BALOMAJUMDER, C.; MOHANTY, B. **A laboratory study for the treatment of arsenic, iron and manganese bearing ground water using Fe³⁺ impregnated activated carbon: Effectes of shaking time, pH and temperature.** Journal of Hazardous Materials, 144:420, 2007.

MORAIS, E. D. **Produção de carvão ativado a partir de mesocarpo de coco-da-baía (*Cocos nuciferalinn*) utilizando H₃PO₄, CH₃COONa e KOH como ativantes.**2014. 58f.Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2014.

MONTAGNERA, C.C.; VIDALA, C.; ACAYABAB, R.D. **Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas no Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios.** Química Nova, São Paulo, v. 40, n. 9, 1094-1110, 2017.

NASCIMENTO, R. F. *et al.* **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Imprensa Universitária,256p. Fortaleza, 2014.

NUNES, B. **A presença de fármacos no meio ambiente.** Acta farmacêutica Portuguesa, v.1, n.1, p. 43-54, 2011.

PÁDUA, V. L. *et.al* **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano.** 1º Edição: Rio de Janeiro: ABES,2009.391folhas.

PANICO, R.; POWELL, W. H.; RICHER, J. C. **A guide to IUPAC nomenclature of organic compounds.** 2. ed: Blackwell Scientific Publications; 1993.p.190

PARANÁ. Lei n.13039, de 11 de janeiro de 2001. Dispoe: **é responsabilidade das indústrias farmaceuticas e das empresas de distribuição de medicamentos, dar destinação adequada a medicamentos com prazos de validade vencidos e adota outras providências.** Diário Oficial, n. 5904, de 12 de janeiro de 2001.

PASSOS, P. R. A. **Destinação sustentável de casca de coco verde (*Cocos nucifera*): obtenção de telhas e chapas de partículas.** 2005.186p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

PAZ, E. C. S. *et al.* **Alternativa de exploração sustentável dos resíduos do coco verde para a produção de energia.** Revista brasileira de energias renováveis, v. 6, n.2, p.318-345, 2017.

PEGO, M. F. F. **Modificação superficial de carvão ativado utilizando o tratamento corona.**2016. 77f. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia da madeira) - Universidade Federal de Lavras. p. 11. 2016

PEREIRA, C. L. **Aproveitamento do resíduo de coco verde para produção de compósitos destinados a construção rural.**2012. 137f. Tese (Doutorado em Zootecnia) –Universidade de São Paulo, Pirassununga. p.23-24.2012.

RANDLES, D. *et al* **Acetaminophen attenuates error evaluation in córtex.** Social Cognitive and Affetive Neuroscience, v. 11, n. 6, p. 899-906, 2016.

RAIMUNDO, C. C. M. **Ocorrência de interferentes endócrinos e produtos farmacêuticos nas águas superficiais da bacia do rio Atibaia.** Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Universidade Estadual de Campinas, p.138, Campinas, 2007.

RHEINHEIMER, M.O.W. **Remoção de paracetamol por adsorção em carvão ativado: processo em batelada e coluna de leito fixo.**2016. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016.

ROSA, I. D. A. **Remoção dos herbicidas diuron e hexazinona de água superficial no tratamento em ciclo completo com adsorção em carvão ativado granular.** Dissertação (Mestrado), Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP. Ribeirão Preto, 2008.

SANTOS, F. M. S. *et.al* **Levantamento de dados da geração de resíduos de coco verde na cidade de João Pessoa.** Congresso Nacional de pesquisa e ensino em ciências- CONAPESC.2016

SILVA, N.C. **Remoção de Antibióticos da água por meio de processo de adsorção em carvão ativado.** 2012, 95f. Dissertação (Mestrado em Química de Materiais) - Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, p.17.2012.

SOARES, A. G. **Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina.**2001.136f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas. p. 36. 2001.

TAMBOSI, J. L. *et.al.* **Recente research data n removal of pharmaceuticals from sewage treatmente plants (STP).** Química nova, São Paulo, v.33, p.411-420, 2010.

UFPB, **Laboratório de Carvão ativado.** Site. Disponível em <<http://calaboratorio.wixsite.com/ufpb/sub-equipamentos>> (Acesso em 12 de outubro de 2018).

USEPA. **Endocrine disruptor screening program.** Second list chemicals for tier 1 screening. 2010.

VICENTE, G.H.L. **Desenvolvimento e validação de um método analítico para determinação dos fármacos diclofenaco, nimesulida e paracetamol em águas superficiais da cidade de São Carlos – SP.** 2011, 67f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de Química de Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos. p.14, 2011

APÊNDICE

APÊNDICE A – ABERTURA DAS MALHAS DAS PENEIRAS TYLER

Número de malhas	Abertura (mm)	Abertura (in)
2 ½	7,925	0,312
3	6,68	0,263
3 ½	5,613	0,221
4	4,699	0,185
5	3,962	0,156
6	3,327	0,131
7	2,794	0,11
8	2,362	0,093
9	1,981	0,078
10	1,651	0,065
12	1,397	0,055
14	1,168	0,046
16	0,991	0,039
20	0,833	0,0328
24	0,701	0,0276
28	0,589	0,0232
32	0,495	0,0195
35	0,417	0,0164
42	0,351	0,0138
48	0,295	0,0116
60	0,248	0,0098
65	0,208	0,0082
80	0,175	0,0069
100	0,147	0,0058
115	0,124	0,0049
150	0,104	0,0041
170	0,088	0,0035
200	0,074	0,0029
230	0,061	0,0024
270	0,053	0,0021
325	0,043	0,0017
400	0,038	0,0015

FONTE: BROWN,1965.

APÊNDICE B1-VALORES DO PERCENTUAL DE REMOÇÃO DO PARACETAMOL PELOS DIFERENTES CARVÕES EM DIFERENTES MASSAS.

TIPO	0,2 g		0,4 g		0,6 g		0,8 g		1,0 g	
	t (min)	%ADS	t (min)	%ADS	t (min)	%ADS	t (min)	%ADS	t (min)	%ADS
Carvão Ativado Endocarpo de coco a 10 mesh	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	15	9,03%	15	15,85%	15	19,94%	15	17,46%	15	18,33%
	30	12,98%	30	19,80%	30	27,11%	30	31,44%	30	33,00%
	60	21,93%	60	30,03%	60	36,15%	60	47,65%	60	49,90%
	120	33,99%	120	37,21%	120	51,36%	120	67,22%	120	70,74%
	180	42,98%	180	47,51%	180	62,34%	180	78,62%	180	78,81%
	240	48,18%	240	55,16%	240	70,79%	240	81,29%	240	90,97%
	360	56,74%	360	66,83%	360	80,64%	360	86,44%	360	97,73%
	480	62,50%	480	73,93%	480	86,53%	480	89,12%	480	98,53%
	720	69,11%	720	80,88%	720	92,61%	720	92,79%	720	99,47%
960	74,90%	960	86,35%	960	94,68%	960	95,20%	960	99,95%	
Carvão Ativado comercial a 10 mesh	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	15	2,69%	15	7,01%	15	13,54%	15	16,41%	15	16,62%
	30	9,03%	30	15,77%	30	27,86%	30	29,11%	30	30,06%
	60	15,13%	60	19,53%	60	39,93%	60	46,22%	60	47,23%
	120	22,84%	120	36,69%	120	60,52%	120	67,33%	120	67,65%
	180	30,47%	180	42,96%	180	75,75%	180	80,86%	180	82,06%
	240	44,05%	240	52,20%	240	86,42%	240	89,22%	240	92,78%
	360	52,79%	360	65,13%	360	94,73%	360	97,36%	360	98,46%
	480	62,48%	480	73,47%	480	98,82%	480	98,94%	480	100,00%
	720	77,71%	720	86,30%	720	100,00%	720	100,00%	720	100,00%
960	84,67%	960	92,93%	960	92,93%	960	92,93%	960	92,93%	
Carvão Ativado Endocarpo de coco a 28 mesh	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	15	11,53%	15	6,28%	15	25,43%	15	27,84%	15	28,62%
	30	22,88%	30	22,09%	30	43,56%	30	41,79%	30	46,47%
	60	32,06%	60	35,10%	60	62,66%	60	60,95%	60	71,23%
	120	46,59%	120	51,66%	120	79,12%	120	76,22%	120	87,62%
	180	56,29%	180	70,90%	180	90,27%	180	89,02%	180	94,19%
	240	61,64%	240	78,00%	240	92,24%	240	93,21%	240	95,23%
	360	70,67%	360	86,94%	360	97,76%	360	97,14%	360	98,10%
	480	83,37%	480	93,17%	480	98,86%	480	100,00%	480	100,00%
	720	86,76%	720	97,89%	720	100,00%	720	100,00%	720	100,00%
960	90,91%	960	98,63%	960	98,63%	960	98,63%	960	98,63%	

APÊNDICE B2 – VALORES DE QE E CE EM FUNÇÃO DO TEMPO E CONTATO.

TIPO	0,2 g			0,4 g			0,6 g			0,8 g			1,0 g		
	t (min)	Ce (mg.L ⁻¹)	Qe (mg.g ⁻¹)	t (min)	Ce (mg.L ⁻¹)	Qe (mg.g ⁻¹)	t (min)	Ce (mg.L ⁻¹)	Qe (mg.g ⁻¹)	t (min)	Ce (mg.L ⁻¹)	Qe (mg.g ⁻¹)	t (min)	Ce (mg.L ⁻¹)	Qe (mg.g ⁻¹)
Carvão Ativado Endocarpo de coco a 10 mesh	0	21,435	0,00	0	21,435	0,00	0	21,435	0,00	0	21,435	0,00	0	21,435	0,00
	15	19,5	1,94	15	18,038	1,70	15	17,16	1,43	15	17,692	0,94	15	17,506	0,79
	30	18,653	2,78	30	17,19	2,12	30	15,623	1,94	30	14,696	1,68	30	14,361	1,41
	60	16,734	4,70	60	14,999	3,22	60	13,687	2,58	60	11,222	2,55	60	10,739	2,14
	120	14,149	7,29	120	13,46	3,99	120	10,427	3,67	120	7,026	3,60	120	6,271	3,03
	180	12,223	9,21	180	11,252	5,09	180	8,072	4,45	180	4,582	4,21	180	4,542	3,38
	240	11,108	10,33	240	9,611	5,91	240	6,261	5,06	240	4,01	4,36	240	1,936	3,90
	360	9,273	12,16	360	7,109	7,16	360	4,15	5,76	360	2,906	4,63	360	0,487	4,19
	480	8,039	13,40	480	5,589	7,92	480	2,887	6,18	480	2,332	4,78	480	0,315	4,22
	720	6,621	14,81	720	4,098	8,67	720	1,583	6,62	720	1,546	4,97	720	0,113	4,26
960	5,38	16,06	960	2,925	9,26	960	1,141	6,76	960	1,029	5,10	960	0,011	4,28	
Carvão Ativado comercial a 10 mesh	0	20,646	0	0	20,646	0	0	20,646	0	0	20,646	0	0	20,646	0
	15	20,091	0,555	15	19,199	0,7235	15	17,85	0,932	15	17,257	0,8473	15	17,214	0,6864
	30	18,781	1,865	30	17,391	1,6275	30	14,895	1,917	30	14,636	1,5025	30	14,439	1,2414
	60	17,523	3,123	60	16,613	2,0165	60	12,403	2,7477	60	11,103	2,3858	60	10,894	1,9504
	120	15,93	4,716	120	13,071	3,7875	120	8,152	4,1647	120	6,745	3,4753	120	6,679	2,7934
	180	14,355	6,291	180	11,776	4,435	180	5,007	5,213	180	3,951	4,1738	180	3,704	3,3884
	240	11,551	9,095	240	9,869	5,3885	240	2,804	5,9473	240	2,225	4,6053	240	1,49	3,8312
	360	9,747	10,899	360	7,199	6,7235	360	1,088	6,5193	360	0,545	5,0253	360	0,317	4,0658
	480	7,746	12,9	480	5,477	7,5845	480	0,244	6,8007	480	0,219	5,1068	480	0	4,1292
	720	4,603	16,043	720	2,829	8,9085	720	0	6,882	720	0	5,1615	720	0	0
960	3,165	17,481	960	1,459	9,5935	960	0	0	960	0	0	960	0	0	
Carvão Ativado Endocarpo de coco a 28 mesh	0	19,707	0	0	19,707	0	0	19,707	0	0	19,707	0	0	19,707	0
	15	17,435	2,272	15	18,47	0,6185	15	14,696	1,6703	15	14,221	1,3715	15	14,067	1,128
	30	15,198	4,509	30	15,353	2,177	30	11,123	2,8613	30	11,472	2,0388	30	10,549	1,8316
	60	13,388	6,319	60	12,789	3,459	60	7,359	4,116	60	7,696	3,0028	60	5,669	2,8076
	120	10,525	9,182	120	9,526	5,0905	120	4,114	5,1977	120	4,686	3,7553	120	2,44	3,4534
	180	8,614	11,093	180	5,734	6,9865	180	1,918	5,9297	180	2,163	4,386	180	1,145	3,7124
	240	7,559	12,148	240	4,335	7,686	240	1,53	6,059	240	1,338	4,5923	240	0,94	3,7534
	360	5,781	13,926	360	2,573	8,567	360	0,441	6,422	360	0,564	4,7858	360	0,374	3,8666
	480	3,277	16,43	480	1,346	9,1805	480	0,224	6,4943	480	0	4,9268	480	0	3,9414
	720	2,609	17,098	720	0,416	9,6455	720	0	6,569	720	0	0	720	0	0
960	1,792	17,915	960	0,27	9,7185	960	0	0	960	0	0	960	0	0	