

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
3º ETIM QUÍMICA**

**BRUNA KETRINE URBANO
GEOVANA AGOSTINETTO LEITE
GUSTAVO BERNARDO JUSTO**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES TIPOS
DE ADSORVENTES DE DETERGENTES PARA RESIDÊNCIAS ECOLÓGICAS**

**ORIENTADOR: PROF^a DRA. GISLAINE APARECIDA BARANA DELBIANCO
COORIENTADOR: PROF^o DR. SÉRGIO DELBIANCO FILHO**

LIMEIRA-SP

2021

**BRUNA KETRINE URBANO
GEOVANA AGOSTINETTO LEITE
GUSTAVO BERNARDO JUSTO**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES TIPOS
DE ADSORVENTES DE DETERGENTES PARA RESIDÊNCIAS ECOLÓGICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como exigência parcial para obtenção do título de Técnico em Química pela Escola Técnica Trajano Camargo.

Orientadora: Dra. Prof^a Gislaine Aparecida Barana Delbainco

**LIMEIRA-SP
2021**

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer

Às nossas famílias, que nos apoiou durante esses três anos do técnico em química.

À Dra. Prof^a Gislaine Aparecida Barana Delbianco, que sempre esteve com a gente e nos apoiou e acreditou no nosso potencial, mesmo quando não acreditávamos. Que nos auxiliou e nos incentivou a correr atrás dos nossos objetivos e metas.

Ao Dr. Prof^o Sérgio Delbianco Filho, por ser nosso coorientador, que nos orientou sobre nosso projeto e nos ajudou com questões técnicas e procedimentos.

À professora Margarete Galzerano Francescano pelo auxílio durante as aulas práticas.

Ao professor Reinaldo Blezer, que nos auxiliou com o manuseio de equipamentos durante as aulas práticas.

Ao professor Edivaldo Luis de Souza que nos transmitiu o conhecimento técnico dos equipamentos necessários para a realização deste trabalho.

À auxiliar docente Letícia Provinciatto pelo amparo durante as aulas práticas.

Aos amigos que sempre acreditaram em nosso potencial e no projeto, e nos ajudaram e confiaram em nós.

A todos que de maneira direta e indireta contribuíram com o desenvolvimento e finalização deste trabalho.

“Talvez não tenha conseguido o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”

(Martin Luther King)

RESUMO

Diariamente, os detergentes utilizado em residências, quando atingem o sistema de esgoto, acabam sendo despejado em rios e lagos, causando diversos efeitos nos corpos hídricos e na vida aquática. O processo de adsorção se mostra muito eficaz em várias situações, sendo possível produzir adsorventes de materiais sintéticos e naturais. O processo de adsorção química consiste em uma reação química envolvendo elétrons, alterando a forma molecular de substâncias. O ideal para o adsorvente é a utilização de materiais ricos em carbono ou biossorventes presentes em materiais sólidos, que são possíveis de encontrar em abundância na natureza. Dessa forma, o objetivo do projeto foi estudar as propriedades da pectina encontrada na casca de frutas, como maracujá-amarelo, além da produção de carvão ativado a partir da cana-de-açúcar, como o adsorvente do detergente. O carvão ativado apresentou granulometrias diferentes, entre 20-100 mesh, cada uma apresentando um rendimento diferente. No processo de filtração os resultados indicaram que a pectina apresentou um pH 5,37, abaixo do ideal para o consumo humano, enquanto o do carvão permaneceu na média de pH 7,3. Em relação a alcalinidade, o carvão teve o desempenho de 2 e 4 mg/L, quando o ideal era acima de 30 mg/L, mas em sua dureza, entre 30-50 mg/L, sendo considerada uma água mole, enquanto a pectina apresentou uma água dura de 130 mg/L. Desta forma, podemos afirmar que o carvão da cana apresentou os melhores resultados e indicam que novos estudos devem ser realizados em busca de uma extração ácida da pectina a vácuo, em busca de melhoria da qualidade dos íons.

Palavras-Chave: Detergente; adsorvente; pectina; carvão.

ABSTRACT

Daily, the detergents used in homes, when they reach the sewage system, are dumped into rivers and lakes, causing so many on water bodies and aquatic life. The adsorption process is very effective in several situations, being possible to produce adsorbents of synthetic and natural materials. The chemistry adsorption process is a chemical reaction involving electrons, changing the molecular form of substances. The ideal for the adsorbent is the use of carbon-rich materials or biosorbents that there's in solid materials, wich are possible to find on nature. This way, the purpose of this Project was to study the properties of pectin found in fruit peel, such passion fruit, in addition to the production of activated charcoal from sugarcane, as detergent from adsorbent. Activated charcoal presented differents particle sizes between 20-100 mesh, each presenting a different yield. The pectin filtrate presented a pH of 5.37, below ideal for human consumption, while that of coal remained at the mean of pH 7.3. Regarding alkalinity, coal had a performance of 2 and 4 mg/L, when the ideal was above 30 mg/L, but in its hardness, between 30-50 mg/L, being considered a soft water, while pectin presented a hard water of 130 mg/L. So, we can state the sugarcane charcoal presented the best results and indicate that future studies shold be carried out in search of na acid extraction of pectin in a vacuum, seeking to improve the quality of the íons.

Keywords: Detergent; adsorbent; pectin; charcoal.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Reação química para a formação do detergente	16
Figura 2 – Estrutura química de detergente não biodegradável	17
Figura 3 – Estrutura de um tensoativo	18
Figura 4 – Estrutura molecular de um tensoativo catiônico	20
Figura 5 – Estrutura molecular de um tensoativo aniônico	21
Figura 6 – Estrutura de um tensoativo neutro	21
Figura 7 – Estrutura molecular de um tensoativo anfótero	22
Figura 8 – Evolução das vendas de produtos de limpeza no Brasil.....	23
Figura 9 – Reação química do sabão	24
Figura 10 – Mecanismo de transporte do processo de adsorção	28
Figura 11 – Estrutura do grão de carvão ativado	29
Figura 12 – Adsorção em diferentes estados físicos	29
Figura 13 – Adsorção e absorção.....	39
Figura 14 – Micela	40
Figura 15 – Fluxograma da obtenção de açúcar e álcool a partir da cana	44
Figura 16 – Fluxograma das atividades experimentais	45
Figura 17 – Casca e entrecasca do maracujá	48
Figura 18 – Casca do maracujá-amarelo após preparação de amostra	52
Figura 19 – 1º extração Pectina no laboratório.....	53
Figura 20 – 2º Extração Pectina caseira	53
Figura 21 – 3º extração Entrecasca do maracujá	53
Figura 22 – Pectina de maracujá após o resfriamento	54
Figura 23 – 3º pectina após secagem em estufa	55
Figura 24 – Carvão de cana-de-açúcar feito em casa	55
Figura 25 – Resultado da separação granulométrica do carvão de cana-de-açúcar	56
Figura 26 – Processo de filtração do carvão de cana	57
Figura 27 – Comparação solução com água filtrada cana 20 mesh.....	58
Figura 28 – Comparação solução com água filtrada cana 65 mesh.....	58
Figura 29 – Escala de pH	59
Figura 30 – Ensaio de alcalinidade	60
Figura 31 – Ensaio de acidez.....	61
Figura 32 – Ensaio de dureza	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Enzimas	19
Tabela 2 – Medidas utilizadas no 1º processo de extração	46
Tabela 3 – Variante dos processos de extração	47
Tabela 4 – Granulometria das peneiras utilizadas	50
Tabela 5 – Variantes de pH dos meios filtrantes	51
Tabela 6 – Resultados da granulometria e pesagem do carvão ativado.....	56
Tabela 7 – Resultado do processo de filtração do carvão de cana.....	57
Tabela 8 – Comparação qualidade do pH da água	58
Tabela 9 – Análise de alcalinidade	60
Tabela 10 – Titulação para determinação de acidez do filtrado da pectina	60
Tabela 11 – Resultado da equação de Alcalinidade Total	61
Tabela 12 – Resultado da equação de Acidez Total	62
Tabela 13 – Análise de dureza.....	62
Tabela 14 – Resultado da equação de Dureza Total	63

LISTA DE SÍMBOLOS

x	Massa do soluto	34
m	Massa do adsorvente	34
KL	Constante de energia de ligação	34
C	Concentração de equilíbrio	34
bL	Quantidade máxima de soluto a ser adsorvido	34
KF	Constante empírica.....	34
bF	Constante empírica.....	34
V	Volume em mL da solução.....	61
Vb	Volume da base.....	61
C	Concentração	61
MM	Massa Molar	61
Va	Volume da amostra	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
2. OBJETIVO	14
2.1. Objetivo Geral	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. História do Detergente	15
3.2. Propriedades do Detergente	16
3.2.1. Como funciona o detergente	17
3.3. Componentes do Detergente	18
3.3.1. Tensoativos	18
3.3.2. Agentes coadjuvantes	19
3.3.3. Enzimas	19
3.4. Tipos de Detergente	20
3.4.1. Detergente catiônico	20
3.4.2. Detergente aniônico	20
3.4.3. Detergentes neutros	21
3.4.4. Detergentes anfóteros	22
3.5. Mercado de Detergente	22
3.6. Diferença de Sabão e Detergente	23
3.6.1. Estrutura típica do sabão	24
3.7. Impacto Ambiental	25
3.7.1. Problemas provocados pelo detergente em ETAs e ETES	26
3.7.2. Tratamentos Existentes	26
3.8. Adsorvente	27
3.8.1. Como funciona e como é usado	29
3.9. Processos de Adsorção	30
3.9.1. Adsorção física	30
3.9.2. Adsorção química	30
3.9.3. Adsorção em estado líquido	32
3.9.4. Dessorção	32
3.9.5. Adsorção e região interfacial	32
3.9.6. Isoterma de adsorção	33

3.9.7. Cinética de adsorção.....	34
3.10. Fatores que Influenciam o Processo de Adsorção	35
3.10.1. Área superficial	36
3.10.2. pH.....	36
3.10.3. Temperatura.....	36
3.11. Modelo de Langmuir	37
3.12. Modelo de Adsorção de Freundlich	38
3.13. Diferença entre Adsorvente e Absorvente	38
3.13.1. O que é um absorvente	38
3.13.2. Principais diferenças	39
3.14. Reações Químicas do Detergente	40
3.15. Reações do Adsorvente.....	40
3.15.1. Tratamento de água	40
3.15.2. Resíduos industriais.....	41
3.16. Adsorção e Biossorventes	41
3.16.1. Características relevantes	41
3.16.2. Pectina.....	42
3.16.3. Carvão ativado	42
3.16.4. Maracujá-amarelo	42
3.16.5. Cana-de-açúcar	43
4. MATERIAIS E MÉTODOS	45
4.1. Preparo das Amostras	45
4.2. Extração da Pectina do Maracujá	46
4.2.1. Separação da pectina do bagaço	46
4.2.2. Precipitação da pectina	48
4.2.3. Secagem das amostras da pectina	49
4.3. Carvão Ativado	49
4.3.1. Ensaio de granulometria	49
4.4. Ensaio para Medida de Eficiência dos Meios Filtrantes	50
4.4.1. Meio filtrante pectina	50
4.4.2. Meio filtrante carvão de cana	50
4.5. Análises dos Meios Filtrantes.....	50
4.5.1. Análise de pH.....	50
4.5.2. Análise de alcalinidade	51

4.5.3. Análise de dureza total da água	51
5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	52
5.1. Preparo das Amostras	52
5.2. Extração da Pectina do Maracujá	52
5.2.1. Separação da pectina do bagaço	52
5.2.2. Precipitação da pectina	53
5.2.3. Secagem das amostras da pectina	54
5.3. Carvão Ativado	55
5.4. Ensaio para Medida de Eficiência dos Meios Filtrantes	56
5.4.1. Meio filtrante pectina	56
5.4.2. Meio filtrante carvão de cana	57
5.5. Análises dos Meios Filtrantes	58
5.5.1. Análise de pH.....	58
5.5.2. Análise de alcalinidade	59
5.5.3. Análise de dureza total da água	62
6. CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS.....	66

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Diariamente, sabões e detergentes usados em residências e indústrias atingem o sistema de esgoto e, sem o devido tratamento, acabam sendo despejados em rios e lagos, onde causam diversos efeitos nocivos nos corpos hídricos e na vida aquática (OLIVEIRA, 2015).

Segundo a Equipe eCycle (2020), em sistemas dependentes do oxigênio para sobreviver, como rios e lagos, os agentes tensoativos presentes no detergente interferem nas taxas de aeração, pela redução superficial do meio, que faz com que as bolhas de ar tenham um menor tempo em contato com o meio. Além disso, a espuma formada na superfície impede a entrada de luz nos corpos d'água, que é essencial para a fotossíntese.

Outro problema que o detergente causa no meio ambiente é a interferência que provocam em aves. As aves aquáticas possuem uma camada de óleo natural nas penas, que as permitem boiar na água, mas quando esse revestimento entra em contato com o detergente na água, é removido, impedindo que essas aves consigam se manter na superfície e acabam se afogando (SALLES, 2014).

Por conta de sua ampla aplicação, os detergentes acabam indo parar no meio ambiente, promovendo a poluição de rios e solos. Seus tensoativos causam a espuma nos rios, afetando, além suas propriedades físico-químicas do solo, os seres vivos desse ecossistema, permanecendo no ambiente por longos períodos (FIGUEIREDO, 2017).

Na água existem microrganismos que produzem enzimas e estas são capazes de quebrar as moléculas de cadeias carbônicas lineares, como as do sabão e assim podem ser considerados biodegradáveis. Mas essas enzimas não reconhecem as cadeias ramificadas, que é o caso dos detergentes. Sendo assim, eles permanecem na água sem sofrer decomposição, causando poluição (ALVES, 2019).

Segundo Figueiredo (2017), os detergentes são substâncias químicas feitas a partir de compostos orgânicos que são capazes de manter a sujeira em suspensão por conta de seu potencial tensoativo.

Os tensoativos são moléculas anfifílicas com regiões hidrofílicas e hidrofóbicas, e possuem a tendência de formar agregados, os micelas, que são importantes por participar de reações de solubilização de solutos ou espécies insolúveis (TAVARES; BARRA; e FREITAS, 2020).

Nos dias de hoje, os tensoativos podem ser produzidos de produtos provenientes da petroquímica e da oleoquímica, elaborado para atuarem em diversas condições, sendo menos afetados que o sabão pelos minerais, que acabam aumentando a dureza da água (FIGUEIREDO, 2017).

Nas ETEs (Estação de Tratamento de Esgoto), maior parte dos estudos realizados é focada nas técnicas de coagulação e floculação usando cloreto férrico e polieletrólito aniônico, e ao final de duas fases atinge-se uma remoção de 80-90% dos efluentes. E uma das desvantagens desta operação é constituída pela periculosidade dos sólidos removidos (OLIVEIRA; e LICKS, 2014).

Existem alguns projetos de pesquisa utilizando processos aeróbicos e anaeróbicos, sendo o esquema mais próximo da realidade no futuro, já que 20% dos tensoativos serão degradados ao serem expostos a meios anaeróbicos. Porém, pesquisadores acham que não é economicamente razoável dado a necessidade de um elevado número de tanques para conseguir a depuração do efluente com elevado teor tensoativo (OLIVEIRA; e LICKS, 2014).

A adsorção é uma propriedade físico-química das moléculas de substâncias líquidas, gasosas e sólidas. Esse processo ocorre quando as partículas líquidas ou gasosas ficam retidas na superfície de sólidos, mas sua capacidade de adsorção aumenta caso esse sólido seja poroso (MAGALHÃES, 2018).

Existem duas classificações: adsorvatos, que é consiste em uma substância líquida ou gasosa que fica retida na superfície de um sólido adsorvente; e adsorventes, que é a substância sólida que promove a retenção de outras substâncias, sendo diferentes de absorção. Adsorção é o processo onde uma substância fica retida na superfície de outra, porém, sem fazer parte de seu volume, já o processo de absorção é quando uma substância é embebida por outra, se tornando parte de seu volume (MAGALHÃES, 2018).

A adsorção pode ser de dois tipos diferentes, por fisissorção e quimissorção. A fisissorção é um processo reversível que ocorre através de forças de Van der Waals, em que não há nenhum tipo de alteração molecular nas substâncias envolvidas no processo, assim a substância mantém sua natureza química. O outro tipo de adsorção é a quimissorção, que consiste em uma reação química e que, por envolver os elétrons, é considerada uma ligação química mais forte que a fisissorção. Nesse tipo de adsorção há alteração molecular das substâncias, sendo um processo irreversível (MAGALHÃES, 2018).

Um exemplo de substância adsorvente é o carvão ativado, que é usado nas Estações de Tratamento de Água para a retirada de impurezas contaminantes como materiais orgânicos, gases e partículas menores (SOUZA, 2020).

A superfície do carvão ativado dá a ele vários de ligação e quando certas substâncias químicas passam próximas à superfície do carvão, acabam unindo-se a ele e ficando aprisionadas. Dessa forma, é comum dizer que o carvão ativado possui alta porosidade e por isso se torna um adsorvente (SOUZA, 2020).

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Estudar as propriedades de diferentes tipos de adsorventes buscando elaborar um protótipo a ser instalado nas tubulações residenciais a fim de minimizar a poluição dos rios e lagos.

2.2. Objetivos Específicos

- Estudar tipos de adsorventes;
- Estudar as propriedades adsorvitivas;
- Estudar o tratamento de água e esgoto;
- Estudar as propriedades do detergente e ação dos microrganismos;
- Estudar formas de reter o detergente utilizado em processos residenciais;
- Buscar diminuir a poluição de rios e lagos;
- Conscientizar as outras pessoas sobre a poluição que atinge a fauna e flora do ecossistema aquático através de atividades diárias;
- Estudar formas de dar um destino adequado ao detergente;
- Criar um protótipo de adsorvente para a tubulação e pia.

3. PESQUISA BIBLIOGRAFICA

3.1. História do Detergente

A história do detergente começa na época da Segunda Guerra Mundial, porque apesar dos produtos de sabão serem usados para lavar o corpo e as roupas desde a época dos egípcios, ficaram fora de uso durante a Segunda Guerra Mundial, e o detergente forneceu um método mais barato e eficiente de limpeza (LONG, 2019).

Mas antes de sua aparição, os antigos romanos utilizavam a própria urina como método de limpeza. O livro “El Gran Libro de la Historia de las cosas”, da editora A Esfera dos Livros, 1995, afirma que por muito tempo a urina foi usada como recurso para a limpeza, uma vez que entre seus componentes existe a amônia, que tem efeitos detergentes (MOYA, 2015).

Historicamente, o sabão era usado quando as roupas eram esfregadas a mão ou lavadas no rio. Na época dos egípcios e babilônios, o sabão vinha de gordura animal e cinzas. Mas ele logo não se tornou mais necessário nos tempos medievais, quando a aversão à limpeza do corpo e das roupas levou ao declínio nos produtos de sabão que alguns historiadores especulam ter contribuído para a propagação da peste negra (LONG, 2019).

O uso de enzimas para limpar roupas resultou na invenção do detergente, sendo introduzido no início do século XX por Otto Rohn. Rohn fundou a Röhn & Haas na Alemanha em 1907 e sua pesquisa sobre o uso de enzimas em aplicações técnicas tornou-se uma revolução no uso de detergentes de lavagem em 1914. Ele chamou o de Burbus, e em 1920 se tornou o mais distribuído na Alemanha (SPOONER, 2020).

Nos Estados Unidos, a produção de detergente doméstico começou na década de 1930. Robert Duncan viajou para a Europa a fim de aprender sobre o detergente e aplicar na Proctor and Gamble (P&G). Na Alemanha ele descobriu tensoativos que ainda não eram usados em detergentes. Os pesquisadores da P&G descobriram que os tensoativos são moléculas de parte apolar e parte polar e a P&G elaborou acordos de licenciamento com as empresas alemãs que estavam criando os tensoativos e em 1913 o primeiro detergente sintético criado chegou ao mercado (SPOONER, 2020).

Logo, os testes para encontrar um detergente efetivo voltaram à força, com uma corrida para evoluir o produto na década de 1930. Primeiro foram adicionados fosfatos ao existente, e depois usando derivados de petróleo, mas o fator decisivo veio com a invenção de agentes de branqueamento fluorescente. O produto funcionou, mas ninguém sabia por que ou como. Em 1945 a publicidade revelou o produto e ampliou seu uso em escala global (MOYA, 2015).

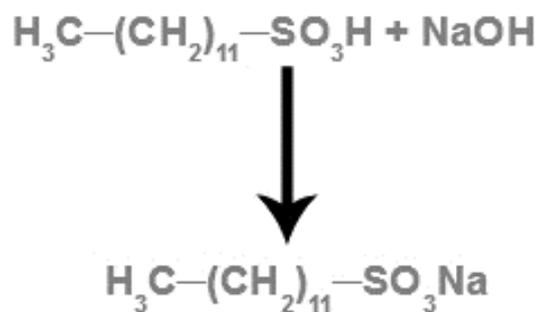
3.2. Propriedades do Detergente

Detergente é uma substância que quando dissolvida em água, possui a capacidade de remover a sujeira de superfícies como a pele humana, têxteis, louça e outros sólidos. O processo aparentemente simples de limpeza de uma superfície é, de fato, complexo e consiste em várias etapas físico-químicas (DAVIDSOHN, 2020).

Um detergente é uma substância química que quebra as moléculas de sujeira para removê-las. Hoje os detergentes são mais propensos a ser uma mistura de produtos químicos sintéticos e aditivos preparados em uma enorme planta química. Os ingredientes mais importantes em detergentes são produtos químicos chamados surfactantes, ou tensoativos (WOODFORD, 2019).

Detergentes são substâncias orgânicas formadas quimicamente e possuem a capacidade de promover limpeza por meio de ação emulsificante. Eles apresentam região apolar, seguido por uma sequência de hidrocarbonetos, e uma região polar que apresenta, mais comumente, um sal sulfônico. Os reagentes para a formação do detergente são um ácido sulfônico e uma base inorgânica qualquer, figura 1(DIAS, 2020).

Figura 1: Reação química para a formação do detergente.



Fonte: DIAS, 2020

Como o detergente possui duas partes distintas em sua estrutura, mostrado a seguir na figura 2, sendo que a parte polar é hidrofílica e possui afinidade com as moléculas da água, consequentemente a parte apolar é hidrofóbica, possuindo afinidade com as moléculas de gordura. Dessa forma, quando o adicionado na água, as moléculas do detergente se distribuem ao redor das moléculas de gordura formando micelas. Assim, a parte apolar fica voltada para o interior da micela, em contato com a gordura e a parte polar se volta para o exterior, em contato com a água (FOGAÇA, 2019).

Figura 2: Estrutura química de detergente não biodegradável



Fonte: DIAS, 2019

3.2.1. Como funciona o detergente

Os detergentes têm como principal substância os tensoativos, que são essenciais de limpeza e determinam as características de limpeza do sabão e detergente. Os tensoativos são compostos com dupla afinidade, sendo ambos lipofílicos e hidrofílicos. Uma molécula de tensoativo possui uma parte lipofílica, que se une às gorduras, e uma parte hidrofílica polar, que torna a molécula solúvel em água, o que ajuda a dispersar e a enxaguar o solo gorduroso, consistindo em várias etapas físico-químicas (WOLF, 2018).

Ocorre a penetração, no caso de têxteis, de fibras por meio da lavagem contendo o detergente, que aumenta a capacidade de disseminação e reduzem a tensão superficial da água. Absorção de uma camada de detergente nas interfaces entre a água e a superfície a ser lavada. Dispersão da superfície do material para a água de lavagem; esta etapa é facilitada pela agitação mecânica e alta temperatura. E o detergente também impede que a sujeira seja depositada sobre o material novamente na superfície já limpa, suspendendo-a em um colóide protetor, às vezes com o auxílio de aditivos especiais (DAVIDSOHN, 2020).

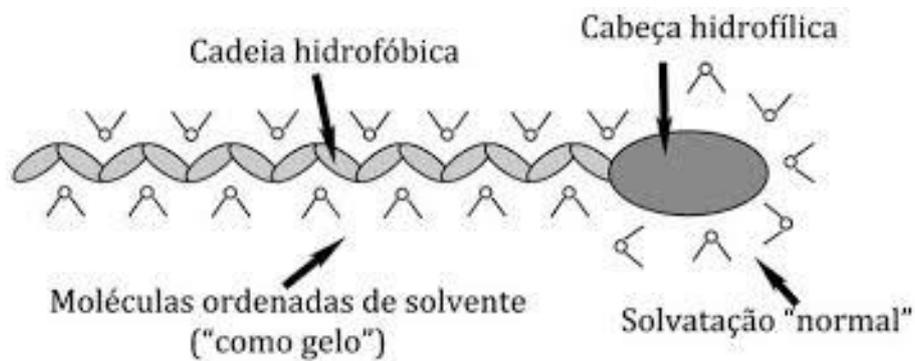
Algumas superfícies sujas são ligadas a uma camada de óleo, e a sua limpeza envolve o deslocamento desta camada pelo detergente, já que as moléculas do óleo se dividem e se separam em gotículas individuais sob a influência do tensoativo. Mas algumas manchas protéicas, como ovo, sangue e leite, são difíceis de remover com o detergente, pois essas manchas não são solúveis em água e aderem fortemente à fibra, impedindo a penetração do detergente. Mas utilizando enzimas proteolíticas, que são enzimas capazes de quebrar proteínas, juntamente com o detergente, a substância protéica pode se tornar permeável, auxiliando no trabalho do detergente (DAVIDSOHN, 2020).

3.3. Componentes do Detergente

3.3.1. Tensoativos

Os tensoativos, ou surfactante, são utilizados em todas as áreas industriais desde detergentes domésticos até lama de perfuração e produtos farmacêuticos. O termo surfactante vem da palavra agente ativo da superfície, pois são moléculas anfifílicas, ou seja, possuem parte hidrofílica e parte hidrofóbica, e assim, se alinham para que a parte hidrofóbica esteja em contato com o ar e a parte hidrofílica em contato com a água. Isso causará a diminuição das tensões superficiais (LAURÉN, 2018).

Figura 3: Estrutura de um tensoativo



Fonte: GALGANO, 2012

Tensoativos são moléculas que apresentam afinidades com óleos, gorduras e superfícies das soluções com sólidos, líquidos ou gases, além de também ter afinidade com a água, pertencente aos dois meios. Dessa forma, os tensoativos podem ser utilizados como conciliadores dessas fases imiscíveis, formando emulsões, espumas, suspensões ou a formação de filmes líquidos e detergentes de superfícies (DALTIM, 2011, pag. 11).

A parte apolar normalmente é formada por uma cadeia carbônica (linear, ramificada ou com partes cíclicas), pois os carbonos dessa cadeia não formam polos de concentração de carga eletrostática, apesar de serem mais eletronegativos que os átomos de hidrogênio. A parte polar é responsável pela solubilidade da molécula em água, pois as cargas apresentam eletrostática pelas moléculas de água próximas (DALTIM, 2011, pag. 12).

Os surfactantes ajudam a tingir os têxteis, pois ajudam a penetrar no tecido uniformemente, e também são usados para dispersar suspensões aquosas de corantes e perfumes insolúveis (AUGUSTYN, 2020).

Outros tensoativos são mais lipofílicos e menos hidrofílicos, podendo ser usados como agentes antiespumantes ou desemulsificantes, e certos surfactantes são germicidas, fungicidas e inseticidas. Além de serem usados na inibição da corrosão, na flotação de minério, para promover o fluxo de óleo em rochas e para produzir aerossóis (AUGUSTYN, 2020).

3.3.2. Agentes coadjuvantes

Os tensoativos sintéticos puros não são muito eficientes para remover sujeira argilosa, então para auxiliar nesse aspecto, como também fornecer um pH adequado da água e anular a presença de íons metálicos, adiciona-se certos sais alcalinos como tripolifosfato de sódio, fosfato trissódico, pirofosfato de sódio, carbonato de sódio (FABRÍCIO, 2021).

3.3.3. Enzimas

O uso de enzimas em detergentes é cada vez mais visível devido às características que apresentam, como o elevado desempenho mesmo em baixas concentrações, por serem biodegradáveis, e serem meios de substituição de produtos cáusticos, ácidos e solvente tóxicos. Algumas das enzimas que hidrolisam, podem-se citar as amilases, celulasas, lípases e proteases, sendo essa última a mais utilizada na produção de detergentes (CARDOSO, 2017).

Tabela1: Enzimas

Amilases	<p><i>Função</i> Atuam sobre manchas que contêm amido, tais como molhos, chocolate, etc. Hidrolisam o amido transformando-o em oligômeros de cadeia curta, solúveis em água.</p> <p><i>Reação</i></p> $\begin{array}{c} R_1-O \\ \diagup \\ C \\ \diagdown \\ R \end{array} -O-R_2 + H_2O \longrightarrow \begin{array}{c} R_1-O \\ \diagup \\ C \\ \diagdown \\ R \end{array} -O-H + HO-R_2$
Celulasas	<p><i>Função</i> Atuam nas ligações glicosídicas da celulose. Diferem do resto das enzimas pois para além de facilitarem a remoção de partículas sólidas do tecido, são capazes de eliminar as microfibrilas de algodão presentes no mesmo, melhorando a aparência, brilho e maciez.</p> <p><i>Reação</i></p> $\begin{array}{c} R_1-O \\ \diagup \\ C \\ \diagdown \\ R \end{array} -O-R_2 + H_2O \longrightarrow \begin{array}{c} R_1-O \\ \diagup \\ C \\ \diagdown \\ R \end{array} -O-H + HO-R_2$
Lípases	<p><i>Função</i> Atuam sobre manchas que contêm gorduras, transformando os triglicérides numa mistura de monoglicérides, diglicérides e glicerol, que são mais fáceis de remover pelos tensoativos.</p> <p><i>Reação</i></p> $R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-R_1 + H_2O \longrightarrow R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-H + HO-R_1$
Proteases	<p><i>Função</i> Removem impurezas proteicas transformando-as em peptídios e aminoácidos, que são muito mais fáceis de remover pelos tensoativos.</p> <p><i>Reação</i></p> $R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-N-H-R_1 + H_2O \longrightarrow R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-H + H_2N-R_1$

Fonte: CARDOSO, 2017

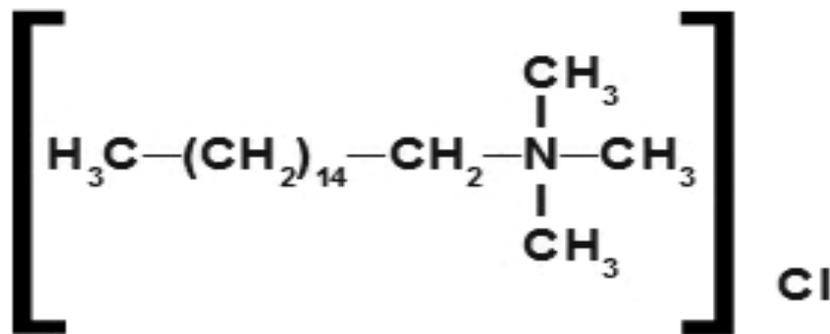
3.4. Tipos de Detergentes

3.4.1. Detergente catiônico

O Detergente catiônico apresenta um grupo carregado positivamente na extremidade polar. O principal uso desse tipo de tensoativo é na fabricação de amaciantes, germicidas e emulsificantes específicos. Os tipos mais empregados são os sais quaternários de amônio (CASTRO, 2001).

São usados como agentes emulsionantes para o asfalto, e espera-se que essas emulsões “quebrem” logo após serem aplicadas e depositarem uma camada de asfalto na superfície do agregado de pedra. Esses agentes absorvem fortemente em silicatos e, portanto, fazem uma forte ligação entre o asfalto e o agregado. Os detergentes catiônicos também possuem excelentes propriedades germicidas e são utilizados em cirurgias de forma diluída (DAVIDSOHN, 2020).

Figura 4: Estrutura molecular de um tensoativo catiônico



Fonte: DIAS, 2020

3.4.2. Detergentes aniônicos

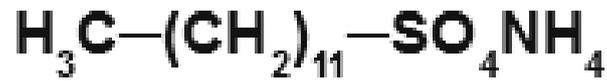
Surfactantes aniônicos funcionam melhor para remover sujeira, argila e algumas manchas oleosas. Esses tensoativos trabalham após a ionização. Quando adicionados à água, os surfactantes aniônicos ionizam e têm uma carga negativa, se ligando às partículas positivamente carregadas (WILLIAMS, 2007).

Detergentes aniônicos apresentam um grupo carregado negativamente na extremidade polar. Devido ao volume utilizado mundialmente, é a categoria mais importante dos tensoativos, o alquilbenzeno de sódio e o dodecilbenzeno sulfonado de sódio ou cálcio são os mais comumente utilizados nos detergentes (DIAS, 2020).

Exemplos de grupos tensoativos aniônicos incluem sais de ácidos sulfônicos, sulfatos alquilbenzenos, ésteres de ácido fosfórico e sais de ácido carboxílico. Muitos surfactantes

aniônicos também podem atuar como hidrótropos, que servem para elevar o ponto de nuvem de surfactantes aniônicos (WILLIAMS, 2007).

Figura 5: Estrutura molecular de um tensoativo aniônico



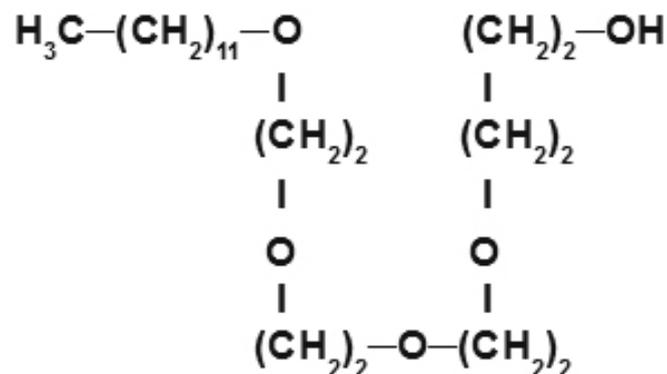
Fonte: DIAS, 2020

3.4.3. Detergentes neutros

O detergente neutro ou não iônico não apresenta grupos negativos ou positivos na região polar. São produzidos, em geral, através da condensação de óxidos de etileno com alcoóis, fenóis, ácidos e animas. São normalmente empregados na formulação de cosméticos, principalmente para peles sensíveis, e na formulação de detergentes em pó e líquidos, conjuntamente com os aniônicos. Além de que a ação detergente da mistura de dois tensoativos é superior à soma das ações tensoativas individualmente (CASTRO, 2001).

Os tensoativos não-iônicos são um dos mais consumidos atualmente, na forma de detergentes e emulsificantes, dispersantes e umectantes. Podem ser utilizados como emulsificantes industriais para tintas e detergentes industriais e laboratoriais (GALGANO, 2012).

Figura 6: Estrutura de um tensoativo neutro



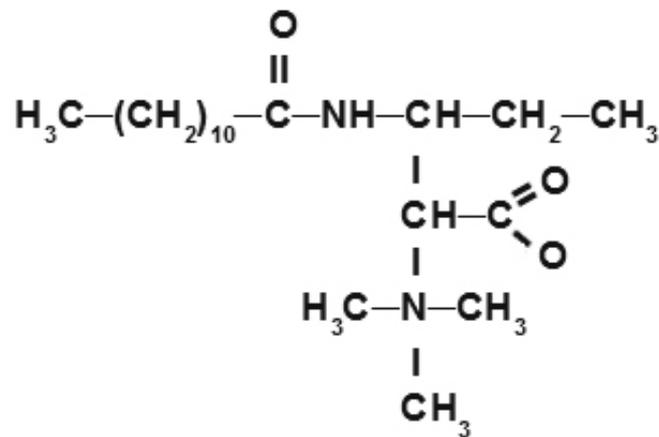
Fonte: DIAS, 2020

3.4.4. Detergentes anfóteros

Detergentes anfóteros são detergentes que apresentam um grupo negativamente carregado, e outro grupo positivamente carregado em sua estrutura. Dessa forma, o grupo positivo é o sal de amônio quaternário, e o grupo negativo é a carboxila (DIAS, 2020).

Os tensoativos anfóteros comportam-se como tensoativos aniônicos em meio alcalino, pois a alta concentração de hidroxila neutraliza a sua carga positiva. De forma similar, os surfactantes anfóteros se comportam como tensoativos catiônicos em meio ácido. Os surfactantes anfóteros são compatíveis com surfactantes aniônicos e catiônicos, pois não se neutralizam, já que possuem carga nula (DALVIN, 2012).

Figura 7: Estrutura molecular de um tensoativo anfótero



Fonte: DIAS, 2020

3.5. Mercado de Detergente

Os tensoativos estão presentes em vários setores industriais, como produtos de limpeza, cosméticos, higiene e entre outros. No Brasil, os surfactantes são utilizados pelos setores de produtos de limpeza (cerca de 61% em volume), uso industrial e comercial (cerca de 22%) e pelo setor de cosméticos e produtos de higiene pessoal (13% em volume) (BNDES, 2014, pág. 6).

O Brasil é o 4º maior mercado mundial de produtos de limpeza doméstica, atrás de Estados Unidos, China e Japão. Além do maior consumo, as compras também têm se tornado mais sofisticadas, com adição de novos produtos de maior valor agregado. Pode-se perceber que a demanda por produtos químicos para uso doméstico se direciona para itens mais especializados, com maior atividade, multifuncionais e mais eficientes. O concentrado de limpeza contatou um aumento de 13,4% entre 2008 e 2012. Isso deve impactar o mercado de tensoativo de forma significativa (BNDES, 2014).

Figura 8: Evolução das vendas de produtos de limpeza no Brasil



Fonte: ABDES, 2014

Segunda a pesquisa feita pela Frost & Sullivan, a previsão é de crescimento, principalmente por conta dos tensoativos aniônicos que assumiram grande importância em formulações agroquímicas às indústrias de shampoo e detergente (GRANDIM, 2010).

No Brasil, as taxas de crescimento desse mercado vêm sendo impulsionado pelo desenvolvimento sustentável de produtos de higiene pessoal e produtos de limpeza. Tensoativos sulfonados são os mais representativos em volume no mercado brasileiro de tensoativos aniônicos, com 74,6% do volume total (GRANDIM, 2010).

Com faturamento em 2012 de 41,8 bilhões, o Brasil é o 3º maior mercado do mundo no setor de cosméticos e higiene pessoal, atrás somente dos Estados Unidos e do Japão. O mercado Brasileiro de cuidados pessoais apresentou um crescimento médio anual de aproximadamente 12% entre 2008 e 2012, contra cerca de 4% para o restante do mundo (ABDES, 2014).

3.6. Diferença de Sabão e Detergente

O elemento básico do detergente é um agente tensoativo, que reduz a tensão superficial de líquidos, facilitando a formação e a estabilização de soluções coloidais, de

emulsões e de espuma no líquido. Os detergentes mais comuns são sais derivados do ácido sulfúrico, um ácido forte que traz danos ao meio ambiente (ADAO, 2019).

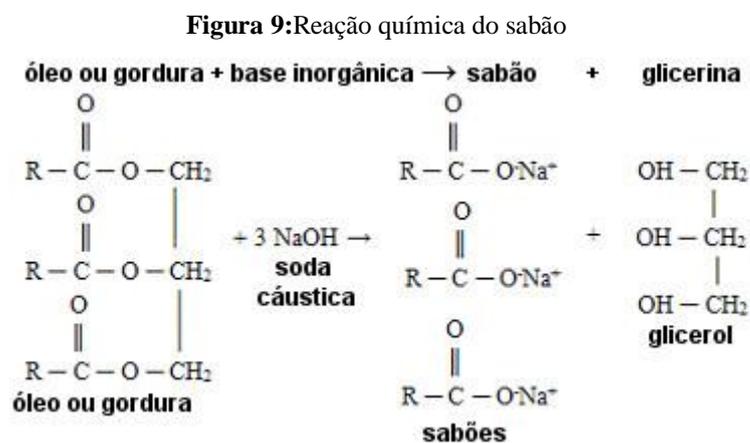
O sabão compreende todos os sais ácidos gordurosos e se dividem em duros, sódicos, moles ou potássicos. Os sabões são fabricados com álcalis e gorduras, onde a soda cáustica e gorduras eram misturadas e aquecidas até seu ponto de ebulição. Eles são sais de ácidos carboxílicos em que um hidrogênio foi substituído por um cátion (ADAO, 2019).

Dessa forma, as principais diferenças entre o sabão e o detergente são os grupos funcionais diferentes, já que os sabões apresentam apenas sais de ácidos carboxílicos, além de serem produzidos a partir de óleos ou gorduras, e os detergentes são obtidos a partir de substâncias presentes em outras fontes naturais. Todos os sabões são biodegradáveis, diferentemente dos detergentes, onde apenas alguns são. Os detergentes não interagem com nenhum cátion presente na água, mas os sabões interagem com íons, como o cálcio (DIAS, 2020).

3.6.1. Estrutura típica do sabão

O sabão é um sal obtido a partir de um ácido graxo e uma base forte, como a soda cáustica. Os ácidos graxos estão contidos em gorduras animais e vegetais. A reação para se formar o sabão se chama “saponificação”, e ocorre quando os dois reagentes são aquecidos. Na prática, a gordura animal foi purificada para produzir o sebo e em seguida misturada com os constituintes químicos adquiridos, a lixívia. Após isso, o líquido obtido é filtrado e armazenado por um longo tempo em recipientes (PERRI, 2015).

As moléculas de sabão consistem em duas partes, sendo uma hidrofílica com uma carga negativa e uma parte lipofílica. Dessa forma, as moléculas do sabão têm afinidade química tanto com a água quanto com a gordura e oleosidade (PERRI, 2015).



Fonte: FOGAÇA, 2019

3.7. Impacto Ambiental

Diariamente, sabões e detergentes usados em residências e indústrias atingem o sistema de esgoto e, sem o devido tratamento, acabam sendo despejados em rios e lagos, onde causam diversos efeitos nocivos nos corpos hídricos e na vida aquática (OLIVEIRA, 2015).

Segundo a Equipe eCycle (2020), em sistemas dependentes do oxigênio para sobreviver, como rios e lagos, os agentes tensoativos presentes no detergente interferem nas taxas de aeração, pela redução superficial do meio, que faz com que as bolhas de ar tenham um menor tempo em contato com o meio. Além disso, a espuma formada na superfície impede a entrada de luz nos corpos d'água, que é essencial para a fotossíntese.

Outro problema que o detergente causa no meio ambiente é a interferência que provocam em aves. As aves aquáticas possuem uma camada de óleo natural nas penas, que as permitem boiar na água, mas quando esse revestimento entra em contato com o detergente na água, é removido, impedindo que essas aves consigam se manter na superfície e acabam se afogando (SALLES, 2014).

Porém, os detergentes não possuem apenas os tensoativos. Eles são constituídos, também, por substâncias conhecidas como agentes sequestrantes, cuja função é melhorar o poder de limpeza em águas que tem maior concentração de íons de cálcio e magnésio, o que dificulta a ação dos detergentes. Um dos agentes sequestrantes mais usados é o tripolifosfato de sódio, que causa a eutrofização nos corpos hídricos (SALLES, 2014).

Segundo o site Meio Ambiente (2015), os produtos podem causar eutrofização, que consiste no processo em que o curso da água fica repleto de nutrientes dissolvidos como o magnésio, fosfatos e cálcio. Com isso existe um impacto negativo no meio ambiente, principalmente naqueles em que vivem animais aquáticos, uma vez que a água é rica em nutrientes que estimulam o crescimento de plantas e algas, acarretando na falta de oxigênio.

De acordo com o site Meio Ambiente (2015), as substâncias antropogênicas juntamente com outros componentes, como os metais pesados, são responsáveis pelo escurecimento da água e impede a entrada de luz, acabando com as plantas aquáticas, além de que em alguns casos o sistema respiratório dos peixes pode ficar entupido. O grande risco que advém disso são os agentes patógenos que causam alterações na composição química da água e pode acarretar em doenças nos hospedeiros animais e humanos.

Além de fazer um grande mal para o meio ambiente e os animais da fauna local, isso também pode trazer prejuízos ao ser humano. A contaminação da água por agentes químicos como os detergentes podem desenvolver irritações de pele, dores de garganta, cólicas, náuseas

e até mesmo problemas no fígado. Em alguns casos pode até mesmo levar a morte, caso a pessoa for envenenada por essa água (Site Meio Ambiente, 2015).

3.7.1. Problemas provocados pelo detergente em ETAs e ETEs

Em uma estação de tratamento de água (ETA), localizada no Rio de Janeiro, precisou paralisar seu serviço de abastecimento por conta da presença de detergente em uma das suas fontes de captação de água, o Rio Guandu. O problema foi detectado após uma massa de espuma, criada a partir de uma reação entre a substância química e a água, ter coberto parte da superfície do corpo hídrico. Por esse motivo, o serviço de abastecimento precisou ser suspenso por cerca de 14 horas, atingindo aproximadamente nove mil lares dependentes desta estação (ALVES, 2020).

Essa medida foi necessária, pois, mesmo sendo um produto bastante popular e utilizado, além de ser indispensável para a higienização de muitos lares, comércios e indústrias, o detergente também apresenta perigo ao consumidor e ao meio ambiente por causa de propriedades tóxicas em sua composição química, principalmente em caso de ingestão acidental (ALVES, 2020).

3.7.2. Tratamentos existentes

Um trabalho acadêmico que abordava a adsorção de detergentes em efluentes aquosos usando aerogéis de sílica foi feito por Cardoso (2017), na qual diz que os aerogéis de sílica têm sido estudados como potenciais adsorventes de poluentes em efluentes líquidos. O trabalho explora o pré-tratamento de efluentes contaminados por tensoativos utilizando estes materiais em sua realização.

Os materiais adsorventes utilizados ao longo do experimento foram aerogéis a base de sílica, que foram obtidos através de tetrametilortosilicato e metiltrimetoxisilano, de forma a variar potenciais interações hidrofóbicas e hidrofílicas com o adsorbato. Os aerogéis apresentaram um ângulo de contato com água de 36 a 142°C, confirmando a hidrofobicidade. No final do experimento conclui-se que os aerogéis apresentam capacidade adsortiva máxima de 55mg.g⁻¹, mostrando que o fator que influencia o processo de adsorção nos aerogéis hidrofóbicos é a concentração de adsorbato e no aerogel hidrofílico é a sua porosidade (CARDOSO, 2017).

Outro estudo para tratar o detergente e seus impactos ambientais, foi feito por Miotto, Penha, Pergher, Rigoti e Sutili (2009), onde aplicaram zeólitas sintéticas como coadjuvante

em formulação detergente, já que os fosfatos no detergente promovem alcalinidade e causam problemas ambientais por conta da sua nutrição excessiva em sistemas aquáticos.

Foram utilizados três tipos de zeólitas. A zeólita A foi a que melhor apresentou resultados, ficando evidente que a elevação do pH aumenta a adsorção das zeólitas, influenciando o processo. O sistema em batelada desenvolvido foi satisfatório, cumprindo o objetivo proposto (MIOTTO; PENHA; PERGHER; RIGOTI; e SUTILI, 2009).

Outro projeto que pode ser citado foi feito por Wambier (2015), onde teve por objetivo testar dois métodos de remoção de surfactantes para evitar a formação de espumas em meio ao processo hidrelétrico.

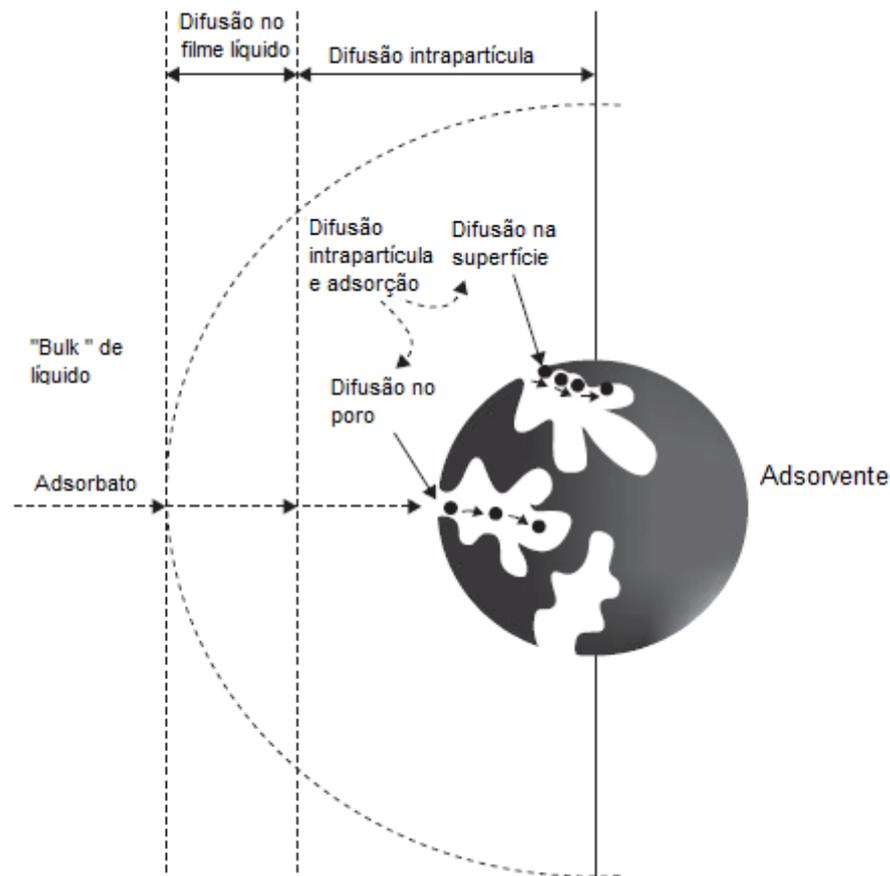
Avaliou-se processos de coagulação, floculação, flotação separadamente empregando sulfato de alumínio como coagulante. As condições de remoção na sedimentação foram obtidas ajustando a concentração de coagulante e o pH. Depois de todo o processo experimental, pode-se deduzir que a melhor condição para o tratamento da Usina Elétrica a Gás foi obtida com pH 7, e empregando a sedimentação como método de separação de sólidos no tempo de 30 minutos (WAMBIER, 2015).

3.8. Adsorvente

Por conta de óleos, petróleos e gasolina que acabam sendo despejados em bacias hidrográficas como resultado de diferentes atividades industriais, o sistema de adsorção tem chamado bastante a atenção, pois se apresenta como um método eficaz, econômico, com alta seletividade molecular, além de um baixo consumo energético (BRANDÃO, 2006).

Segundo o site Wise Geek (2020), adsorção é um processo pelo qual uma substância em estado gasoso ou líquido se prende a um sólido, sem que o mesmo acabe fazendo parte do volume do sólido. A substância pode ser um poluente, chamado de adsorvato, que é atraído para a superfície de um sólido em especial. A adsorção ocorre naturalmente, mas os industriais aperfeiçoaram os métodos de adsorção para limpar resíduos e purificar a água potável.

Figura 10: Mecanismo de transporte do processo de adsorção



Fonte: VALE, 2015

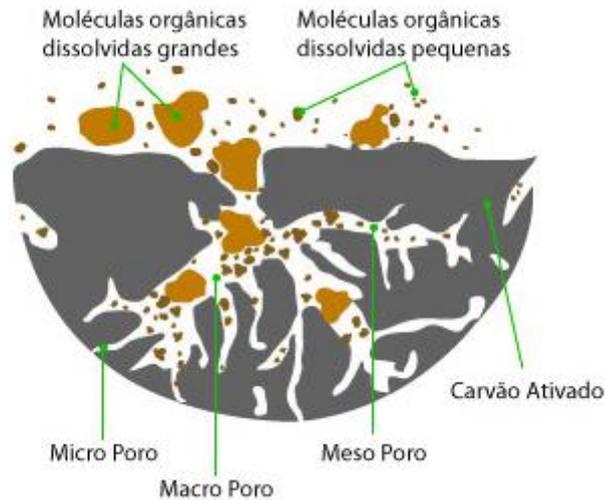
Os adsorventes inorgânicos incluem a argila, a lã, areia e cinzas vulcânicas. Mas os adsorventes sintéticos são os mais utilizados, pois incluem materiais semelhantes ao plástico como polietileno, polipropileno, espuma de poliuretano, espuma de poliéster, poliestireno e fibras de nylon e possuem uma natureza hidrofóbica e lipofílica, mas não são biodegradáveis (ERONDU e NDIMELE, 2018).

De acordo com o site Chemistry Learning (2009), o processo de adsorção surge devido à presença de forças desbalanceadas ou residuais na superfície da fase líquida ou sólida. Essas forças residuais desequilibradas tendem a atrair e reter espécies moleculares com as quais ela entra em contato com a superfície. A adsorção é essencialmente um fenômeno superficial.

Segundo o site Nova Opersan (2016), existem algumas substâncias que agem como adsorventes, portanto, elas fixam em sua superfície outras substâncias que produzem gosto, odor e matéria orgânica dissolvida. Algumas substâncias são: turfa, cinza, areia, carvão

ativado, casca de extração do tanino, flocos de hidróxido férrico, permutados iônicos granulados e entre outros.

Figura 11: Estrutura do grão de carvão ativado

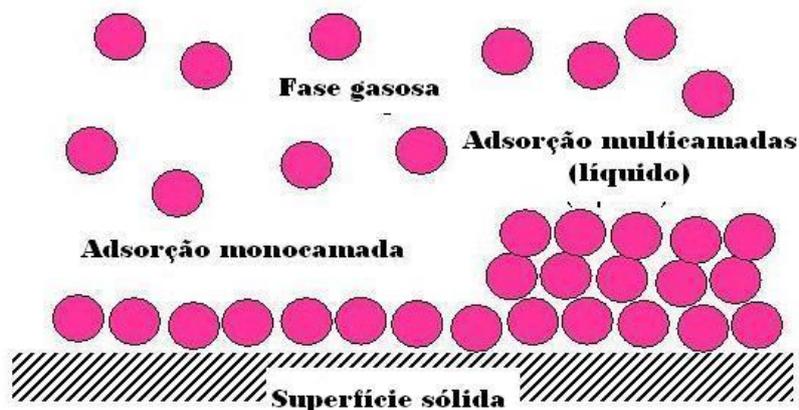


Fonte: Blog Resíduos Agroindustriais, 2015

3.8.1. Como funciona e como é usado

A adsorção está ligada a fixação de moléculas de um fluído em uma superfície sólida. As moléculas das substâncias sólidas e líquidas encontram-se próximas entre si e, conseqüentemente, a densidade se torna elevada. Por isso, substâncias nesses estados apresentam uma grande capacidade de interação entre si, ao contrário de gases em que isso acontece com uma frequência menor devido a sua distância entre as moléculas (PETRIN, 2014).

Figura 12: Adsorção em diferentes estados físicos



Fonte: BENEVIDES, 2017

De uma forma específica, pode caracterizar a adsorção como a variação de concentração de uma substância em uma interface. Quando a concentração de uma substância aumenta em uma interface, ocorre a adsorção positiva, e quando a concentração desta substância diminui na região de interface, chama-se adsorção negativa (COLDEL, 2010).

Uma vez que os componentes adsorvidos se concentram sobre a superfície externa de um sólido, quanto maior for a superfície externa por unidade de peso sólido, mais favorável será a adsorção. Por esta razão, os adsorventes são, geralmente, sólidos com partículas porosas (GOMIDE, 2011).

Alguns exemplos de aplicação industrial são: a desumidificação de gases, a recuperação de vapores de solventes valiosos arrastados pelos gases, a remoção de umidade da gasolina, o branqueamento das soluções de açúcar, dos óleos vegetais e minerais, a desodorização do gás carbônico e das bebidas, e também a realização de inúmeros fracionamentos de misturas de hidrocarbonetos leves (GOMIDE, 2011).

O adsorbato é o material concentrado que será adsorvido durante o processo, já o adsorvente é a fase que adsorverá toda a substância que entrar em contato com sua interface. Os sólidos apresentam a propriedade de reter moléculas em uma superfície, e esta propriedade pode ser acentuada no caso de materiais porosos ou finamente divididos. A porosidade está interligada com o conceito de área superficial, pois a presença de uma grande quantidade de poros de pequeno tamanho entre a superfície de adsorção permite um aumento na área (ALVARENGA; ANHESIME; BOTERO; COSTA; e SILVA, 2014; pág. 3).

Quando as moléculas de adsorbato presentes na fase fluída atingem a superfície do adsorvente, a força residual, resultante do desequilíbrio das forças de Van der Waals, criam um campo de forças que atrai e aprisiona a molécula. O tempo que a molécula de adsorbato fica ligada à superfície do adsorvente depende diretamente da energia com que a molécula é adsorvida (FANGMEIER; e HOEHNE, 2012).

O adsorbato pode ser removido do adsorvente com facilidade, sendo suficiente aumentar a temperatura ou reduzir a pressão. O sucesso de um adsorvente industrial no campo das operações unitárias depende em grande parte da facilidade que o adsorbato pode ser retirado. O baixo valor de energia porta em jogo neste processo não permite a formação de compostos intermediários sobre a superfície do catalisador (GOMIDE, 2011).

3.9. Processos de Adsorção

3.9.1. Adsorção física

No caso da fisissorção, a ligação do adsorvato à superfície do adsorvente envolve uma interação relativamente fraca que pode ser atribuída às forças de Van der Waals, que são similares às forças de coesão molecular (LIMA; MELO; NASCIMENTO; RAULINO; VIDAL, pag 14).

Segundo Siervo (2018), a fisissorção é muito fraca, e todo átomo ou molécula apresenta interações fracas do tipo Van der Waals e pode adsorver fisicamente em qualquer superfície se a temperatura for baixa o suficiente. É exotérmica, perdendo energia ao interagir com a superfície sendo estabilizada, sendo um processo tipicamente reversível quando a superfície é aquecida, e devido à interação ser fraca entre a superfície e o adsorvato, normalmente existe grande mobilidade.

A adsorção física é um processo reversível, apesar de uma molécula fisicamente adsorvida reter sua identidade, pode ser deformada pela presença dos campos de força superficial (PETRIN, 2014).

A fisissorção é inespecífica, diferentemente da adsorção química. Do ponto de vista termodinâmico, o calor envolvido na adsorção física está situado, no geral, abaixo de 10 kcal/mol, ou seja, da ordem de uma condensação (LIMA; MELO; NASCIMENTO; RAULINO; VIDAL, 2014; pág 15).

Deve-se acrescentar que a fisissorção ocorre em toda a superfície adsorvente, não sendo localizada. A adsorção física ocorre quando forças intermoleculares de atração molecular na fase fluida e da superfície sólida são maiores que as forças atrativas entre as moléculas do próprio fluido. Esse tipo de adsorção é rápida e reversível, decorrendo da força de atração intermoleculares fracas entre o adsorvente e as moléculas adsorvidas (LIMA; MELO; NASCIMENTO; RAULINO; VIDAL, 2014; pág 15).

3.9.2. Adsorção química

A adsorção química é específica e empregada na separação de misturas. Sendo assim, as moléculas ou átomos aderem à superfície do adsorvente por meio de ligações químicas covalentes, normalmente (PETRIN, 2014).

A quimissorção envolve a partilha ou troca de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, resultando em uma reação química (LIMA; MELO; NASCIMENTO; RAULINO; VIDAL, 2014; pág 14).

Na quimissorção as ligações químicas são fortes e como são realizadas ligações químicas, é tipicamente irreversível sem que mais energia seja dada para ocorrer dissociações. Em muitos casos ocorre adsorção dissociativa, ou seja, a molécula quebra uma ou várias ligações antes do processo final da adsorção química. A interação forte com substrato pode provocar reconstruções drásticas da superfície, inclusive com mudança da estrutura cristalina na formação de um novo composto (SIERVO, 2018).

De forma geral, as diferenças entre adsorção física e adsorção química podem ser sumarizadas como sendo que a quimissorção é altamente específica e nem todas as superfícies sólidas possuem sítios ativos capazes de adsorver quimicamente o adsorbato e o calor da adsorção é da ordem do calor de reação, portanto acima de 20 kcal/mol. A quimissorção também só ocorre nos pontos ativos, sendo localizada (LIMA; MELO; NASCIMENTO; RAULINO; VIDAL, 2014; pág. 15).

3.9.3. Adsorção em estado líquido

A adsorção em caso de estado líquido, a molécula da água presente na superfície é atraída para dentro pelas moléculas de água presentes no volume, dando origem à tensão superficial (Chemistry Learning, 2009).

Esse tipo de adsorção tem sido utilizado para a remoção de contaminantes presentes em baixas concentrações, decorrentes de vários processos. Em algumas situações, o objetivo principal é a remoção de componentes específicos, mas em outros casos, quando o componente não é bem definido, o objetivo fundamental é baseado na melhoria de algumas propriedades de interesse tais como cor, paladar, odor e estabilidade do armazenamento (COELHO; DOMINGUES; JR.; MIOLA; SCHWANTES; SOUZA, 2014).

3.9.4. Dessorção

O processo de dessorção é a liberação de uma substância ou material de uma interface entre uma superfície sólida e uma solução, sendo assim, o fenômeno oposto da adsorção. Seu principal objetivo é analisar a possível reutilização do material adsorvente, assim como sua capacidade de liberação do adsorbato (BERTOLINO; NOVO; e SIMÕES, 2017).

3.9.5. Adsorção e região interfacial

A adsorção é o acúmulo de uma substância em sua interface, podendo ser gás-sólido, gás-líquido, líquido-líquido, sólido-sólido, gás-líquido-sólido, líquido-líquido-sólido e líquido-sólido-sólido. Este processo envolve o acúmulo entre fases e afinidade física entre a

superfície do material adsorvente e o adsorbato. Assim, o processo de adsorção pode entender como o enriquecimento de uma ou mais fases sendo que uma delas seja condensada, pois não existe interface gás-gás, já que gases são miscíveis (COELHO; DOMINGUES; JR.; MIOLA; SCHWANTES; SOUZA, 2014).

O componente dentro do interior da fase é atraído para superfície do sólido como uma forma de diminuir o desequilíbrio de forças dos átomos dos sólidos presentes na região interfacial. Por conta das diferenças nas interações entre as moléculas, ocorre a resistência ao aumento da área em contato entre duas fases, o que é denominada de tensão superficial (COELHO; DOMINGUES; JR.; MIOLA; SCHWANTES; SOUZA, 2014).

3.9.6. Isoterma de adsorção

Isotermas de adsorção são equações matemáticas usadas para descrever, em termos quantitativos, a adsorção de solutos por sólidos, a temperaturas constantes. Uma isoterma de adsorção mostra a quantidade de um determinado soluto adsorvida por uma superfície adsorvente, em função da concentração de equilíbrio do soluto (ALLEONI; CAMARGO; CASAGRANDE, 1998).

Isotermas de adsorção são equações matemáticas usadas para descrever, em termos quantitativos, a adsorção de solutos por sólidos, a temperaturas constantes. Uma isoterma de adsorção mostra a quantidade de um determinado soluto adsorvida por uma superfície adsorvente, em função da concentração de equilíbrio do soluto. A técnica usada para gerar os dados de adsorção é, a princípio, bastante simples, pois uma quantidade conhecida do soluto é adicionada ao sistema contendo uma quantidade conhecida de adsorvente. Admite-se que a diferença entre a quantidade adicionada e a remanescente na solução encontra-se adsorvida na superfície adsorvente (Bohn et al., 1979).

O mecanismo de adsorção física foi primeiramente descrito por Irving Langmuir em 1916, como teoria monomolecular ou teoria de Langmuir, que descrevia o equilíbrio a taxas iguais de condensação e evaporação sobre a superfície sólida considerando a formação de uma camada única de moléculas sobre a superfície. A interpretação de Langmuir foi seguida e aperfeiçoada por Brunauer, Emmett e Teller (B.E.T.) em 1938, estabelecendo que a superfície seja recoberta por infinitas camadas moleculares superpostas — teoria de adsorção multimolecular ou BET (S. Brunauer., 1943).

A equação de Langmuir, que foi inicialmente utilizada para descrever a adsorção de gases por sólidos, baseia-se em três suposições: (a) a superfície de adsorção é homogênea, isto é, a adsorção é constante e independente da extensão da cobertura da superfície; (b) a

adsorção ocorre em sítios específicos, sem interação com as moléculas do soluto; (c) a adsorção torna-se máxima quando uma camada monomolecular cobre totalmente a superfície do adsorvente (L .R.F. ALLEONI e col. 1998).

A forma mais comum da equação de Langmuir é: $x/m = KL.C.bL / 1 + KL.C$; em que x/m é a massa de soluto por unidade de massa do adsorvente, KL é a constante relacionada à energia de ligação soluto-superfície adsorvente, C é a concentração de equilíbrio do soluto e bL é a quantidade máxima de soluto que pode ser adsorvida, o que ocorre após a formação de uma camada monomolecular completa (L .R.F. ALLEONI e col. 1998).

Outra equação utilizada para descrever fenômenos de adsorção é a de Freundlich, segundo a qual os dados de adsorção para soluções muito diluídas podem ser assim representados: $x/m = KF.CbF$; em que KF e bF são constantes empíricas, e os outros termos são os mesmos da equação de Langmuir. A equação de Freundlich sugere que a energia de adsorção decresce logaritmicamente, à medida que a superfície vai se tornando coberta pelo soluto, o que a diferencia da equação de Langmuir. O modelo de Freundlich pode ser derivado teoricamente ao se considerar que o decréscimo na energia de adsorção com o aumento da superfície coberta pelo soluto é devido à heterogeneidade da superfície (Bohn et al., 1979).

3.9.7. Cinética de adsorção

O equilíbrio de adsorção não se estabelece instantaneamente, pois existem algumas resistências a transferência de massa. A adsorção de materiais de uma solução aquosa nos poros de um adsorvente é feito da seguinte maneira:

- Transporte do adsorvato da fase líquida até ao filme que envolve a partícula de adsorvente;
- Difusão externa do adsorvato, ou seja, transporte do adsorvato através do filme. Neste passo existe resistência da transferência de massa;
- Transporte do adsorvato até o interior da partícula adsorvente por difusão através do líquido no poro e/ou por difusão através da superfície interna do adsorvente;
- Interação entre as moléculas de adsorvato e adsorção na partícula adsorvente, completando o processo de adsorção (CARDOSO, 2017).

3.10. Fatores que Influenciam o Processo de Adsorção

Os fenômenos de adsorção são resultados de uma combinação entre os tipos de forças envolvidas na adsorção física e química. Desta forma, são vários os fatores que influenciam o processo de adsorção como: a área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorbato, a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio (COONEY, 1999).

A intensidade da adsorção é proporcional à área superficial específica, visto que a adsorção é um fenômeno de superfície. Para partículas maiores, a resistência à difusão é menor e grande parte da superfície internada partícula não é disponibilizada para adsorção (SEKAR et al., 2004).

A natureza físico-química do adsorvente é fator determinante, pois a capacidade e a taxa de adsorção dependem da área superficial específica, porosidade, volume específico de poros, distribuição do tamanho de poros, dos grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente e da natureza do material precursor. O tamanho da espécie é sempre importante quando a taxa de adsorção é dependente do transporte intraparticular. Outra característica de forte influência é a polaridade do adsorbato, uma vez que uma espécie polar terá mais afinidade para o solvente ou para o adsorvente, conforme apolaridade (DOMINGUES, 2005).

Explicitando o efeito da mudança de temperatura, este pode ocasionar aumento de energia cinética e na mobilidade das espécies do adsorbato, e ainda provocar um aumento na taxa de difusão intrapartícula do adsorbato (JIMENEZ; BOSCO; CARVALHO, 2004).

Segundo Khattri e Singh (1999), o aumento na temperatura pode afetar a solubilidade e o potencial químico do adsorbato. Desta forma, a alteração na temperatura de um processo conduz a uma mudança na capacidade de adsorção. A temperatura possui dois efeitos importantes sobre o processo de adsorção. Um aumento da temperatura aumenta a taxa de difusão das moléculas do adsorbato em toda camada limite externa e interna nos poros da partícula do adsorvente, devido à diminuição na viscosidade da solução. (DOGAN; ALKAN; DEMIRBAS, 2006).

Além disso, a variação da temperatura altera o estado de equilíbrio da adsorção para um determinado adsorbato. Um aumento da temperatura pode produzir uma desobstrução de poros no interior da estrutura do adsorvente, permitindo a penetração de moléculas maiores do adsorbato (DOGAN; ALKAN; DEMIRBAS, 2006).

A velocidade de vários processos físico-químicos aumenta consideravelmente com a temperatura, cuja dependência é verificada na constante de velocidade de adsorção. Através do acompanhamento da adsorção com o tempo, em diferentes temperaturas, são obtidas as constantes de velocidade de adsorção (ALMEIDA, 2005).

3.10.1. Área superficial

O carvão ativado possui altíssima área superficial variando de 800 a 1500 m² g⁻¹, e em alguns casos atingindo até 4000 m² g⁻¹ dependendo das condições de produção. De maneira geral, quanto maior a área superficial, maior a capacidade de adsorção. O aumento na área superficial influencia outras propriedades relacionadas à capacidade de adsorção. A alta área superficial dos carvões ativados é o resultado do processo de produção, especialmente do processo de ativação, no qual o carvão, com pequena superfície interna, é oxidado em altas temperaturas (PEGO, 2016).

Ainda segundo os autores, o método BET foi desenvolvido por Brunauer, Emmett e Teller e descrevem a área superficial de materiais porosos, especialmente os carvões ativados. Nesse método ocorre a adsorção do gás nitrogênio em diversas pressões e na temperatura de 77 K, sendo a área superficial medida usando o volume de nitrogênio que é necessário para recobrir a superfície adsorvente em monocamada (PEGO, 2016).

A área de superfície (ASE) é uma propriedade de sólidos definida como a área de superfície total de um material por unidade de massa ou volume sólido ou a granel (IUPAC, Compendium of Chemical Terminology, 2nded. 1997).

É um valor físico que pode ser usado para determinar o tipo e as propriedades de um material. Tem uma importância particular para adsorção, catálise heterogênea e reações em superfícies (R.M. Tiggelaar et al., 2008).

O ASE pode ser medido por adsorção usando a isoterma BET. Isso tem a vantagem de medir a superfície de estruturas finas e textura profunda nas partículas. No entanto, os resultados podem diferir marcadamente dependendo da substância adsorvida. A teoria BET tem limitações inerentes, mas tem a vantagem de ser simples e de fornecer respostas relativas adequadas quando os sólidos são quimicamente semelhantes (Condon James, 2020).

Em casos relativamente raros, se considerados necessários, modelos mais complicados baseados em abordagens termodinâmicas, ou mesmo química quântica, podem ser aplicados para melhorar a consistência dos resultados, mas ao custo de cálculos muito mais complexos que requerem conhecimento avançado e um bom entendimento do operador (Condon James, 2020).

3.10.2. pH

O pH é a sigla usada para potencial hidrogênico, pois se refere à concentração de [H⁺] em uma solução. Dessa forma, o pH serve para indicar se uma solução é ácida ou básica. A

escala de pH varia entre 0 a 14 na temperatura 25°C, sendo que se o pH for menor do que 7, é uma substância ácida, e se for maior, é uma substância básica (FOGAÇA, 2021).

Diversos fatores podem afetar o processo de adsorção, como área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorvato, a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio (DO NASCIMENTO et al., 2014).

O pH afeta a adsorção na medida em que determina o grau de distribuição das espécies químicas. Um índice conveniente da tendência de uma superfície se tornar positiva ou negativamente carregada em função do pH, é o valor do mesmo requerido para que a carga líquida do adsorvente seja nula, o chamado ponto de carga zero (pHPZC). Para valores de pH inferiores ao pHPZC, a carga superficial é positiva e a adsorção de ânions é favorecida; e para valores de pH superiores ao pHPZC, a carga superficial é negativa e a adsorção de cátions é favorecida (APEEL; MA; RHUEL, 2003).

Segundo Aniely Pedroso (2016) “pH do meio é um importante fator de estudo em processos de adsorção pois a variação do pH altera o equilíbrio químico dos grupos iônicos presente no adsorvente influenciando assim em suas interações eletrostáticas”.

3.10.3. Temperatura

Temperatura é o nível de calor que existe no ambiente, resultante da ação dos raios solares, por exemplo, ou o nível de calor de um corpo. É explicada pela física como a grandeza termodinâmica intensiva comum a todos os corpos que estão em equilíbrio térmico (SILVA, 2018).

3.11. Modelo de Langmuir

Isotermas de adsorção são equações matemáticas usadas para descrever a adsorção de solutos por sólidos, a temperaturas constantes, em termos quantitativos. Uma isoterma de adsorção mostra a quantidade de um determinado soluto adsorvido por uma superfície adsorvente. A técnica para gerar os dados de adsorção é bastante simples, pois uma quantidade de soluto é adicionada ao sistema contendo uma quantidade conhecida de adsorvente. Assim, a diferença entre a quantidade adicionada e a remanescente na solução se encontra adsorvida na superfície do adsorvente (ALLEONI; CAMARGO; e CASAGRANDE, 1998).

Duas equações são normalmente utilizadas para descrever a adsorção iônica nos solos. A equação de Langmuir foi inicialmente utilizada para descrever gases de sólidos, baseia-se em três suposições: 1º, a superfície de adsorção é homogênea, ou seja, constante e

independente da extensão da cobertura da superfície. 2º a adsorção ocorre em sítios específicos, sem interação com moléculas do soluto. 3º torna-se máxima quando uma camada monomolecular cobre totalmente a superfície do adsorvente (ALLEONI; CAMARGO; e CASAGRANDE, 1998).

A forma mais comum da equação é: $x/m = \frac{KL.C.bL}{1 + KL.C}$. Sendo que x/m é a massa do soluto por unidade de massa adsorvente. KL é a constante relacionada à energia de ligação soluto-superfície adsorvente. C é a concentração de equilíbrio do soluto. E bL é a quantidade máxima de soluto que pode ser adsorvida (ALLEONI; CAMARGO; e CASAGRANDE, 1998).

3.12. Modelo de Adsorção de Freundlich

Outra equação utilizada para descrever fenômenos de adsorção é a de Freundlich, onde os dados de adsorção para soluções muito diluídas podem ser representados como: $x/m = KF.CbF$. KF e bF são constantes empíricas, e os outros termos são os mesmos da equação de Langmuir. A equação de Freundlich sugere que a energia de adsorção decresce alogaritmicamente à medida que a superfície vai se tornando coberta pelo soluto. O seu modelo pode ser derivado teoricamente ao se considerar que o decréscimo na energia de adsorção com o aumento da superfície coberta pelo soluto é devido à heterogeneidade da superfície (ALLEONI; CAMARGO; e CASAGRANDE, 1998).

3.13. Diferença entre Adsorvente e Absorvente

Devido à semelhança na escrita e também na pronúncia, é comum a confusão entre os termos adsorção e absorção. São dois processos diferentes: na absorção, a substância absorvida é embebida pela substância absorvente, como ocorre, por exemplo, com uma esponja que absorve a água. Ao contrário da adsorção, em que a substância fica apenas retida na superfície do adsorvente, sem ser incorporada ao volume da outra (CARDOSO, 2020).

3.13.1. O que é um absorvente

A adsorção é um fenômeno físico ou químico em que átomos, moléculas ou íons introduzem-se em alguma outra fase e fixam-se. O processo pode se dar pela fixação de um gás por um sólido ou um líquido, ou a fixação de um líquido por um sólido. A substância absorvida se infiltra na substância que absorve, fazendo-a fazer parte do volume do absorvente (FREITAS, 2018).

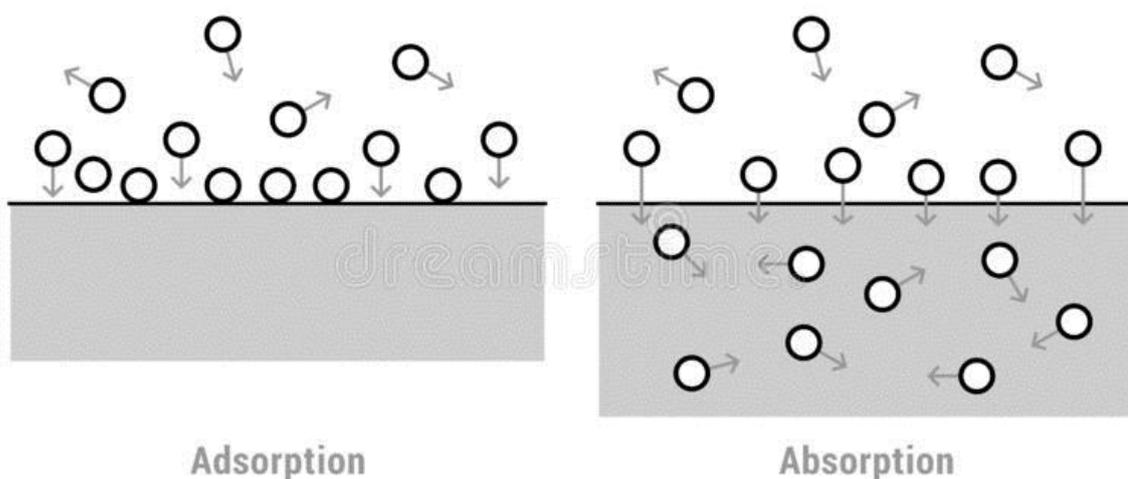
Os absorventes químicos são basicamente divididos em três categorias: Universal, que é o mais comum e popular absorvente, já que os absorventes universais são destinados a derramamentos químicos à base de óleo e água, e devido à sua versatilidade, a maioria das empresas escolhe esse tipo de absorvente (ZDRAZIL, 2013).

Somente óleo, é o absorvente que é destinado apenas à absorção de óleos, normalmente utilizados em empresas de químicos à base de petróleo. Hazmat, a última categoria de absorvente químico, utilizado em produtos químicos agressivos que absorventes universais ou de óleo são incapazes de manusear, além disso, os absorventes hazmat também podem ser usados para limpar água e/ou derramamento químico à base de óleo (ZDRAZIL, 2013).

3.13.2. Principais diferenças

De acordo com o site Opersan (2016), a grande diferença entre os dois processos é que na absorção a substância absorvida é embebida pela substância absorvente, se tornando parte de seu volume. Já na adsorção, a substância fica apenas retida na superfície adsorvente, sem se incorporar ao volume da outra.

Figura 13: Adsorção e absorção

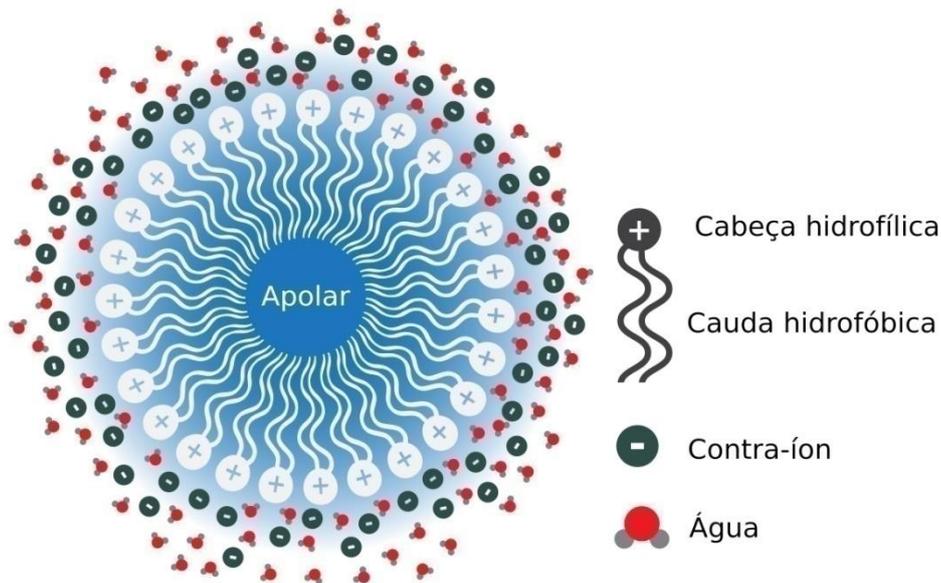


Fonte: Dreamstime, 2020

3.14. Reações Químicas do Detergente

Ao lavar a louça, a parte apolar (cauda hidrofóbica) da molécula do detergente interage com óleo, simultaneamente em que a parte polar (hidrofílica) reage com a água, e neste momento se formam as micelas, sendo elas um agregado das moléculas do detergente (EASY, 2017).

Figura 14: Micela



Fonte: FERREIRA, 2018

A água acaba interagindo apenas com a parte externa da micela, que é polar, sendo assim, ela é facilmente manipulada pela água em movimento, arrastando as moléculas de gordura que está aprisionada no interior da sua formação (EASY, 2017).

O leite é um uma substância protéica, constituído basicamente por água, lipídios e proteínas. Em sua reação, o detergente quebra as forças existentes entre essas proteínas utilizando o agente tensoativo, enfraquecendo a tensão superficial do líquido protéico. Dessa forma, as moléculas de gordura se movimentam e se misturam de forma psicodélica, ocorrendo o processo de lavagem (EASY, 2017).

3.15. Reações do Adsorvente

3.15.1. Tratamento de água

O carvão ativado possui um papel fundamental na purificação de águas, seja para fins potáveis ou industriais. Elimina cor, odor, mau gosto e remove substâncias orgânicas

dissolvidas através do mecanismo de adsorção. Além disso, o carvão ativado remove compostos orgânicos, fenólicos e substâncias que diminuem a qualidade da água, como pesticidas, micropoluentes, podendo atuar como barreira a bactérias e vírus. Pode também ser utilizado no pré-tratamento da água utilizada nas indústrias de alimentos, bebidas, farmacêuticas e na osmose reversa (MUCCIATO, 2009).

3.15.2. Resíduos industriais

O carvão ativado pode ser utilizado na reciclagem de águas industriais, bem como na remoção de substâncias presentes nas águas, por exemplo, naftalenos, dodecilbenzeno, sulfonato, benzeno e fenol, entre outros. Quando misturado ao lodo bioativo, intensifica a eficiência de orgânicos específicos, melhora a estabilidade do processo, reduz a espuma desenvolvida e melhora as características do lodo (MUCCIATO, 2009).

3.16. Adsorção e Biossorventes

O termo biossorvente engloba toda a biomassa, seja ela ativa (com atividade metabólica) ou inativa (sem atividade metabólica). Todos os biossorventes são oriundos de alguma forma biológica, como vegetais, crustáceos, micro-organismos e animais. Quando formas ativas são utilizadas como biossorventes (micro-organismos ou plantas que hiperacumulam metais tóxicos) os sistemas de remoção de íons metálicos se tornam mais complexos envolvendo rotas metabólicas de bioacumulação (PINTO, 2018).

3.16.1. Características relevantes

Segundo VOLESKY (1987), para que uma biomassa seja considerada um bom biossorvente é necessário que ela siga os seguintes requisitos:

- Sorção eficiente e rápida liberação do material adsorvido;
- Baixo custo de produção do material biossorvente e possibilidade de reutilização;
- Separação eficiente, rápida e barata do biossorvente da solução;
- Elevada seletividade de adsorção e dessorção de metal.

Além dos requisitos citados, a aplicação de materiais biossorventes em processos de biossorção em grande escala requer uma avaliação quanto à capacidade máxima de sorção, cinéticas de sorção, recuperação do metal, regeneração e reutilização do biossorvente, estado físico do biossorvente (dureza, porosidade, tamanho de partícula) e resistência a um amplo espectro de parâmetros variáveis como temperatura, pH, quantidade de solvente, etc (VOLESKY, 1990).

3.16.2. Pectina

A pectina é um hidrocoloide natural, encontrado em todas as frutas, como componente da parede celular, em quantidade variando conforme a espécie e o estado de maturação das frutas (TEIXEIRA, 2019).

Existem frutas muito ricas em pectina, entretanto, a maioria possui muito pouco dessa substância. Mesmo frutas que possuem uma quantidade muito grande, ainda assim, é necessário verificar a sua qualidade, pois existe uma variação muito grande na capacidade da pectina de se formar o gel. Muitas vezes, é necessário que se acrescente pectina para ajustar o teor para um nível adequado, que é em torno de 1% (TEIXEIRA, 2019).

3.16.3. Carvão ativado

Carvões ativados são materiais carbonosos porosos que apresentam uma forma microcristalina, não grafítica, que sofreram um processamento para aumentar a porosidade interna. Uma vez ativado, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e assim sucessivamente. Esta porosidade diferenciada é classificada segundo o tamanho em macro, meso e microporosidade (CLAUDINO, 2003).

Quase todos os materiais que possuem um alto teor de carbono podem ser ativados. Os precursores utilizados são cascas de coco, de arroz, de nozes, carvões minerais (antracita, betuminoso, linhito), madeiras, turfas, resíduos de petróleo, ossos de animais, caroços de pêssigo, de damasco, de amêndoa, de ameixa, de azeitona e grão de café, entre outros materiais carbonáceos. A maior parte dos materiais carbonáceos possui certo grau de porosidade, com área superficial variando entre 10 e 15 m² /g. No decorrer da ativação a área superficial aumenta com a oxidação dos átomos de carbono. Após a ativação, o carvão pode apresentar área superficial acima de 800 m² /g (CLAUDINO, 2003).

3.16.4. Maracujá-amarelo

O maracujá-amarelo é um dos mais cultivados e comercializados no Brasil, por ser originário da América Tropical. A casca do maracujá é rica em aminoácidos, proteínas e carboidratos, contendo ainda 10 a 20% de pectina de qualidade semelhante à da laranja (FILHO e SOUZA, 2017. Pg 16).

A pectina do maracujá é constituída de 76 a 78% de ácido galacturônico, 9% do grupo metoxila, galactose e arabinose. Tem propriedades geleificantes e pode ser comparado à pectina dos citros (FILHO e SOUZA, 2017. Pg 16)

3.16.5. Cana-de-açúcar

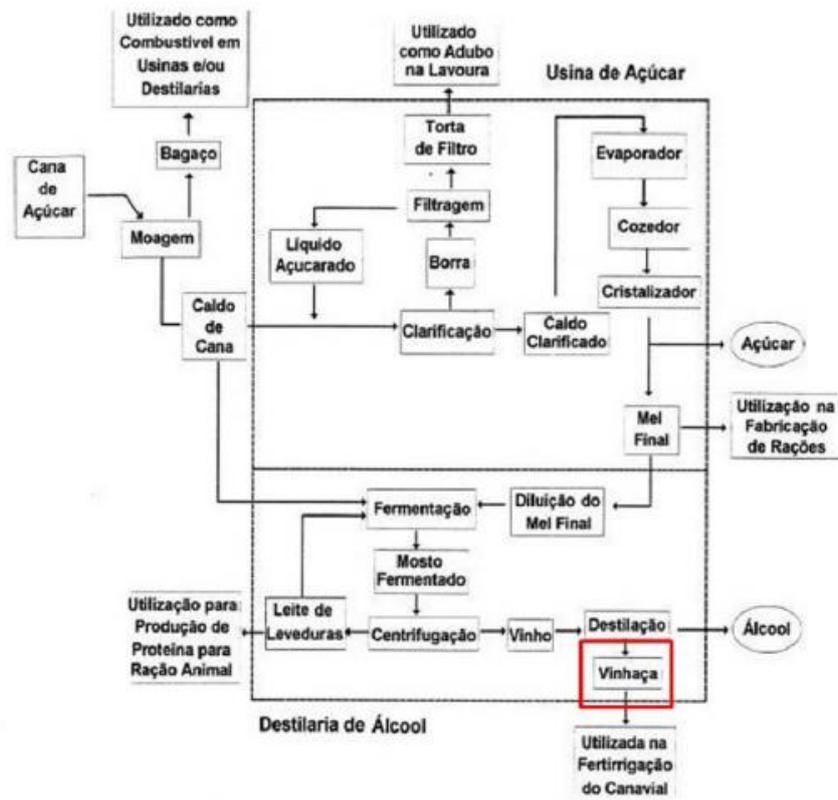
A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene (5 anos ou mais), pertencente à família Poaceae, a mesma do milho. A cana possui com perfilhamento abundante e produz de 4 a 12 colmos, com altura entre 3 e 5 metros e apresenta sistema radicular fasciculado e relativamente grande.

Possui alta eficiência fotossintética (C4), grande produção de biomassa, oferece alto controle da erosão do solo, com grande valor econômico baseado no teor de açúcar e biomassa (DEL PUNO, 1994).

A cana-de-açúcar contém em média 12% de fibra que no processo de extração do caldo se transforma no bagaço da cana. Esta fibra tem composição química típica, contendo em média 36% de a-celulose, 31% de hemicelulose, 22% de lignina e 11% de outros constituintes. O bagaço da cana é usado preferencialmente na indústria açucareira e alcooleira como combustível para gerar energia térmica, consumida localmente. Sua produção é da ordem de 25% do total da cana moída, e seu consumo é dependente das necessidades energéticas do complexo industrial, podendo haver um excedente de bagaço de até 30% do total produzido (DEL PINO, 1994).

Da cana-de-açúcar pode ser aproveitado praticamente tudo, pois os subprodutos e resíduos podem ser utilizados na alimentação humana e animal, na fertilização de solos e na geração de energia. Dentre os subprodutos e resíduos, destacam-se: bagaço, melaço (ou mel final), torta de filtro, vinhaça, óleo fúsil, álcool bruto, levedura seca. O Brasil ocupa o primeiro lugar no ranking de produção de e exportação de etanol e açúcar do mundo. A constante procura por combustíveis renováveis que substituam o petróleo e não sejam tão nocivos ao meio ambiente. Torna a cana-de-açúcar uma cultura de importância mundial na busca da sustentabilidade (DEL PINO, 1994).

Figura 15: Fluxograma da obtenção de açúcar e álcool a partir da cana

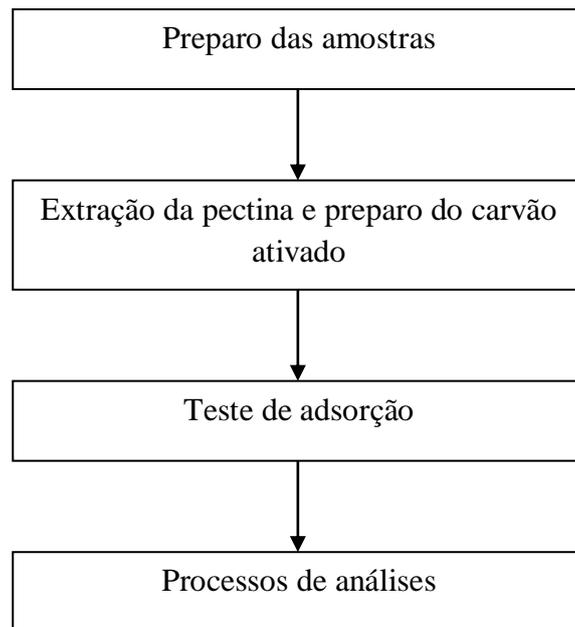


Fonte: MORTATTI, 2010

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades experimentais foram realizadas no laboratório de química na escola ETEC Trajano Camargo – Limeira/SP, baseado no Trabalho de Conclusão de Curso de BERNARDO, SANTOS e ROCHA sob a orientação do prof^o Dr. Sérgio Delbianco Filho e da prof^a Dra. Gislaine Aparecida Barana Delbianco, de acordo com o fluxograma (figura 16).

Figura 16: Fluxograma das atividades experimentais



Fonte: Os autores, 2021

4.1. Preparo das Amostras

O maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*) e a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) foram obtidos no comércio da cidade de Limeira/SP, no mês de agosto de 2021.

As matérias-primas foram selecionadas e separadas de acordo com as partes relevantes utilizadas no processo, sendo eles: as cascas do maracujá-amarelo e o bagaço da cana-de-açúcar depois de utilizado.

A primeira etapa do preparo de amostras foi o processo de lavagem do maracujá-amarelo (em água corrente) para a remoção de impurezas grosseiras a fim de evitar modificação por interferências externas. Esse processo foi feito diretamente no laboratório de química.

Após a lavagem das cascas do maracujá-amarelo, elas foram cortadas com utensílios de cozinha e armazenadas em sacos plásticos e postas em congelamento em um congelador

doméstico sob congelamento de aproximadamente -20°C . Este procedimento ocorreu devido ao rodízio de aulas ocorrido pela Pandemia.

As amostras de cana-de-açúcar foram conseguidas no comércio da cidade de Limeira-SP e cortadas e secas no sol por cerca de dois dias antes de iniciar o processo de transformar em carvão.

4.2. Extração da Pectina do Maracujá

4.2.1 Separação da pectina do bagaço

O procedimento para a extração da pectina do maracujá foi baseado e adaptado das metodologias apresentadas por Zanella (2013) e no Trabalho de Conclusão de Curso de Bernardo, Santos e Rocha (2019). Na tabela 2 é possível observados os dados de pH e tempo de extração aplicados

Tabela 2: Medidas utilizadas no 1º processo de extração

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Valor do pH	Tempo
80 $^{\circ}\text{C}$	4	90 min

Fonte: Bernardo, Santos e Rocha, 2021

Na primeira extração da pectina (casca), as cascas do maracujá foram descongeladas sob água corrente durante aproximadamente 30 minutos antes de iniciar o procedimento. Foi utilizado 450g de maracujá, sendo pesados em uma balança semi-analítica Brix Satorius 3607 com béqueres de 2000mL previamente tarados. Foi adicionando 80% de água do volume da massa total desejada, resultando em 500mL de água potável e após isso, o pH foi ajustado para 4 com ácido nítrico 0,1M. Após isso a mistura foi mantida em agitação constante por uma bagueta e com temperatura aproximada de 80°C durante 90 minutos. Depois de 90 minutos, o líquido que restou dentro da panela foi utilizado, enquanto o bagaço do maracujá foi descartado em lixo orgânico.

As amostras foram filtradas por uma peneira em temperatura morna, e os resíduos das cascas do maracujá foram descartadas. Após o termino da filtração, o filtrado líquido foi armazenado em um recipiente de vidro e mantido sob uma refrigeração de aproximadamente 6°C durante três dias em uma geladeira doméstica.

Na segunda extração, foram adaptadas algumas partes da metodologia para que fosse possível ser realizada em casa por conta do distanciamento da pandemia. O processo foi realizado apenas com a parte branca da casca (entrecasca), sendo foi feito em uma cozinha doméstica, onde foi retirada a entrecasca do maracujá-amarelo com o auxílio de uma faca e

pesada em uma balança SF-400, calculando um peso de 580g de maracujá. Após a pesagem foi adicionado 6 colheres de limão para ajustar o potencial pH do meio para ácido, adicionado aproximadamente 700mL de água potável e cozinhado em fogo brando por cerca de 30 minutos. O líquido que sobrou na panela foi armazenado em um frasco de vidro pasteurizado e posto em uma geladeira doméstica para refrigeração, enquanto o resto da entrecasca foi descartada.

Na terceira extração da pectina foi realizada no laboratório. Foi pesado em uma balança semi-analítica Sartorius BL610 475g de casca de maracujá-amarelo para a nova extração da pectina. Adicionou-se 400mL de água potável e houve um ajuste no pH utilizando 2 gotas de ácido nítrico, para que o pH ficasse entre 3 e 4. Após o reajuste, foi adicionado novamente mais 200mL de água potável e foi levado ao fogo em uma temperatura de 90°C por 60 minutos. Dessa vez, foi utilizado a entrecasca do maracujá e o líquido foi descartado. Na tabela 3 são apresentados as variantes do processo.

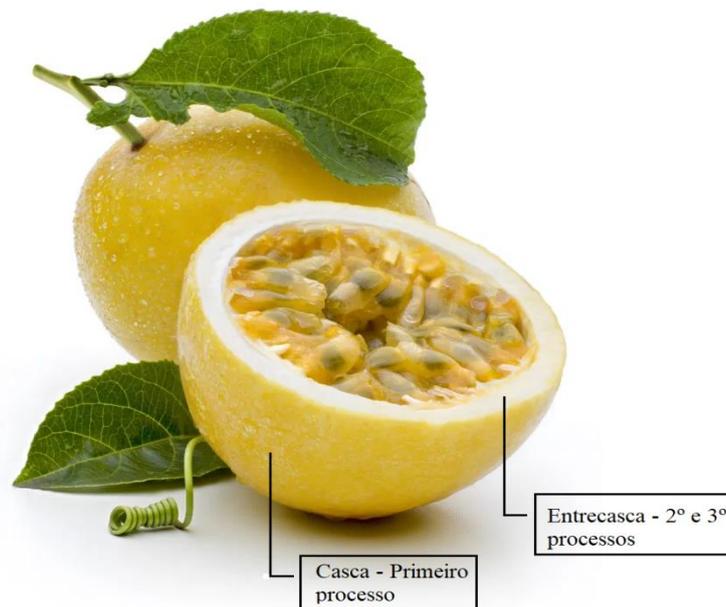
Tabela 3: Variantes do processo de extração

Extração	Temperatura (°C)	pH	Tempo	Material utilizado	Estado físico utilizado
1^a	80°C	4	90min	Casca	Líquido
2^a	150°C	Desconhecido	30min	Entrecasca	Líquido
3^a	90°C	3-4	60min	Entrecasca	Sólido

Fonte: Os autores, 2021

Após a extração da pectina das cascas do maracujá, foi utilizada a parte sólida da entrecasca (Figura 17) com o auxílio de uma colher, resultando em 420g e foi armazenado em um frasco de vidro e posto em uma geladeira doméstica em uma refrigeração.

Figura 17: Casca e entrecasca do maracujá



Fonte: Opas, 2021

4.2.2. Precipitação da pectina

Depois de três dias da primeira amostra da extração de pectina ser realizada, ao filtrado foi adicionado 1L de álcool etílico (70%) sob agitação lenta e constante. Ao final da adição, a agitação foi cessada, e tentou-se três formas de processos seguidos de filtração: primeiro, foi iniciado o processo de filtração com papel filtro, mas interrompido por conta do tempo; depois foi iniciado o processo de filtração a vácuo com o auxílio do Kitassato, mas foi interrompido; e por último, a precipitação da pectina foi separada da fase líquida com o auxílio de uma colher e posta para secar na estufa numa temperatura de 80°C e também posta no sol, trocando de hora em hora.

Na segunda tentativa de precipitação da pectina cuja extração foi realizada em uma cozinha doméstica, foi levada até o laboratório e guardado em uma geladeira doméstica por cinco dias consecutivos. Após retirar o frasco da geladeira, que estava com o líquido levemente gelatinizado, foi adicionado 100mL de etanol (85%) mas não houve precipitação do meio.

Não houve necessidade de realizar a precipitação da terceira amostra de pectina.

4.2.3. Secagem das amostras de pectina

Com a primeira pectina extraída do maracujá, com a falta de recursos e tempo para realizar a filtração, no primeiro dia de secagem foi posta para secar no sol e em uma estufa numa temperatura de 80°C. Depois de 2 horas e 30min de secagem, alternando entre o sol e a estufa, a pectina foi posta novamente no frasco de vidro e guardada na geladeira doméstica.

De uma a duas vezes por semana a cada 15 dias, a pectina guardada era posta na estufa na mesma temperatura de 80°C de 1 a 3 horas consecutivas. No final de um mês, a pectina ainda não havia secado, permanecendo em uma aparência gelatinosa e úmida.

Foi feito uma segunda secagem da pectina utilizando as amostras da 3ª tentativa de extração do maracujá. Foi pesado 385g da entrecasca do maracujá e no primeiro dia de secagem foi posto na estufa para secar em uma temperatura de 65°C por 1h20 minutos. Esse processo foi feito repetidamente a cada 15 dias, mas a pectina não secou completamente.

4.3. Carvão ativado

Para a produção do carvão ativado foi usado uma metodologia caseira apresentada pelo canal Guia do Sobrevivente, 2015.

Depois de deixar o bagaço da cana-de-açúcar secar no sol, foi utilizado uma lata de metal com tampa. O bagaço da cana foi posto na lata, que foi devidamente fechada, e feito um furo na tampa para que o oxigênio saísse e posta no fogo. Depois de cerca de 30 minutos, a lata foi retirada do fogo e a matéria-prima utilizada estava carbonizada sem a ação direta das chamas do fogo (figura X).

Após esse processo, o carvão ativado da cana-de-açúcar foi levado ao laboratório, onde foi macerado com o auxílio de um almofariz e pistilo e peneirado com uma peneira doméstica.

4.3.1. Ensaio de granulometria

Quando sua preparação foi finalizada, o carvão ativado de cana-de-açúcar foi submetido a um processo de granulometria, para determinar a porcentagem em peso que cada faixa de específica de tamanho das partículas. O procedimento foi feito com peneiras granulométricas, separando-os em seis granulometrias diferentes.

Foi utilizado seis peneiras diferentes da ASTM (mesh), com aberturas (mm) de acordo com a tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Granulometria das peneiras utilizadas

Abertura (mm)	ABNT/ASTM	Tyler/Mesh
850	20	20
600	30	28
425	40	35
300	50	48
212	70	65
150	100	100

Fonte: Os autores, 2021

4.4. Ensaio Para Medida de Eficiência dos Meios Filtrantes

4.4.1. Meio filtrante pectina

Após secar a pectina do maracujá, foi feito um filtro com funil de vidro e papel filtro utilizando 345g da massa da pectina como meio filtrante para uma mistura de 500mL de água com 10mL de detergente doméstico.

Demorou 3 horas para a pectina do maracujá terminar de filtrar a solução de detergente.

4.4.2. Meio filtrante carvão de cana

Depois dos testes de granulometria, como dito anteriormente, foi feita filtração com os seis carvões de forma simultânea. Foi feita uma mistura de 1,5L de água para 50mL de detergente neutro e utilizado aproximadamente 0,55g de carvão para cada filtro.

Demorou cerca de 4 horas para filtrar a solução de detergente em todos os carvões como meios filtrantes. Foi filtrado aproximadamente 250mL de água com detergente para cada um dos filtros.

4.5. Análises dos Meios Filtrantes

4.5.1. Análise de pH

Depois da filtragem, tanto do meio filtrante de pectina como de carvão, foi feita a medição de pH da água filtrada com o auxílio de um pHmetro de bancada mPA210 e comparada com água com detergente não filtrado.

Tabela 5: Variantes de pH dos meios filtrantes

Filtrante	Detergente	Pectina	20	28	35	48	65	100
pH	7,25	5,37	7,37	7,29	7,26	7,32	7,38	7,35

Fonte: Os autores, 2021

4.5.2. Análise de alcalinidade

Depois de realizar o processo de medição de pH, foi feito um teste de alcalinidade dos filtrados com base na metodologia do Manual de Procedimento Experimentais de Química Ambiental de Rosada (2012).

Foi utilizado uma pipeta volumétrica de 50 mL, bureta de 50 mL, frasco Erlenmeyer de 250mL, indicador vermelho de metila e solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,02N. Às amostras filtradas foram adicionadas 3 gotas de vermelho de metila como indicador e foi titulado a solução de H₂SO₄ 0,02N até a amostra mudar de cor para rósea.

Todas as amostras do carvão e da solução padrão de detergente foram feitas da mesma forma, exceto pelo filtrado da pectina.

Para a titulação dessa amostra, foi utilizado os mesmos equipamentos, mas com diferença nos reagentes. Foi usada fenolftaleína como indicador e hidróxido de sódio (NaOH). Foi usado 3 gotas de fenolftaleína como indicador e foi titulado até o ponto de viragem para a cor rósea. Isso porque o filtrado da pectina era o único com pH ácido.

4.5.3. Análise de dureza total da água

Para a análise de dureza total, também foi utilizado a metodologia de Rosada (2012) uma bureta de 50 mL, uma pipeta Pasteur, uma pipeta volumétrica de 25mL, balão volumétrico de 50mL, béquer de 100mL, béquer de 250mL, erlenmeyer de 250mL, solução EDTA 0,01M, solução tampão de pH 10, e Indicador Eriochrome Black T.

Foram transferidas 25mL das amostras e diluídas com 50mL de água deionizada em um balão volumétrico, e logo em seguida transferido para um béquer de 100mL onde foi adicionado 1,5mL de solução tampão, adicionado 0,05g de Indicador Eriochrome Black T, na qual deixou a solução púrpura avermelhada e finalmente transferido para um erlenmeyer para iniciar a titulação. A titulação foi feita até a cor púrpura se tornar azul.

O processo foi repetido com cada uma das amostras e água filtrada pelo carvão e pela pectina.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Preparo das Amostras

Como dito no capítulo anterior, as casacas de maracujá-amarelo foram previamente limpas e cortadas no laboratório (figura 18).

Figura 18: Cascas de maracujá-amarelo após preparação da amostra



Fonte: Acervo pessoal, 2021

5.2. Extração da Pectina do Maracujá

5.2.1. Separação da pectina do bagaço

Após a extração da pectina, pode-se perceber uma ligeira diferença entre a que foi feita em casa e a da 1ª extração realizada no laboratório.

A pectina extraída no laboratório (figura 19) apresenta uma coloração amarelo escuro puxado para o marrom, e tinha uma aparência gelatinosa depois de guardada sob refrigeração. Diferente da pectina extraída em casa (figura 20) que possui uma coloração amarela acentuada, mas com uma consistência muito líquida. Já a terceira extração da pectina (figura 21), realizada pela segunda vez no laboratório, foi usada a entrecasca do maracujá, apresentando uma aparência branca e com consistência pegajosa e macia.

Na terceira amostra da pectina foi decidido utilizar o bagaço do maracujá, a entrecasca, ao invés do líquido que sobrava no recipiente ao final do processo de extração. Isso porquê nas duas primeiras tentativas, com o líquido, a pectina não precipitava ou não secava até o ponto necessário para a formação do filtro.

Figura 19: 1º extração Pectina no laboratório



Fonte: Acervo pessoal, 2021

Figura 20: 2º extração Pectina caseira



Fonte: Acervo pessoal, 2021

Figura 21: 3º extração Entrecasca do maracujá



Fonte: Acervo pessoal, 2021

Ambas as amostras de pectinas extraídas apresentam uma aparência diferente do que a que Lima (2019) conseguiu em sua extração. Lima realizou a extração de pectina do maracujá, colocando as cascas na estufa em uma temperatura de 95°C com pH 2 (ajustado por ácido cítrico) por 90 minutos e após isso fez a extração ácida, conseguindo inicialmente uma precipitação úmida e translúcida que após a secagem se tornou seca e escura.

5.2.2. Precipitação da pectina

Na primeira extração da pectina, houve a tentativa de precipitação, tendo adicionado 1000mL de etanol (70%) como dito no capítulo anterior. Porém, como foi adicionado mais álcool do que o necessário, não ocorreu a devida precipitação da pectina do maracujá, mesmo tendo ficado de repouso após sua adição. Mesmo após alguns dias não consecutivos secando na estufa, a pectina continuou úmida e com aspecto gelatinoso (figura 22).

Com o excesso de álcool diluído na substância, não foi possível secar a pectina para prosseguir com o processo, por isso foi realizada uma segunda tentativa de extração para a precipitação.

Porém, da segunda tentativa com a pectina caseira, a pectina não gelatinizou em nenhum momento e não precipitou com a adição de etanol (85%).

Já na terceira tentativa da extração da pectina, como foi utilizada apenas a entrecasca do maracujá em estado sólido, não foi necessário a adição de etanol para a sua precipitação.

Figura 22: Pectina de maracujá após sair do resfriamento.



Fonte: Acervo pessoal, 2021

5.2.3. Secagem das amostras da pectina

Após a primeira precipitação da pectina, ela foi posta na estufa a 80°C a fim de secar e restar apenas a pectina sólida para a realização do adsorvente. Porém, mesmo deixando vários dias por horas na estufa, a mostra de pectina não secava completamente, permanecendo em um aspecto gelatinoso e úmido. Depois de um mês tentando secar a pectina, sem sucesso, ela foi descartada e dado início à segunda extração.

Na segunda extração, como não precipitou com a adição de álcool, não foi posta na estufa para secagem.

Na terceira amostra de pectina, dessa vez com a entrecasca em estado sólido, foi deixado cerca de 3h seguidas na estufa de 65°C uma vez a cada 15 dias. Mas mesmo depois de deixar secando, após guardar sob refrigeração em geladeira doméstica, a pectina retomava a umidade (figura 23).

Figura 23: 3º pectina após secagem em estufa



Fonte: Acervo pessoal, 2019

5.3. Carvão Ativado

Assim como citado no capítulo anterior, o carvão foi feito em ambiente doméstico a partir da cana-de-açúcar (imagem a seguir).

Figura 24: Carvão de cana-de-açúcar feito em casa



Fonte: Acervo pessoal, 2021

No pote de metal que foi feito o processo de carbonização para transformar a cana-de-açúcar em carvão ativado, foi feito um buraco na tampa lacrada de metal para que o oxigênio pudesse sair, pois para este processo necessita de uma atmosfera pobre em oxigênio para

evitar uma combustão completa, e posto no fogo doméstico em uma temperatura entre 150°C a 200°C. O processo foi interrompido quando parou de sair ar de dentro da lata, resultando no seguinte carvão.

Ao levar para o laboratório da ETEC Trajano Camargo/Limeira-SP, ele foi macerado a grãos pequenos prontos para ser feito o teste de granulometria, que foi separado seis granulometrias diferentes (figura 24) para o carvão de cana-de-açúcar e logo em seguida foram pesados (tabela 4).

Tabela 6: Resultados da granulometria e pesagem do carvão ativado

Granulometria	20 mesh	28 mesh	35 mesh	48 mesh	65 mesh	100 mesh
Peso	8,15g	6,1g	7,40g	4,70g	3,11g	13,38g

Fonte: Os autores, 2021

Figura 25: Resultado da separação granulométrica do carvão de cana-de-açúcar



Fonte: Acervo pessoal, 2021

5.4. Ensaio Para Medida de Eficiência dos Meios Filtrantes

5.4.1. Meio filtrante pectina

Para meio filtrante, foi utilizado a entrecasca do maracujá com a pectina em estado sólido e úmida. Ao filtrar a solução com detergente, como citado no capítulo anterior, foi possível notar que ainda tinha muito detergente na água filtrada por conta da espuma que fazia ao manusear o béquer de 2000mL com o filtrado.

A água filtrada pelo maracujá apresentou uma coloração levemente amarelada e com uma camada de espuma em sua superfície. Já a pectina utilizada como meio filtrante, ao final do processo perdeu sua cor amarela e se tornou branca. Logo depois do processo a pectina utilizada foi descartada.

5.4.2. Meio filtrante carvão de cana

Como dito no capítulo anterior, foi feito seis filtros diferentes para as seis granulometrias do carvão, a fim de identificar qual é mais eficiente (figura 26).

Figura 26: Processo de filtração do carvão de cana



Fonte: Acervo pessoal, 2021

Inicialmente, o carvão de cana de granulometria 35 foi o mais rápido a filtrar, diferentemente do carvão de granulometria 100, que foi o que mais demorou para filtrar. Na segunda filtração, o tempo dobrou e alguns os carvões de granulometria 20 e 28 se mantinham na superfície da água a ser filtrada. Visualmente, o carvão 20 foi o que menos apresentou espuma de detergente (figura 27), e o 65 foi um dos que mais apresentou (figura 28).

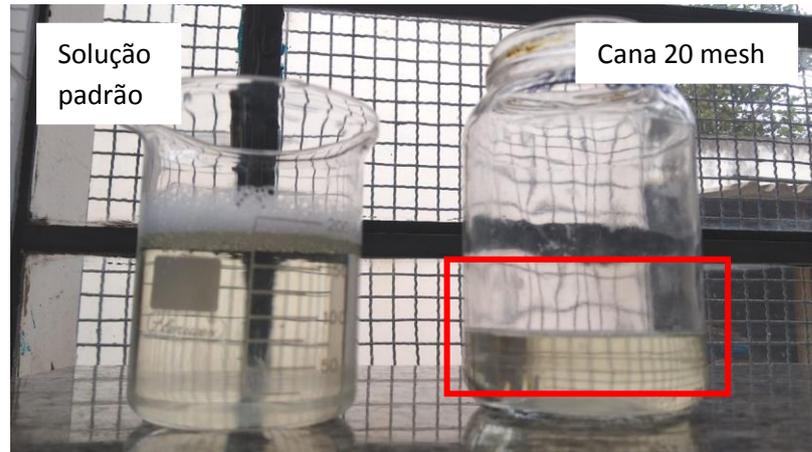
Foi realizada três filtrações consecutivas de forma que a cada nova filtração, demorasse mais tempo para os carvões terminarem de filtrar, como mostra a tabela a seguir.

Tabela 7: Resultado do processo de filtração do carvão de cana

Granulometria	20	28	35	48	65	100
Término de filtragem	4°	2°	1°	3°	5°	6°
1° Tempo	15min	9min	7min	12min	18min	22min
2° Tempo	36min	27min	22min	30min	40min	45min
3° Tempo	42min	33min	27min	36min	48min	1h
Detergente visível	Sem espuma	Pouca espuma	Com espuma	Sem espuma	Com espuma	Sem espuma

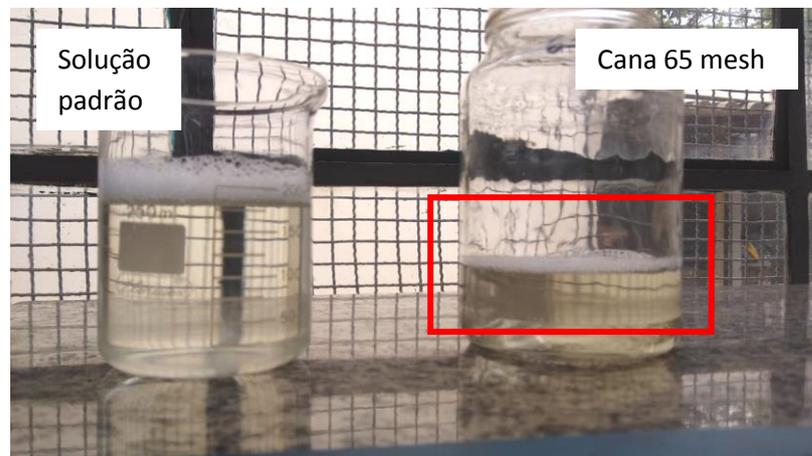
Fonte: Os autores, 2021

Figura 27: Comparação solução com água filtrada cana 20 mesh



Fonte: Acervo pessoal, 2021

Figura 28: Comparação solução com água filtrada cana 65 mesh



Fonte: Acervo pessoal, 2021

Após o processo de filtração do carvão, os carvões utilizados foram descartados em lixo orgânico como a da pectina de maracujá. A água filtrada era incolor, mas alguns filtrados apresentavam muito detergente facilmente identificável.

5.5. Análises dos Meios Filtrantes

5.5.1. Análise de pH

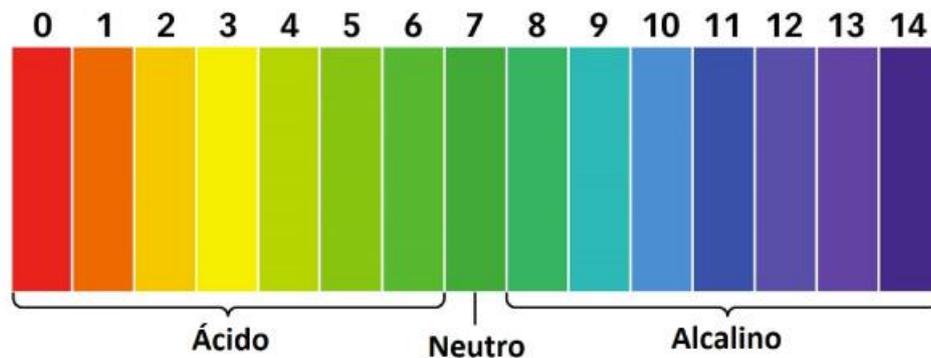
Depois do processo de filtragem, como dito no capítulo anterior, foi feito um teste de pH, onde se conseguiu os seguintes dados da tabela:

Tabela 8: Comparação qualidade do pH da água

	AMOSTRAS	pH
1	Detergente	7,25
2	Pectina	5,37
3	Cana – 20 mesh	7,37
4	Cana – 28 mesh	7,29
5	Cana – 35 mesh	7,25
6	Cana – 48 mesh	7,32
7	Cana – 65 mesh	7,38
8	Cana – 100 mesh	7,35
	Ideal da água	6,0 – 9,5

Fonte: Os autores, 2021

Muito se discute sobre o ideal de pH da água, principalmente sobre a questão de sua alcalinidade. De acordo com o site Acqualive (2021), o ideal de pH da água filtrada é ser alcalina com o pH entre 9-10. Porém, de acordo com o Ministério da Saúde, o pH ideal da água seja entre 6-9,5. É possível ver na imagem a seguir a questão de acidez e alcalinidade na escala de pH.

Figura 29: Escala de pH

Fonte: Beduka, 2019

Dessa forma, é possível perceber que apenas a água filtrada pela pectina possui o pH abaixo do ideal para o consumo humano, sendo ácido de 5,37.

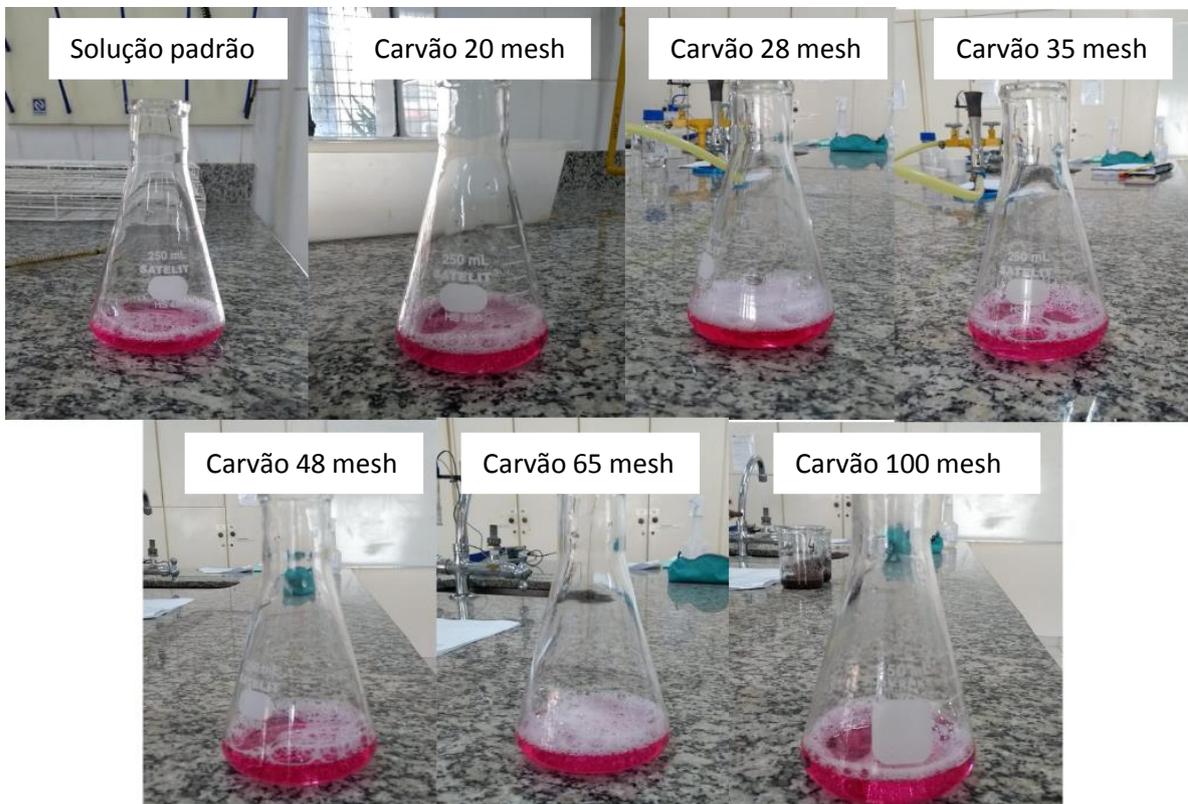
5.5.2. Análise de alcalinidade

Primeiramente, foi feita a diluição do ácido sulfúrico P.A. para 0,02N, resultando numa quantidade de 0,27mL para 500mL de água deionizada. Após a preparação da solução ser finalizada, foi feita a titulação (figura 30), resultando nos seguintes dados da tabela a seguir:

Tabela 9: Análise de alcalinidade

Solução padrão	1,6 mL
Carvão – 20 mesh	0,2 mL
Carvão – 28 mesh	0,1 mL
Carvão – 35 mesh	0,2 mL
Carvão – 48 mesh	0,2 mL
Carvão – 65 mesh	0,1 mL
Carvão – 100 mesh	0,1 mL

Fonte: Os autores, 2021

Figura 30: Ensaio de alcalinidade

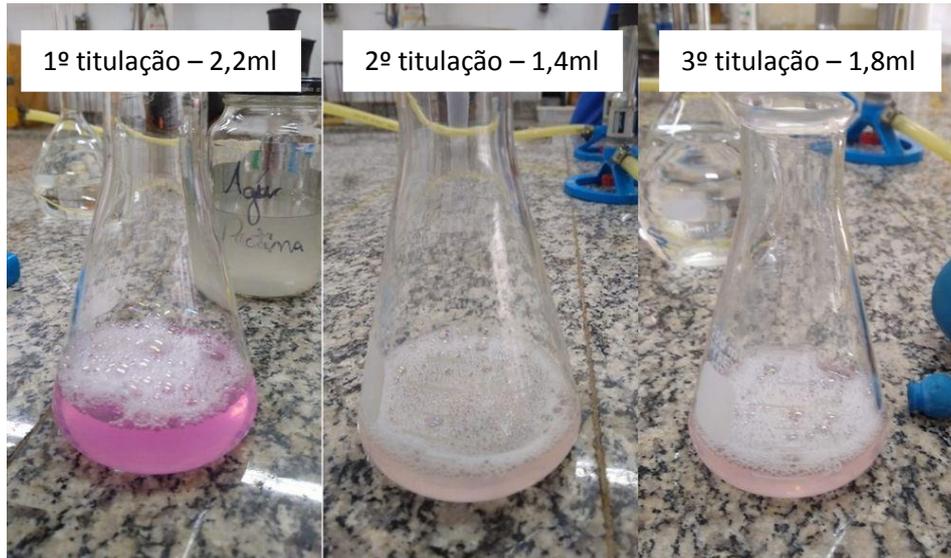
Fonte: Acervo pessoal, 2021

Após a titulação para determinação de alcalinidade dos carvões, foi feita uma titulação a fim de analisar a acidez do filtrado da pectina utilizando NaOH (hidróxido de sódio) 0,1M. Foi feita três titulações (figura 31) que obtiveram os seguintes resultados (tabela 10):

Tabela 10: Titulação para determinação de acidez do filtrado da pectina

	1ª titulação	2ª titulação	3ª titulação
Pectina	2,2 mL	1,4 mL	1,8 mL

Fonte: Os autores, 2021

Figura 31: Ensaio de acidez

Fonte: Acervo pessoal, 2021

Depois das análises e dos dados coletados, foi feito os cálculos de alcalinidade total em mg/L, sendo expressado pela equação $\text{Alcalinidade total CaCO}_3 = V \times 20$; na qual V = volume em mL da solução. Os resultados foram expressos na seguinte tabela:

Tabela 11: Resultado da equação de Alcalinidade Total

AMOSTRA	Titulação	Alcalinidade Total
Carvão – 20 mesh	0,2 mL	4mg/L
Carvão – 28 mesh	0,1 mL	2 mg/L
Carvão – 35 mesh	0,2 mL	4mg/L
Carvão – 48 mesh	0,2 mL	4mg/L
Carvão – 65 mesh	0,1 mL	2 mg/L
Carvão – 100 mesh	0,1 mL	2 mg/L

Fonte: Os autores, 2021

Diferentemente da amostra da pectina, que foi utilizada outra fórmula estequiométrica da metodologia de DEVESA, 2016. Essa formula consiste em $\text{Acidez Total} = \frac{Vb(\text{cm}^3) \times C \text{NaOH}(\text{mol/L}) \times \left[\frac{MM \text{NaOH}(\text{g/mol})}{2} \right] \times 100}{1000 \times Va(\text{cm}^3)}$. Onde, Vb = Volume da base; C = concentração de NaOH; MM = Massa Molar de NaOH; E Va = Volume da amostra.

Dessa forma, os resultados do teor de Acidez Total do filtrado da pectina foi calculado e expressado na seguinte tabela:

Tabela 12: Resultado da equação de Acidez Total

Amostra Pectina	Titulação	Acidez Total
1° Titulação	2,2mL	8,36mg/L
2° Titulação	1,4mL	5,32mg/L
3° Titulação	1,8mL	6,84mg/L

Fonte: Os autores, 2021

De acordo com Gaspar e Conceição (2017), a alcalinidade ideal da água para os processos de decomposição da matéria orgânica e respiração de microrganismos é de 30 a 500 mg/L. Nesse contexto dá para se concluir que a alcalinidade da água filtrada está longe de ser o ideal de água.

Em relação à acidez do filtrado da pectina, como dito anteriormente, o seu nível de acidez não é o ideal para a água e consumo humano.

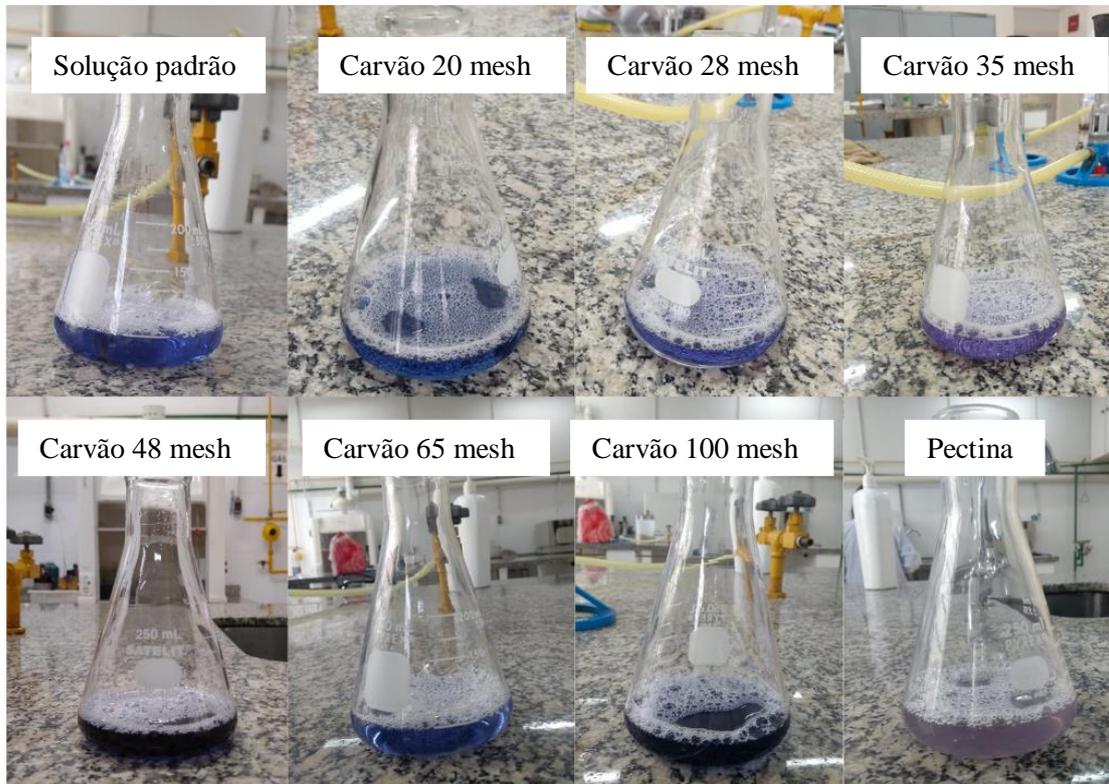
5.5.3. Análise de dureza total da água

Primeiramente, foi feita a diluição do EDTA P.A. para 0,01M, resultando em uma quantidade de 187ml de EDTA para 500mL de água deionizada. Após a preparação da solução ser finalizada, foi feita a titulação (figura 32), resultando nos seguintes dados da tabela a seguir:

Tabela 13: Análise de dureza

Solução padrão	2,6 mL
Carvão – 20 mesh	2,5 mL
Carvão – 28 mesh	2,7 mL
Carvão – 35 mesh	1,7 mL
Carvão – 48 mesh	2,0 mL
Carvão – 65 mesh	1,8 mL
Carvão – 100 mesh	1,5 mL
Pectina	6,5 mL

Fonte: Os autores, 2021

Figura 32: Ensaio de dureza

Fonte: Acervo pessoal, 2021

Depois das análises e dos dados coletados, foi feito os cálculos de dureza total da água em mg/L, sendo expressada pela fórmula de Dureza Total mg/L $\text{CaCO}_3 = \frac{\text{ml de EDTA} \times 1000}{\text{ml de amostra}}$. Os resultados foram expressos na seguinte tabela:

Tabela 14: Resultado da equação de Dureza Total

Amostra	Titulação	Dureza Total
Solução padrão	2,6 mL	52 mg/L
Carvão 20 mesh	2,5 mL	50 mg/L
Carvão 28 mesh	2,7 mL	54 mg/L
Carvão 35 mesh	1,7 mL	34 mg/L
Carvão 48 mesh	2,0 mL	40 mg/L
Carvão 65 mesh	1,8 mL	36 mg/L
Carvão 100 mesh	1,5 mL	30 mg/L
Pectina	6,5 mL	130 mg/L

Fonte: Os autores, 2021

Os dados foram comparados com a portaria do Ministério da Saúde 518/2004 para águas com destinação para consumo humano, tendo como limite máximo aceitável 500 mg/L.

De acordo com a tabela 13, os resultados obtidos de dureza total na água filtrada pelas amostras de carvão de cana-de-açúcar estão dentro dos limites aceitável da legislação do Ministério da Saúde. Águas com concentração < 50 mg/L de CaCO_3 são classificadas como moles ou brandas (GASPAR; e CONCEIÇÃO, 2017). Dessa forma, as amostras filtradas se encontram em uma média de 40 mg/L para variável dureza total. Com exceção da amostra filtrada pela pectina que teve o resultado de 130 mg/L, sendo pouco mais de $\frac{1}{5}$ do máximo aceitável pelo Ministério da Saúde, sendo considerada uma água dura.

6. CONCLUSÃO

Diariamente, sabões e detergentes usados em residências e indústrias atingem o sistema de esgoto e, sem o devido tratamento, acabam sendo despejados em rios e lagos, onde causam diversos efeitos nocivos nos corpos hídricos e na vida aquática. Por conta de sua ampla aplicação, os detergentes acabam indo parar no meio ambiente, promovendo a poluição de rios e solos. Seus tensoativos causam a espuma nos rios, afetando, além suas propriedades físico-químicas do solo, os seres vivos desse ecossistema, permanecendo no ambiente por longos períodos.

Por conta de óleos, petróleos e gasolina que acabam sendo despejados em bacias hidrográficas como resultado de diferentes atividades industriais, o sistema de adsorção tem chamado bastante a atenção, pois se apresenta como um método eficaz, econômico, com alta seletividade molecular, além de um baixo consumo energético. A adsorção ocorre naturalmente, mas os industriais aperfeiçoaram os métodos de adsorção para limpar resíduos e purificar a água potável. Este trabalho tem como objetivo estudar as propriedades de diferentes tipos de adsorventes buscando elaborar um protótipo a ser instalado nas tubulações residenciais a fim de minimizar a poluição dos rios e lagos.

Dessa forma, foi feito o processo de extração da pectina como principal meio de adsorção e a produção de carvão ativado a partir do bagaço da cana-de-açúcar, já que ambas matérias apresentam pólos de adsorção. Foi testado a pectina e o carvão da cana-de-açúcar e suas granulometrias como meio filtrantes, e logo em seguida submetido os filtrados a análises de pH, alcalinidade e acidez, e dureza total da água.

A partir dos testes foi possível deduzir que o meio filtrante da pectina não atingiu o objetivo visado, pois seu pH foi de 5,37, sendo abaixo do pH neutro e ideal de consumo da água, além de sua dureza de 130mg/L ser muito alta, embora não passe do limite de 500mg/L estipulados pelo Ministério da Saúde. Já o carvão de cana-de-açúcar, conseguiu manter o pH na média de 7,30, embora sua alcalinidade, de 2-4 mg/L passe longe do ideal de 30mg/L, e sua dureza ficou em uma média de 40 mg/L, sendo considerável uma água mole.

Desta forma, podemos afirmar que o carvão da cana apresentou os melhores resultados expectativas e indicam que novos estudos devem ser realizados em busca de uma extração ácida da pectina a vácuo, em busca de melhoria da qualidade dos íons.

Para futuros projetos recomenda-se o estudo de outras matérias primas, como a laranja, e análises mais profundas para detecção do detergente filtrado, como análise de turbidez e espectrofotometria. Além de simular os meios em um protótipo de filtro no encanamento de pias durando o uso diário e o tempo de vida do adsorvente.

REFERÊNCIAS

Acqualive. “**pH da água – O que é e como ele pode me ajudar?**”; *Acqualive*. Disponível em: <https://www.acqualive.com.br/ph-da-agua>. Acesso em: novembro de 2021.

ADAO, Manuel. “**Qual a diferença de sabão e detergente?**”, *Quora*. Disponível em: <https://pt.quora.com/Qual-a-diferen%C3%A7a-de-sab%C3%A3o-e-detergente>. Acesso em: março de 2020.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; e CASAGRANDE, J. C. “**Isotermas de Langmuir e de Freundlich na descrição da adsorção de boro em solos altamente intemperizados**”; *Scielo*. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161998000300005. Acesso em: abril de 2020.

ALMEIDA, C. A. P. **Caracterização do lutito barro branco e avaliação de sua capacidade como adsorvente de corantes usando o azul de metileno como modelo**. 2005. 179 f. tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.

ALVARENGA, Gabriel Martins de; ANHESIME, Naira Buzzo; BOTERO, Weslei Bruno; COSTA, Rodrigo Cesar; e SILVA, Fernando José Meira de. “**Adsorção: Prática 5**”; *Docsity*. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/adsorcao-11/4876966/>. Acesso em: abril de 2020.

ALVES, Líria. “**Detergentes e poluição**”, *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/detergentes-poluicao.htm>. Acesso em: março de 2020.

ALVES, Líria. “**Problemas Industriais Decorrentes do mau uso do Detergente**”, *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/detergentes-poluicao.htm>. Acesso em: março de 2020.

APEEL, C.; MA, L. Q.; RHUEL, R. D. **Point of zero charge determination in soils and minerals via traditional methods and detection of electroacoustic mobility**. *Geoderma*, v. 113, p. 77-93, 2003.

AUGUSTYN, Adam. “**Surfactant**”; *Britannica*. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/surfactant>. Acesso em: abril de 2020.

Beduka. “**O que é pH?**”; *beduka*. Disponível em: <https://beduka.com/blog/materias/quimica/o-que-e-ph/>. Acesso em: novembro de 2021.

BENEVIDES, Ruy Figueiroa. “**Adsorção em superfícies sólidas**”; *Doc Player*. Disponível em: <https://docplayer.com.br/45113301-Adsorcao-em-superficies-solidas.html>. Acesso em: agosto de 2021.

BERNARDO, Guilherme Cavalcante; SANTOS, Lucas Daniel Ribeiro do.; e ROCHA, Vitor Gabriel Silva. “**Adsorção simultânea de corantes têxteis residuais através de biossorventes**”; *Repositório*. Disponível em: <file:///C:/Users/leite/OneDrive/Documentos/TCC%20Lucas%20Base.pdf>. Acesso em: agosto de 2021.

BERTOLINO, Luiz Carlos; NOVO, Bruna de Lemos; e SIMÕES, Karla Mayara Arguelles. “**Estudo termodinâmico de adsorção e dessorção de chumbo e cádmio em efluentes**

sintéticos utilizando a palygorskita como adsorvente"; *pdf*. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1995/1/Bruna%20de%20Lemos%20Novo.pdf>. Acesso em: abril de 2020.

BNDES. **“Potencial de diversificação da indústria Química Brasileira: Relatório 4 – Tensoativos”**; *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social*. Rio de Janeiro – RJ – Brasil. Editora: Brain & Company. 2014.

BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. *Soil chemistry* New York: John Wiley, 1979.329p.

BRANDÃO, Poliana Cardoso. **“Avaliação do uso do bagaço de cana como adsorvente para a remoção de contaminantes, derivados do petróleo, de efluentes”**. 2006. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

CARDOSO, Joana Filipa. **“Adsorção de detergentes em efluentes aquosos usando aerogéis de sílica”**; *Universidade de Coimbra*. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/83075>. Acesso em: abril de 2020.

CASTRO, Heizir F. de. **“Detergentes e Sabão”**, *Passei Direto*. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/49220303/detergentes-e-sabao>. Acesso em: março de 2020.

Chemistry Learning. **“Adsorption”**, *Chemistry Learning*. Disponível em: <http://www.chemistrylearning.com/adsorption/>. Acesso em: março de 2020.

CLAUDINO, Andréia. **“Carvão Ativo”**; Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86346/192226.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: junho de 2021.

COELHO, Gustavo Ferreira; DOMINGUES, Caio Vinicius Ramires; JR., Affonso Celso Gonçalves; MIOLA, Alisson Junior; SCHWANTES, Daniel; e SOUZA, Ricardo Felipe Braga de. **“Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em água”**; *pdf*. Disponível em: <http://www.dca.uem.br/V3NE/21.pdf>. Acesso em: abril de 2020.

COLDEL, Cristiane. **“Adsorção: o que é, como se classifica, o tratamento matemático e as aplicações”**; *Docsity*. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/adsorcao-5/4750588/>. Acesso em: abril de 2020.

CONDON, James (2020). **Surface Area and Porosity Determinations by Physisorption**, 2nd edition. Amsterdam, NL: Elsevier. pp. Chapters 3, 4 and 5. ISBN 978-0-12-818785-2

COONEY, D. O. *Adsorption Design for Wastewater Treatment*. Florida: CRC Press, 1999

DALTIN, Decio. **“Tensoativos: química, propriedades e aplicações”**, *Usp*. São Paulo – Sp: Editora Edgard Blucher Ltda. 2012.

DAVIDSOHN, A. S. **“Soap and detergent”**; *Britannica*. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/soap/Finishing-synthetic-detergents>. Acesso em: abril de 2020.

DAVIDSOHN, A. S. “**Raw materials**”; *Britannica*. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/soap/Raw-materials#ref624659>. Acesso em: abril de 2020.

DEL PINO, Jose Claudio, “**Cana de açúcar**”, Disponível em: https://btdt.ibict.br/vufind/Record/URGS_de7e763331d23743935f303ef8c08c27. Acesso em : Setembro de 2021.

DEVESA, Susana. “**Determinação da Acidez Total de um Vinho**”; *Grupo de Químicos Jovens*. Disponível em: <https://gqj.spq.pt/chemrus/2016/11.pdf>. Acesso em: novembro de 2021.

DIAS, Diogo Lopes. “**Detergentes**”; *Manual da Química*. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-ambiental/detergentes.htm>. Acesso em: março de 2020.

DIAS, Diogo Lopes. “**Composição orgânica do detergente**”; *Manual da Química*. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-ambiental/detergentes.htm>. Acesso em: março de 2020.

DOGAN, M.; ALKAN, M.; DEMIRBAS, Ö. **Adsorption kinetics of maxilon blue GRL onto sepiolite**. *Chemical Engineering Journal*, v. 124, p. 89-101, nov. 2006.

DOMINGUES, V. M. F. **Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas**. 2005. 224 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2005.

Dreamstime. “**Absorção e Adsorção**”; *Dreams Time*. Disponível em: <https://pt.dreamstime.com/absor%C3%A7%C3%A3o-e-adsor%C3%A7%C3%A3o-dispon%C3%ADvel-na-alta-resolu%C3%A7%C3%A3o-nos-diversos-tamanhos-para-caber-as-necessidades-de-seu-projeto-image143925950>. Acesso em: agosto de 2021.

Equipe eCycle. “**Sabão e Detergente: Conheça seus impactos ambientais**”, *eCycle*. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/2288-impactos-do-sabao-e-detergente>. Acesso em: março de 2020.

EASY, “**Reação química do detergente**” *EaseyQuimica*, Disponível em: <https://medium.com/@easyquimica>. Acesso em: março de 2020.

ERONDU, Ebere S. e NDIMELE, Prince Emeka. “**Adsorbent Materials**”; *Science Direct*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/adsorbent>. Acesso em: abril de 2020.

FANGMEIER, Michel; e HOEHNE, Lucélia. “**Avaliação de Carvão ativado e se sílica como adsorventes para amostras com corantes e com sódio**”; *pdf*. Disponível em: <file:///C:/Users/leite/Downloads/242-249-1-PB.pdf>. Acesso em: abril de 2020.

FABRÍCIO “**Sabões e detergentes**”; *Usp*. Disponível em: <http://www.dequi.eel.usp.br/~fabricio/detergente.pdf>. Acesso em: maio de 2021.

FERREIRA, Vânia Ribeiro. “**Compostos Tensioativos**”; *info Escola*. Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/compostos-tensioativos/>. Acesso em: agosto de 2021.

FIGUEIREDO, Erica Airosa. **“Detergentes”**, *Info Escola*. Disponível em: <https://www.infoescola.com/produtos-quimicos/detergentes/>. Acesso em: fevereiro de 2020.

FILHO, Júlio César Bueno da Silva; SOUZA, Vinícius Lopes de. **“Extração da pectina de maracujá amarelo (*Passiflora edulis*) em meio ácido/etanólico e avaliação de um processo de amidação”**. 2017. Pg 16. Trabalho de Conclusão de Curso — ETEC Trajano Camargo, Limeira-SP.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **“Química dos Sabões e Detergentes”**, *Alunos Online*. Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/quimica/quimica-dos-saboes-detergentes.html>. Acesso em: março de 2020.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **“Conceito de pH”**; *Manual da Química*. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/conceito-ph.htm>. Acesso em: maio de 2021.

FREITAS, Natália. **“Resumo Absorção Química”**; *Passei direto*. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/55600560/resumo-absorcao-quimica>. Acesso em: abril de 2020.

GALGANO, Paula Decot. **“Líquidos Iônicos Tensoativos: Correlação entre Estrutura Molecular e Propriedades Micelares de Cloretos de 1,3-dialquilimidazólio”**; *Instituto de Química da Universidade de São Paulo*. São Paulo. 2012.

GOMIDE, Reynaldo. **“Adsorção”**; *Docsity*. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/adsorcao-8/4811838/>. Acesso em: abril de 2020.

GRANDIM, Artur João. **“Pesquisa aborda mercado de tensoativos no Brasil”**; *Cosmetics Online*. Disponível em: <https://cosmeticsonline.com.br/index.php/detalhes-formuladores/131/materia/31?pagina=noticias/detalhes-formuladores/131/materia/31>. Acesso em: abril de 2020.

GASPAR, Jailson da Costa; e CONCEIÇÃO, Gongalo Mendes da. **“Parâmetros e indicadores da qualidade da água no Riacho do Ouro, Caxias, Maranhão”**; *Centro Científico Conhecer*. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2017a/biol/parametros%20e%20indicadores.pdf>. Acesso em: Novembro de 2021.

Guia do Sobrevivente. **“Como fazer carvão ativado em casa — simples e fácil”**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JwduiwhUmxk&t=10s>. Acesso em: setembro de 2021.

KHATTRI, S. D.; SINGH, M. K. **Colour removal from dye wastewater using sugar cane Dust as na adsorbent. Adsorption Science & Technology, Brentwood**, v. 17, n. 4, p. 269-282, 2009.

LAURÉN, Susanna. **“What are surfactants and how do they work?”**; *Surface Science Blog*. Disponível em: <https://blog.biolinscientific.com/what-are-surfactants-and-how-do-they-work>. Acesso em: abril de 2020.

LIMA; Ari Clecius Alves de; MELO, Diego de Quadros; NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do; RAULINO, Giselle Santiago Cabral; VIDAL, Carla Bastos. **“Adsorção: Aspectos**

teóricos e Aplicações ambientais”, *Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC)*. Av. da Universidade, 2932, fundos – Benfica – Fortaleza-Ceará. Editora Fortaleza, 2014.

LIMA, Rodrigo Tanajura Freire Meira. “**Extração da pectina do maracujá-amarelo**”. *Repositório UTFPR*. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12508/1/FB_COENQ_2019_1_30.pdf. Acesso em: outubro de 2021.

LONG, Heather. “**Laundry Detergent History**”, *Love to Know*. Disponível em: https://cleaning.lovetoknow.com/Laundry_Detergent_History. Acesso em: abril 2020.

MAGALHÃES, Lana. “**Adsorção**”, *Toda Matéria*. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/adsorcao/>. Acesso em: março de 2020.

Meio Ambiente. “**Detergentes e Poluição – Espuma Perigosa**”, *Cultura Mix*. Disponível em: <https://meioambiente.culturamix.com/poluicao/detergentes-e-poluicao-espuma-perigosa>. Acesso em: março de 2020.

MIOOTTO, Naiara; PENHA, Fábio G.; PERGHER, Sibebe B. C.; RIGOTI, Eduardo; e SUTILI, Felipe K. “**Aplicação de zeólitas sintéticas como coadjuvante em formulação detergente**”; *Scielo*. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000400010&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: abril 2020.

MORTATTI, Bruno Cesar. “**Caracterização físico-química dos solos e comportamentos dos contaminantes da vinhaça por processo de difusão**”. Campinas-SP, IG/UNICAMP. Dissertação de Graduação, 2010.

MOYA, A. S. “**El invento que substituyó a la orina como produto de limpieza**”; *ABC Ciencia*. Disponível em: <https://www.abc.es/ciencia/20150525/abci-origen-detergente-orina-201505222029.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>. Acesso em: abril de 2020.

MUCCIATO, João Carlos. “**Reação química do adsorvente**”; *Pacha*. Disponível em: <https://medium.com/@easyquimica>. Acesso em: Abril de 2020.

MURANAKA, Cíntia Tiemi. “**Combinação de adsorção por carvão ativado com processo oxidativo avançado (POA) para tratamento de afluentes contendo fenol**”. São Paulo: 2010.

Nova Opersan. “**Absorção e adsorção: O que são e quais as diferenças?**”; *Portal Tratamento de Água*. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/absorcao-e-adsorcao-o-que-sao-e-quais-as-diferencas/>. Acesso em: abril de 2020.

OLIVEIRA, Vanessa. “**IMPACTOS AMBIENTAIS DO SABÃO E DETERGENTE**”, *Encontre sua Pesquisa*. Disponível em: <http://encontresuapesquisa.blogspot.com/2015/03/impactos-ambientais-do-sabao-e.html>. Acesso em: março de 2020.

OLIVEIRA, Joseane Machado de; e LICKS, Letícia. “**Tratamentos de efluentes de limpeza**”; *Senai-RS*. Disponível em:

https://www.senairs.org.br/sites/default/files/documents/tratamento_de_efluentes_de_limpeza.pdf. Acesso em: agosto de 2021.

OPAS. “**O Maracujá e Seus benefícios à Saúde**”; *Opas*. Disponível em: <https://opas.org.br/o-maracuja-e-seus-beneficios-a-saude/>. Acesso em: novembro de 2021.

Opersan. “**Absorção e adsorção: o que são e quais as diferenças?**”; *Opersan Soluções Ambientais*. Disponível em: http://info.opersan.com.br/absor%C3%A7%C3%A3o-e-adsor%C3%A7%C3%A3o-o-que-s%C3%A3o-e-quais-as-diferen%C3%A7as?utm_campaign=Blog%20Opersan&utm_medium=social&utm_source=facebook. Acesso em: abril de 2020.

Pedroso, Aniely. **Caracterização e avaliação da influência do pH na adsorção de íons Ni (II) em águas utilizando cascas trituradas de Barú** (Dipteryx alata). 2016.

PERRI, Tiziana. “**History of detergents**”; *Eni School Energy & Environment*. Disponível em: <http://www.eniscuola.net/en/2016/08/03/history-of-detergents/>. Acesso em: abril de 2020.

PETRIN, Natália. “**Adsorção**”; *Estudo Prático – Terra Educação*. Disponível em: <https://www.estudopratico.com.br/adsorcao-fisica-e-quimica/>. Acesso em: abril de 2020.

PINTO, Wisliane do Nascimento. “**Tratamento de água e efluente de indústria de arroz parboilizado com o uso de biossorventes com auxiliares de floculação**”; *Instituto Federal de Educação*. Disponível em: http://cea.blv.ifmt.edu.br/media/filer_public/39/bb/39bb7a18-188e-46ac-824e-d5bf13cc22c4/wisliane_do_nascimento_pinto.pdf. Acesso em: agosto de 2021.

R. S.; BOSCO, S. M.; CARVALHO, W. A. **Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolécita** – influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. *Química nova*, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 734- 738, 2004.

Resíduos Industriais. “**Adsorção do Carvão Ativado no Tratamento de Efluentes**”; *Tratamento de Resíduos Agroindustriais*. Disponível em: <http://residuosagroindustriais.blogspot.com/2015/12/adsorcao-em-carvao-ativado-no.html>. Acesso em: agosto de 2021.

ROSADA, Denise. **Manual de Procedimentos Experimentais de Química Ambiental**. Curso Técnico de Química, 2012. ETEC Trajano Camargo.

S. Brunauer, *The Adsorption of Gases and Vapors*, Oxford University Press, 1943.

SALLES, Carolina. “**Sabões e Detergentes e Seus Impactos no Meio Ambiente**”, *Carollina Salle*. Disponível em: <https://carollinasalle.jusbrasil.com.br/noticias/118550867/saboes-detergentes-e-seus-impactos-no-meio-ambiente>. Acesso em: março de 2020.

SANTOS, Carolina Monteiro. “**Laranja**”; Disponível em: <https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/PosCA/dissertacao-carolina-santos.pdf>. Acesso em: junho de 2021.

SIERVO, Abner de “**Adsorção, dissorção e reações químicas em superfícies**”, *Unicamp*. Disponível em: <https://sites.ifi.unicamp.br/asiervo/files/2018/09/Topico5->

Adsorção e reações químicas em superfícies.pdf. Acesso em: março de 2020.

SILVA, Ricardo Gariba; e PÉCORA, Dr. Jesus Djalma. “**Unidades métricas correlacionadas à temperatura**”; *Usp.* Disponível em: http://www.forp.usp.br/restauradora/pg/textos_tecnicos/metrologia/metrologia_temperatura.html. Acesso em: maio de 2021.

SPOONER, Anna. “**Who Invented Laundry Detergent**”, *Love to Know*. Disponível em: https://cleaning.lovetoknow.com/Who_Invented_Laundry_Detergent. Acesso em: abril de 2020

SOUZA, Líria Alves de. “**Adsorver e absorver: Qual a diferença?**”, *Mundo educação*. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/adsorver-absorver-qual-diferenca.htm>. Acesso em: março de 2020.

TAVARES, L. C.; BARRA, I. M. M.; e FREITAS, C. “**Tensoativos: Propriedades e Aplicações**”, *Associação Brasileira de Química*. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2010/trabalhos/5/5-194-6513.htm>. Acesso em: fevereiro 2020.

TEIXEIRA, Silvana. “**Você sabe o que é pectina?**”; *Cpt.* Disponível em: <https://www.cpt.com.br/artigos/voce-sabe-o-que-e-pectina>. Acesso em: maio de 2021.

VALE, Lílian Berlandi do. “**Remoção de Desreguladores Endócrinos em Estações de Tratamento de Água e de Estudo: Estudo comparativo das técnicas disponíveis e projeto preliminar de unidade de tratamento**”; *Research Gate*. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Mecanismos-de-transporte-envolvidos-na-cinetica-do-processo-de-adsorcao_fig1_326723744. Acesso em: agosto de 2021.

VOLESKY, B., **Biosorption of Heavy Metals**. Boston: CRC Press, Inc., 396 p 1990.

WAMBIER, Marcia Mara. “**Remoção de detergentes em efluentes de usina elétrica a gás por tratamento físico-químico**”; *Roca*. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12049>. Acesso em: abril de 2020.

Wise Geek. “**What is Adsorption?**”, *Wise Geek*. Disponível em: <https://www.wisegeek.com/what-is-adsorption.htm>. Acesso em: março de 2020.

WILLIAMS, Jesse J. “**Anionic Surfactants**”; *Science Direct*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/anionic-surfactants>. Acesso em: abril de 2020.

WOLF, Ronni. “**Detergents**”; *Chemistry Explained*. Disponível em: <http://www.chemistryexplained.com/Co-Di/Detergents.html>. Acesso em: abril de 2020.

WOODFORD, Chris. “**Detergents and Soaps**”; *Explain that stuff*. Disponível em: <https://www.explainthatstuff.com/detergents.html>. Acesso em: abril de 2020.

ZDRAZIL, Travis. “**Chemical Absorbents 101: What You Should Know**”; *Absorbents Online*. Disponível em: <https://www.absorbentsonline.com/spill-containment-blog/chemical-absorbents-101-what-you-should-know/>. Acesso em: abril de 2020.