



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAPEBA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

DESENVOLVIMENTO DE UM APOIO A DESCISÃO NA PRODUÇÃO DE UM BIOADSORVENTE

Cecília Pimenta de Almeida

Ouro Branco/MG

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAPEBA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

DESENVOLVIMENTO DE UM APOIO A DESCISÃO NA PRODUÇÃO DE UM BIOADSORVENTE

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso Engenharia de
Bioprocessos da Universidade Federal
de São João Del-Rei, Campus Alto
Paraopeba, como parte das exigências
para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia de Bioprocessos.

Orientador: Prof. Edson Romano Nucci

Ouro Branco/MG

2022

“Os homens fazem sua própria história, mas não a fazem como querem; não a fazem sob circunstâncias de sua escolha, e sim sob aquelas com que se defrontam diretamente, legadas e transmitidas pelo passado.”.

Karl Marx

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico da variável linguística velocidade e as respectivas funções de pertinências baixo, médio e alto variando de 0 a 1.....	17
Figura 2: Modelo de processamento da lógica fuzzy.....	18
Figura 3: Fluxograma de estudo do processo	19
Figura 4: Tela de controle sobre o projeto fuzzy (adaptado de POSSELT et al., 2015).	20
Figura 5: Tela de controle projeto Fuzzy bioadsorvente	21
Figura 6: Função pertinência estufa	22
Figura 7: Função pertinência moinho_de_bolas.....	22
Figura 8: Função pertinência tanque_de_mistura.	23
Figura 9: Função pertinência Centrifuga	23
Figura 10: Função pertinência bioadsorvente.....	25

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Regras criadas no Bloco de Regras.	24
Tabela 2: Resultado das simulações.....	25

Sumário	
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. Objetivo Geral	10
2.2. Objetivo Específico.....	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1. Biomassa	11
3.2. Bagaço de Laranja	12
3.3. Adsorção	13
3.4. Bioadsorventes	14
3.5. Bioadsorvente produzido através do bagaço de laranja <i>in natura</i>	15
3.6. Lógica <i>Fuzzy</i>	17
4. METODOLOGIA	19
4.1. Elaboração do fluxograma do processo	19
4.2. Modelagem e simulação do processo pelo InFuzzy	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
5.1 . Simulações do processo pelo InFuzzy	25
6. CONCLUSÃO	26
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

RESUMO

A laranja, uma das frutas mais consumidas pela população e o Brasil, um dos maiores produtores mundiais. Com isso, grandes quantidades de resíduos são gerados, havendo a necessidade de reaproveitamento destes a fim de reduzir o impacto ambiental, além de ser uma alternativa de renda extra. Muito se tem estudado a possibilidade de utilização de resíduos de laranja na produção de bioadsorvente com o intuito de realizar tratamento de efluentes contaminados, visto que o processo de adsorção é uma técnica bastante viável e eficaz para a remoção de contaminantes. Neste trabalho, foram realizados estudos e simulações das interferências que as variáveis de processo têm sob a produção do bioadsorvente proveniente do bagaço da laranja. Durante a simulação, foi visto que a produção de bioadsorventes tem um maior valor de massa produzida quando todos os equipamentos operam dentro de suas faixas de idealidade. Sendo assim, foram criadas regras para simular tais interferências no programa InFuzzy, trazendo resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Bagaço da laranja, contaminantes, simulação, variáveis, InFuzzy.

ABSTRACT

Orange, one of the fruits most consumed by the population and Brazil, one of the largest world producers. With this, large amounts of waste are generated, with the need to reuse them in order to reduce the environmental impact, in addition to being an alternative for extra income. Much has been studied about the possibility of using orange residues in the production of biosorbents in order to treat contaminated effluents, since the adsorption process is a very viable and effective technique for removing contaminants. In this work, studies and simulations of the interferences that the process variables have on the production of the bioadsorbent from orange pomace were carried out. During the simulation, it was seen that the production of biosorbents has a higher value of mass produced when all equipment operates within its ideality range. Therefore, rules were created to simulate such interferences in the InFuzzy program, bringing satisfactory results.

Keywords: Orange pomace, contaminants, simulation, variables, InFuzzy.

1. INTRODUÇÃO

A laranja está entre as frutas mais produzidas e consumidas no mundo, sendo que sua produção ultrapassa 80 milhões de toneladas/ano (PANZERA, 2019). Em média, 34% da produção é transformada em suco, mas em grandes países produtores (Brasil e Estados Unidos), esta percentagem chega a 96%, o que gera grande quantidade de resíduos (CORAZZA; RODRIGUES; NOZAKI, 2021).

O principal uso do resíduo da laranja é como complemento para a ração animal, tendo boa aceitação por bovinos e caprinos (ITAVO et al, 2000). Recursos renováveis, provenientes de matéria orgânica vegetal ou animal, vem despertando o interesse dos pesquisadores para a produção de bioadsorventes (MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2022), no tratamento de águas residuais, por estes serem de baixo custo e abundantes na natureza (Wan Ngah; Hanafiah, 2007). Além disso, há também algumas limitações que fazem com que estes resíduos tenham uma utilização restrita, entre elas, o elevado teor de umidade, que acarreta problemas de coleta, transporte e armazenamento (LOUSADA et al, 2005).

Dessa forma, pode-se perceber que a natureza impõe certas restrições às transformações físicas e químicas da matéria, que precisam ser levadas em conta quando projetamos um novo processo ou analisamos um já existente.

Segundo PANZERA (2019), estudos envolvendo o tratamento de efluentes contaminados por plastificantes e metais pesados demonstram que a adsorção é uma alternativa viável e eficaz para a recuperação dos mesmos, e que o monitoramento e quantificação das taxas de adsorção são fundamentais na avaliação dos riscos e consequentemente na escolha da destinação destes contaminantes e do efluente.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo a avaliação e estudo do balanço de massa e energia no processo de produção de bioadsorventes a partir do bagaço da laranja aliando a Lógica Fuzzy concomitantemente, visto que sistemas que utilizam esta lógica são grandes aliados no desenvolvimento de

controle de processo. O uso desta lógica possibilita a incorporação de uma certa imprecisão em um problema (FEITOSA, 1992).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Investigar a produção de um bioadsorvente ambientalmente sustentável e de baixo custo, proveniente da biomassa bagaço de laranja, e aplicar a Lógica Fuzzy no estudo fazendo uma modelagem do processo para analisar o comportamento das variáveis envolvidas e as interferências dessas variações na quantidade de produto final do processo em questão.

2.2. Objetivo Específico

- Utilizar os conceitos da Lógica Fuzzy para estudar as interferências das variáveis do processo na produção de bioadsorvente.
- Realizar as simulações do processo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Biomassa

A biomassa é a fonte de 14% da energia utilizada no mundo (35% da energia nos países em desenvolvimento) (SEYE; CORTEZ; GOMEZ, 2000). Ela inclui qualquer matéria orgânica que se encontre disponível em uma base renovável ou recorrente, como vegetais de qualquer tipo, alimentos agrícolas e resíduos de culturas de alimentos, plantas aquáticas, madeira e seus resíduos, resíduos de origem animal e outros resíduos materiais (KAMM; GRUBER, 2005).

As questões ambientais têm alavancado o interesse por fontes renováveis de energia. Nesse contexto, os resíduos agroindustriais surgem como uma fonte importante para a produção de novos materiais, de produtos químicos e de energia. Entretanto, a conversão de biomassa em produtos com valor agregado para aproveitamento de resíduos agroindustriais e geração de menor impacto ambiental, ainda depende do desenvolvimento e da implementação de processos sustentáveis, em níveis viáveis economicamente (MORAES et al., 2017).

Segundo VIEIRA (2012), a energia presente na biomassa pode ser transformada (através de processos de conversão físicos, químicos e biológicos) em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos. O objetivo desta conversão é transformar um material carbonáceo de baixa eficiência energética para uma eficiência economicamente viável.

NOGUEIRA (2019) aponta que materiais de biomassa com potencial de alta energia incluem:

- Resíduos agrícolas como: palha, bagaço de cana, casca de café, casca de arroz, entre outros;
- Resíduos da floresta, tais como lascas de madeira, serragem e casca.

Segundo ROCHA (2015) existem diversos motivos para a biomassa ter se revigorado nos últimos 10 anos. Um dos fatores se deu pelo fato do setor agrícola estar produzindo cada vez mais quantidades excedentes de alimentos e, conseqüentemente, seus rejeitos. Esta situação levou a uma política de redução

dos excedentes, reduzindo consequentemente os passivos ambientais causados pelos rejeitos.

O caso do bagaço de cana é exemplar: ele é usado como fonte de energia nas usinas de álcool (que no passado queimavam óleo combustível ou lenha) e o excedente dessa energia é vendido como eletricidade. A capacidade geradora das usinas fornecedoras da rede elétrica chegou a 1,5 Gw em 2008 e poderá atingir 10 Gw em poucos anos, o que equivale a mais do total de energia que o Brasil importa do Paraguai, gerada em Itaipu. Porém, estima-se que não sejam aproveitados, no Brasil, mais de 200 milhões de toneladas de rejeitos da atividade agroindustrial, quantidade superior à produção brasileira de grãos (GALEMBECK; BARBOSA; SOUZA, 2009).

3.2. Bagaço de Laranja

A laranja (*Citrus sinensis*) é a fruta industrializada em maior quantidade no Brasil, sendo que aproximadamente 72% dos frutos produzidos são processados na forma de suco. Os principais produtos industrializados obtidos a partir de frutas cítricas são os sucos, apresentados em diferentes níveis de concentração, e os subprodutos deste processamento, como óleos, aromas e polpa (BENELLI, 2010).

Apesar do suco ser o principal produto da laranja, vários subprodutos, com valor comercial, são obtidos durante o seu processo de fabricação. Um dos principais problemas enfrentados pelas indústrias processadoras de suco de laranja é o grande volume de resíduos sólidos e líquidos produzidos diariamente. Os sólidos são constituídos pelas cascas, sementes e polpas que na grande maioria dos casos são utilizados como componente de ração animal, húmus, farelo de polpa cítrica, cama de frangos, adsorvente e silagem (STRÖHER, 2010).

O resíduo da indústria de suco de laranja, o bagaço, é um alimento com diversos benefícios para a alimentação de animais ruminantes. É um excelente material, rico em energia, mas pobre em proteína, pois a proteína contida nele é de baixo valor biológico. Devido ao seu alto valor energético, pode substituir com vantagem no preço os grãos na alimentação de ruminantes (SOARES, 2022)

A utilização desses materiais para a produção de biocarvões através da pirólise, se apresenta como um processo para a redução do volume de resíduos e uma destinação final ambientalmente mais adequada, não só aumentando a vida útil de aterros sanitários; como também gerando inovação para estas agroindústrias como coproduto, com possibilidade de geração de renda, pela potencial venda do biocarvão como condicionador de solo, componente de substrato e elemento filtrante (FEITOSA et al., 2020)

3.3. Adsorção

A adsorção é uma operação de transferência de massa, a qual estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos. Uma vez que os componentes adsorvidos, concentram-se sobre a superfície externa, quanto maior for esta superfície por unidade de massa sólida, tanto mais favorável será a adsorção. Por isso, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (BARROS, 2017).

A adsorção é um dos métodos mais populares e eficazes para a recuperação de metais tóxicos de soluções aquosas, principalmente pela flexibilidade de operação, assim, vários adsorventes são utilizados para remoção de íons metálicos tóxicos de efluentes industriais, onde a maior eficiência é observada para concentrações inferiores a 100 ppm. O método de adsorção é considerado uma das melhores tecnologias para remoção de metais tóxicos em todo o mundo (AZEVEDO, 2016).

O processo de adsorção pode ser classificado como adsorção química e adsorção física, dependendo da natureza das forças superficiais. A posição dos grupos funcionais sobre a superfície do adsorvente determina o tipo de interação que ocorre entre adsorvato/adsorvente e, portanto, define se o processo é adsorção física ou química (NASCIMENTO et al., 2014).

A adsorção por interação física está relacionada com as interações intermoleculares relativamente fracas, envolvendo principalmente forças de Van der Waals, dipolos permanentes e forças eletrostáticas existente entre adsorvato/adsorvente, ou seja, ocorrem quando as forças intermoleculares de atração das moléculas na fase fluida e da superfície sólida são maiores que as

forças atrativas entre as moléculas do próprio fluido e os calores de adsorção compreendidos são moderadamente baixos, além de formar camadas moleculares sobrepostas. A adsorção por ligação química é atribuída à troca de elétrons entre adsorvato/adsorvente, havendo formação de ligações químicas (iônicas ou covalentes polares) entre a superfície do adsorvente e o composto adsorvido de forma quase que irreversível, ou seja, ela envolve a interação química entre o fluido adsorvido e o sólido adsorvente; e os calores de adsorção são moderadamente altos (PROCÓPIO, 2017).

As técnicas de adsorção mostram-se viáveis no tratamento de águas contaminadas, e o bioadsorventes, resíduos agroindustriais biodegradáveis, possuem diversas vantagens, entre elas o baixo custo, a robustez, a facilidade de utilização e aplicação, alta eficiência e sua abundância na natureza (PROCÓPIO, 2017).

3.4. Bioadsorventes

Biomassas de diferentes origens são excelentes materiais para o controle da poluição hídrica. Entretanto, o aproveitamento da biomassa como adsorvente natural para controle da poluição ambiental tem sido pouco explorado em vários países, com destaque para o Brasil, um país rico em diferentes tipos de biomassas. Assim, o uso desses materiais como adsorventes é uma tecnologia inovadora no controle da poluição hídrica (FLECK; TAVARES; EYNG, 2013). O Grupo de Estudos em Solos e Meio Ambiente (Geoma) tem avaliado a utilização de diversos resíduos agroindustriais, tais como sementes de moringa oleífera, crambe, pinhão manso, cascas de mandioca, de castanha do Brasil, de castanha de caju e de pinus, visando a utilização desses materiais como bioadsorventes alternativos e sustentáveis, com o objetivo de remover metais e pesticidas de compartimentos ambientais (JUNIOR, 2013).

Dentre os materiais utilizados como adsorventes, o bioadsorvente produzido a partir de resíduos agrícolas têm recebido especial atenção de pesquisadores, principalmente por ser uma biomassa barata e com propriedades físico-químicas adequadas para o processo de adsorção (LEHNINGER, 2004).

Diferente do carvão ativado, os bioadsorventes podem ser utilizados na forma natural (in natura), onde o pré-tratamento consiste em uma lavagem para remoção de impurezas, submetido à diminuição do tamanho da partícula através

da moagem, peneirado para classificar o tamanho desejado e por fim, a secagem em temperatura variando entre 40 a 90 °C. Alguns autores, com a finalidade de melhorar a capacidade adsorviva, modificam sua estrutura com tratamento químico. Desse modo, fatores como pH, concentração do adsorvato, tipo de bioadsorvente, tempo de interação entre a solução inicial e a superfície do bioadsorvente vão influenciar na eficiência da remoção (PIQUET; MARTELLI, 2022).

A produção de bioadsorventes envolve duas etapas: a carbonização do precursor em atmosfera inerte e a ativação do material carbonizado. A etapa de carbonização consiste no tratamento térmico (pirólise) do precursor sob atmosfera inerte à temperatura, normalmente, superior a 473 K. É uma etapa de preparação do material na qual se removem componentes voláteis e gases leves (CO, H₂, CO₂ e CH₄), produzindo uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa primária que favorece a ativação posterior.

O processo de ativação ocorre após o processo de pirólise e consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, visando a obtenção de um material poroso e com elevada área superficial. A ativação consiste na retirada de componentes como alcatrão, creosoto e naftas, além de outros resíduos orgânicos que possam obstruir os poros (RAMOS et al., 2009)

O processo de ativação química é o de menor frequência, consiste na desidratação inicial do material carbonáceo por meio de produtos como cloreto de zinco (ZnCl₂) ou ácido fosfórico (H₃PO₄) a uma temperatura entre 400 e 500°C e posterior ativação na ausência de ar, com temperatura no intervalo de 500 a 700°C. O processo de ativação gera poros mais abertos, adequados a adsorção de moléculas grandes (CARVALHO, 2018)

3.5. Bioadsorvente produzido através do bagaço de laranja *in natura*

A utilização do bioadsorvente provenientes de resíduos tem despertado bastante interesse no tratamento de efluentes, pois é possível remover poluentes de forma eficaz, economicamente viável e com baixo custo energético (CUNHA et al., 2016).

Conforme Calgon (2011), o bioadsorvente pode ser produzido a partir de uma extensa variedade de materiais, sendo indispensável somente que a matéria-

prima contenha alto teor de carbono. Os precursores utilizados na fabricação do bioadsorvente podem ser de origem vegetal (como madeira, cascas de coco e banana, bagaço da laranja), animal (como os ossos) ou mineral (como petróleo, carvões minerais, plástico e material betuminoso) (CARVALHO, 2018).

No Brasil, na safra de 2017, foram produzidas cerca de 18.666.928 toneladas de frutos in natura de laranja, em uma área de 629,77 hectares (IBGE, 2018) e cerca de 10 milhões de toneladas de resíduos/ano são subutilizados (SANTOS et.al., 2022).

A casca de laranja é um dos materiais adsorventes alternativos, semelhantes ao carvão ativado, pois 50% do peso do fruto corresponde ao bagaço e à casca, o que gera um impasse na disposição destes subprodutos no meio ambiente. A casca desta fruta cítrica possui celulose, hemicelulose, lignina e altas concentrações de pectina (aproximadamente 42,5%), sendo este subproduto um potencial adsorvente (SOUZA et al, 2020).

FREITAS et al (2019) estudaram a eficiência da utilização do uso do bagaço da laranja na remoção do corante azul reativo 5G. De acordo com os resultados obtidos nas pesquisas, a biomassa foi capaz de remover 84% do corante de efluentes têxtil, onde as condições de processo que apresentaram melhor resultado foram realizadas com solução de corante com pH 2,0; temperatura de 40°C e 100 rpm de rotação, tendo o tempo de equilíbrio de 240 min.

Outro estudo utilizando a casca e o bagaço da laranja como bioadsorvente foi realizada por TADIOTO et al (2010) na remoção de chumbo. Foram realizados estudos sob a capacidade adsorptiva da casca com o bagaço comparando seu estado in natura e seu estado modificado quimicamente com NaOH e ácido cítrico. Os resultados demonstraram que quando utilizado a casca com o bagaço in natura para a remoção do chumbo, a sua capacidade máxima de adsorção foi de 32,55 mg.g⁻¹, enquanto quando a mesma foi modificada quimicamente, sua capacidade foi o dobro, resultando em 73,37 mg.g⁻¹. Com isso, possibilitando sua utilização na fabricação de produtos eficientes para a retenção de metais tóxicos objetivando a diminuição dos impactos ambientais causados por estes em efluentes.

3.6. Lógica Fuzzy

A lógica *fuzzy* é uma ferramenta capaz de trabalhar informações vagas, em uma linguagem natural e a converter em uma linguagem numérica facilmente manipulada pelos computadores. A lógica clássica de conjuntos trata um determinado elemento como pertencente apenas ao conjunto sim ou ao conjunto não. Contudo há diversos casos em que um elemento não está bem definido nestes conjuntos, se encontrando em uma situação intermediária. Baseado nisto, Zadeh desenvolveu em 1965 a teoria dos conjuntos fuzzy (LEITE, 2007; BILOBROVEC et al., 2004).

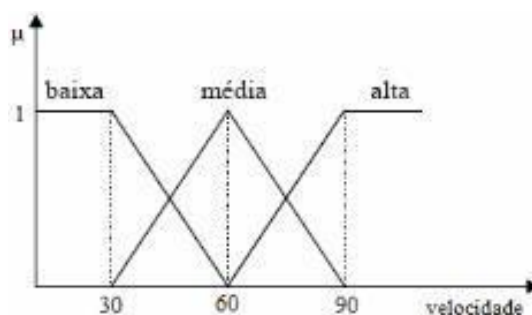
Esta teoria permite que um elemento pertença a um conjunto ou mais conjuntos simultaneamente. Um elemento do universo de discurso X pertence ao conjunto A de acordo com a função de pertinência atribuída. Sendo a pertinência variável de 0 a 1, cuja função está representada na Equação 1 (HOFFMANN et al, 2017).

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (\text{Equação 1})$$

Na qual $\mu_A(x)$ indica o quanto x é compatível com o conjunto A , ou seja, o grau de pertinência de x em relação ao conjunto A . Um determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto *fuzzy*, com diferentes graus de pertinência. O conjunto suporte de um conjunto *fuzzy* A é o conjunto de elementos no universo X para os quais $\mu_A(x) > 0$; uma variável linguística é uma variável cujos valores são nomes de conjuntos *fuzzy*.

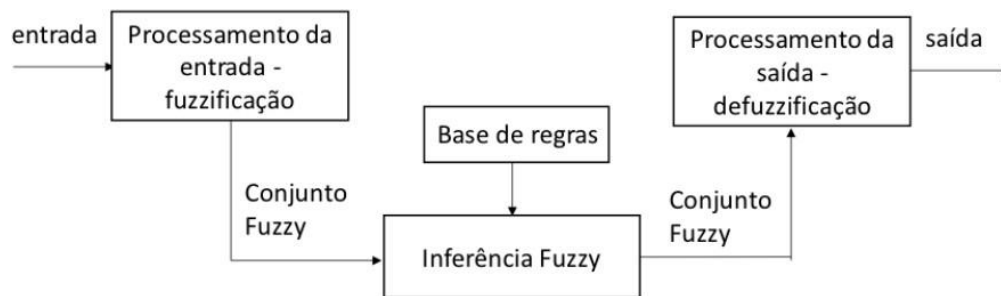
Por exemplo, a temperatura de um tanque industrial pode ser uma variável linguística admitindo valores baixa, média e alta (Figura 1). As variáveis e as funções de pertinência são de escolha do programador/especialista do processo, de acordo com o seu entendimento do problema modelado (HOFFMANN et al, 2017).

Figura 1: Gráfico da variável linguística velocidade e as respectivas funções de pertinências baixa, médio e alto variando de 0 a 1.



O modelo de processamento de dados *fuzzy* pode ser resumido como ilustrado na Figura 2 em que os dados numéricos são inseridos no sistema e estes são transformados em dados *fuzzificados* por meio da utilização das funções de pertinências estabelecidas.

Figura 2: Modelo de processamento da lógica fuzzy.



Existem vários métodos de *defuzzificação* e o mais comum é o centroide; e são utilizadas as funções de saída juntamente com as regras estabelecidas gerando um valor de saída na forma de dados numéricos.

A *fuzzificação* ou o processamento da entrada significa agregar incerteza realista a conjuntos clássicos. Nessa etapa os conjuntos ordinários (crisp sets) são transformados em conjuntos *fuzzy*, essa transformação é feita por meio da junção das funções de pertinência com os elementos originais (valores numéricos).

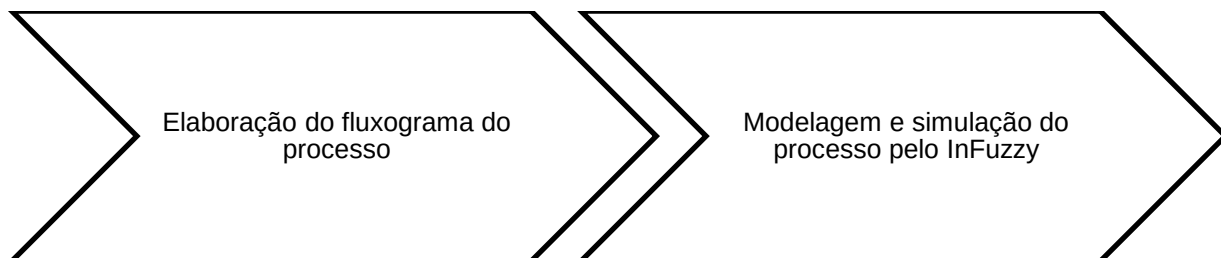
A base de regras *fuzzy* é constituída por um conjunto de várias regras *fuzzy*. Toda regra possui um antecedente e um consequente, e são representados do tipo “se - então”. As bases de regras estão diretamente associadas ao problema em si a ser modelado.

A inferência *fuzzy* é a etapa de combinação dos graus de pertinência através de uma base de regras previamente definidas. Na *defuzzificação*, ou processamento da saída o conjunto *fuzzy* é transformado em um elemento do universo de discurso (geralmente, números reais), ou seja, é o processo inverso da *fuzzificação* (HOFFMANN et al, 2016).

4. METODOLOGIA

Os métodos para desenvolvimento deste trabalho são descritos a seguir, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3: Fluxograma de estudo do processo.



4.1. Elaboração do fluxograma do processo

O processo de produção de bioadsorvente estudado neste trabalho foi baseado pelo estudo de PANZERA (2019), intitulado “Estudo da Produção de Bioadsorvente Proveniente do Bagaço da Laranja e sua Aplicação na Remoção de Ftalatos em Efluentes”. De acordo com o estudo, o processo se inicia com uma etapa de secagem da biomassa em estufa a 80° C para retirada da umidade do material, com o objetivo de prepara-lo para a etapa de moagem em moinho de bolas.

Em seguida, o material passaria para o moinho de bolas para ser transformado em granulometrias menores, entre 0,5 e 1,4 mm, que, segundo a autora, corresponde a 82% da massa total de bagaço de laranja submetida a este processo.

Na sequência, o material segue para a etapa de tratamento químico. Nesta etapa, o bagaço de laranja moído, material este que contém traços de ácido cítrico em sua composição, vai para um tanque de mistura para que seu pH seja neutralizado por uma solução de hidróxido de sódio 0,1 mol.L⁻¹. Por fim, o material passa por uma centrifuga para separar o bioadsorvente da solução a qual foi submetido para o tratamento químico.

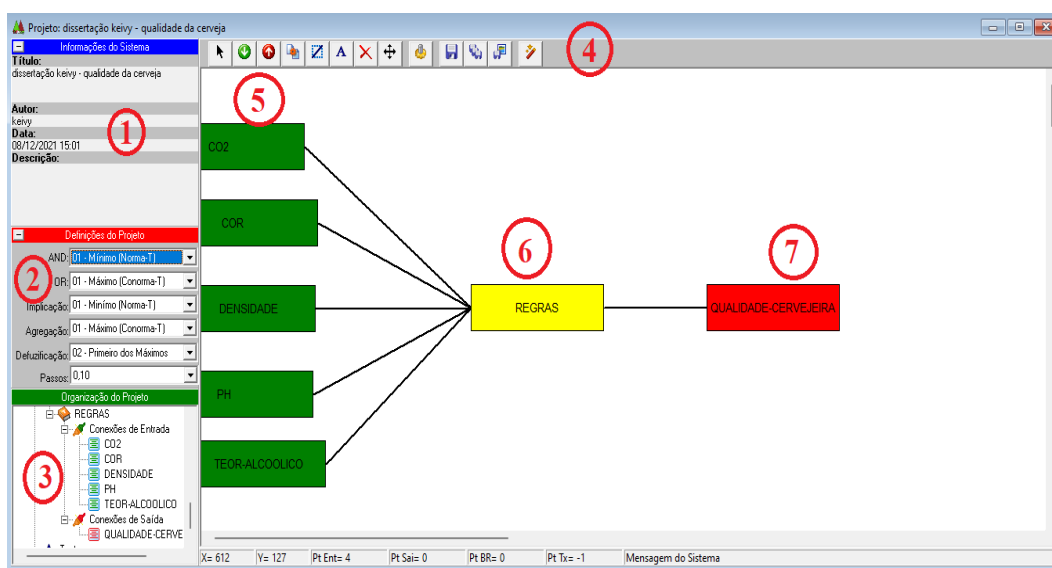
4.2. Modelagem e simulação do processo pelo InFuzzy

A simulação do processo de produção de bioadsorvente, utilizando a lógica fuzzy, foi desenvolvido utilizando o *toolbox* e suas ferramentas do *software* InFuzzy. Para realização deste trabalho, primeiramente foi feita uma análise de quais variáveis e características são importantes no processo.

O InFuzzy é uma ferramenta destinada à modelagem de sistemas difusos (*Fuzzy Logic*). Essa modelagem é realizada através de interface gráfica de fácil manuseio, respeitando regras de ergonomia e usabilidade de software. As principais funcionalidades do sistema estão relacionadas a definição de variáveis de entrada, variáveis de saída, termos linguísticos, blocos de regras, relações entre variáveis e blocos de regras, simulações, integração com aplicações externas, personalização por projeto difuso (Posselt et al., 2011).

A tela de construção de um projeto, que corresponde a mais importante do sistema, está apresentada na Figura 4. Por meio desta que ocorrem todas as manipulações sobre as variáveis de entrada, saída e bloco de regras. Por meio da Figura 4, têm-se a seguinte estrutura: 1) Identificação do projeto; 2) Definição das funções utilizadas no modelo difuso; 3) Estrutura do projeto; 4) Barra de ferramentas; e os itens 5), 6) e 7) representam a Estrutura do projeto modelado, onde neste caso, são cinco variáveis de entrada, um bloco de regras e uma saída, respectivamente.

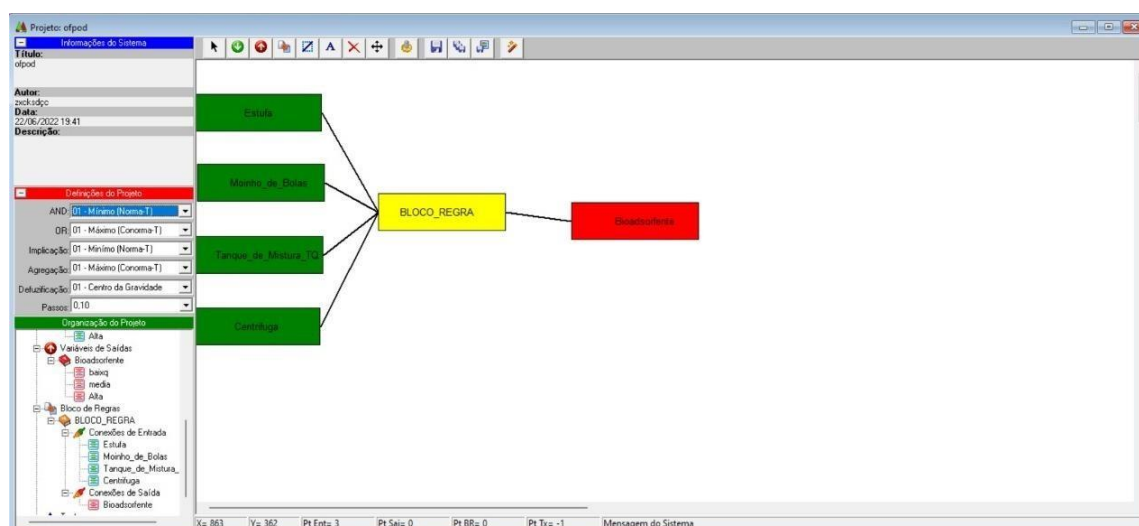
Figura 4: Tela de controle sobre o projeto fuzzy (adaptado de POSSELT et al., 2015).



Para a realização das simulações referentes à produção do bioadsorvente, foi montada uma estrutura, considerando os resultados obtidos por PANZERA (2019) em seu estudo. Inicialmente, foi feito um levantamento de forma a obter e configurar as variáveis de entrada, que são elas, representadas na Figura 5:

- Potência da Estufa (w);
- Quantidade de partículas com granulometria na faixa ideal (0,5 -1,4 mm) processadas no moinho de bolas (%);
- Massa de bagaço de laranja/litro de solução de NaOH (g/L);
- Rotação da centrífuga para separação do bioadsorvente de solução residuária (rpm).

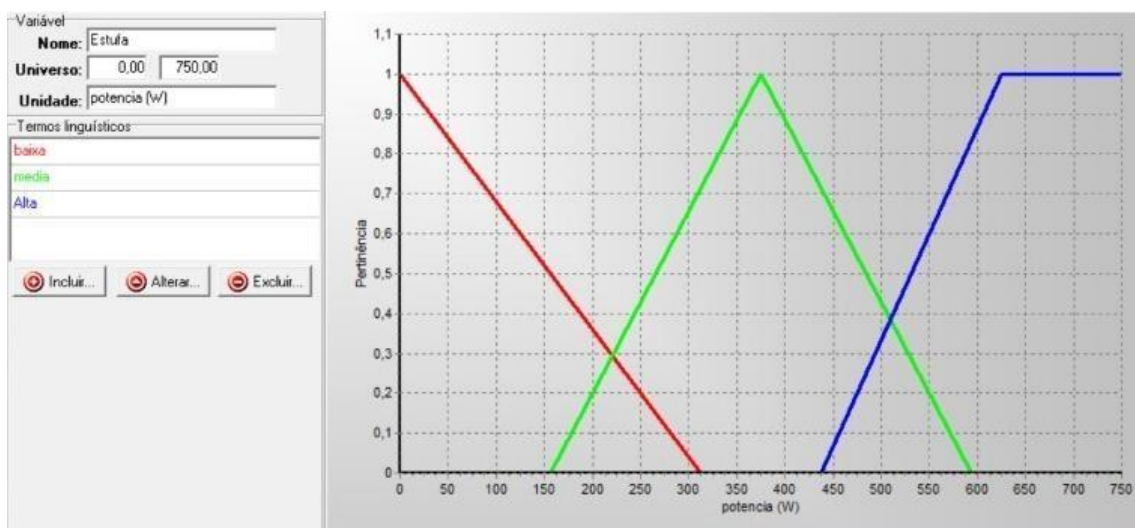
Figura 5: Tela de controle projeto Fuzzy bioadsorvente.



Logo após, foram criadas as funções de pertinência para cada uma das variáveis de entrada, conforme segue.

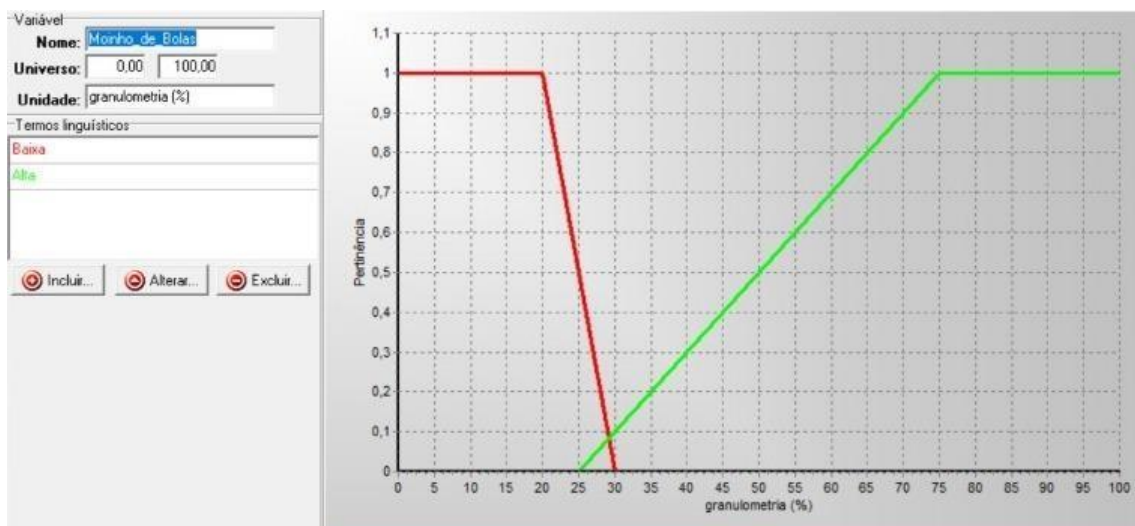
A função de pertinência de potência da estufa foi dividida em baixa, média e alta, sendo que uma faixa de baixa potência da estufa é considerada de 0 até o valor de 312,5 w, uma faixa média é considerada de 156,25 a 593,75 w e, por fim, uma faixa alta de potência é considerada entre 437,5 a 750 w, conforme mostrado na figura abaixo, Figura 6.

Figura 6: Função pertinência estufa



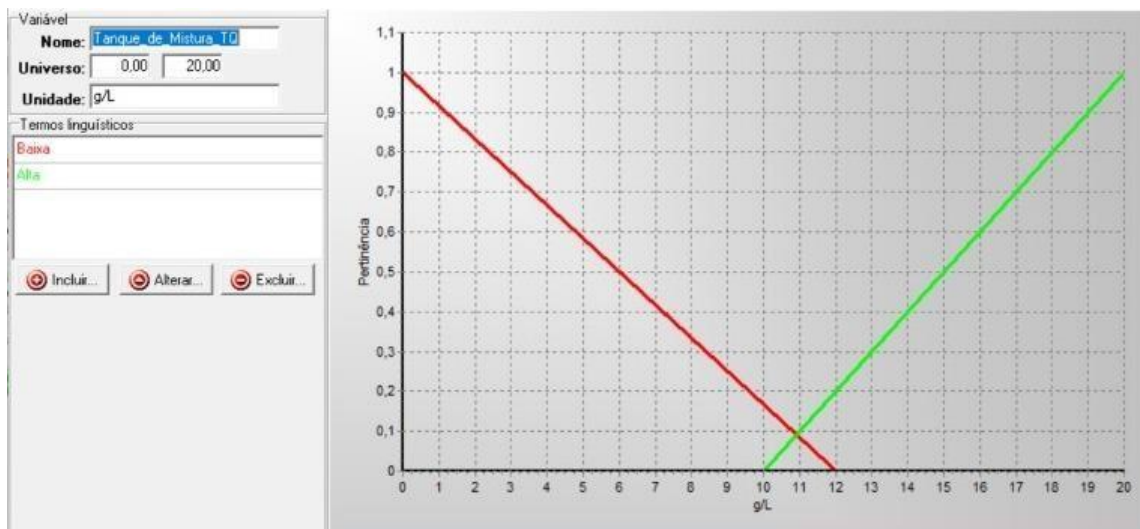
A função de pertinência referente à etapa de moagem foi dividida em baixa e alta, sendo que uma faixa baixa de partículas com granulometria em 0,5 e 1,4 mm seria 0 e 30% e, uma faixa alta, entre os valores de 25 a 100 % da massa total de bagaço de laranja, conforme mostrado na figura abaixo, Figura 7.

Figura 7: Função pertinência moinho_de_bolas.



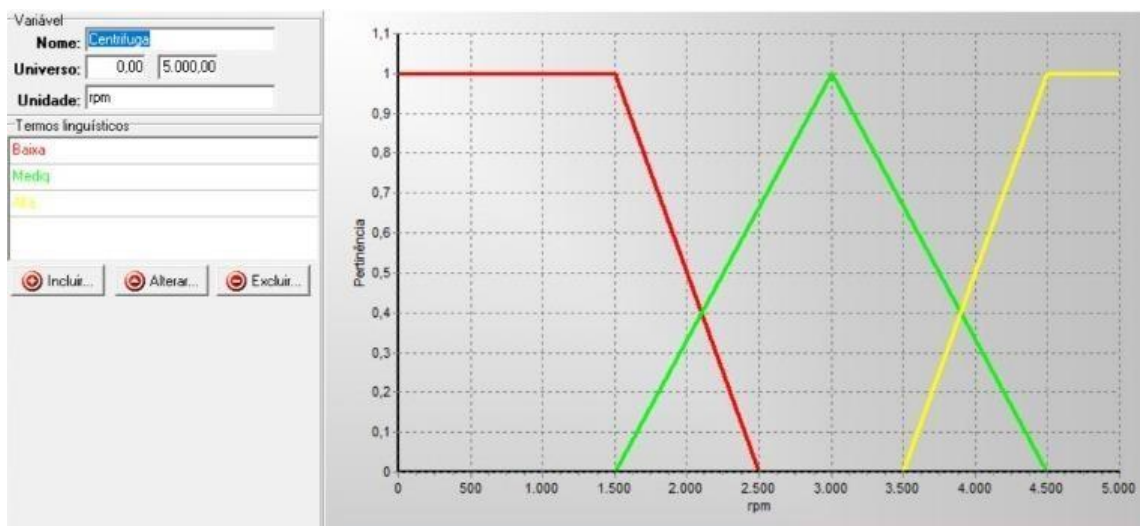
A função de pertinência referente à etapa de neutralização de pH em tanque de mistura por solução de hidróxido de sódio também foi dividida em duas faixas, baixa e alta, sendo que uma faixa de baixa de massa de bagaço de laranja (g) por volume de solução de NaOH (L) seria de 0 a 12 g/L e, uma faixa alta, entre os valores de 10 a 20 g/L, conforme mostrado na figura abaixo, Figura 8.

Figura 8: Função pertinência tanque_de_mistura.



Por fim, a função de pertinência referente à etapa de separação do bioadsorvente de solução residuária de NaOH foi dividida em baixa, média e alta, sendo que uma faixa de baixa rotação da centrífuga é considerada de 0 até o valor de 2500 rpm, uma faixa média é considerada de 1500 a 4500 rpm e, por fim, uma faixa alta de rotação é considerada entre 3500 a 5000 rpm, conforme mostrado na figura abaixo, Figura 9.

Figura 9: Função pertinência Centrífuga.



Em seguida, foi preciso configurar o bloco de regras. Para esta simulação, foram criadas 5 regras para que se possa obter resultados condizentes com os

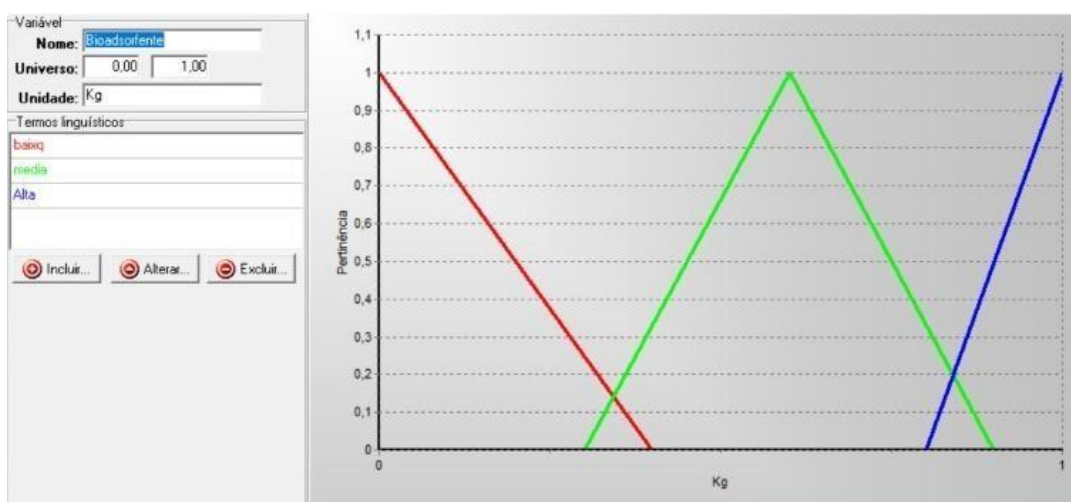
encontrados por PANZERA (2019). As seguintes regras foram criadas, Tabela 1.

Tabela 1: Regras criadas no Bloco de Regras.

Nº	Se	Antecedentes	Então	Consequentes
1	Se	(Estufa = Alta) AND (Moinho_de_Bolas = Alta) AND (Tanque_de_Mistura_TQ = Alta) AND (Centrífuga = Média)	Então	(Bioadsorvente = Alta)
2	Se	(Estufa = Baixa) AND (Moinho_de_Bolas=Baixa) AND (Tanque_de_Mistura_TQ = Alta) AND (Centrífuga = Baixa)	Então	(Bioadsorvente =Baixa)
3	Se	(Estufa=Média) AND (Moinho_de_Bolas=Baixa) AND (Tanque_de_Mistura_TQ = Baixa) AND (Centrífuga = Baixa)	Então	(Bioadsorvente=Média)
4	Se	(Estufa = Baixa) AND (Moinho_de_Bolas = Alta) AND (Tanque_de_Mistura_TQ = Baixa) AND (Centrífuga = Baixa)	Então	(Bioadsorvente=Baixa)
5	Se	(Estufa = Alta) AND (Moinho_de_Bolas = Alta) AND (Tanque_de_Mistura_TQ = Alta) AND (Centrífuga = Alta)	Então	(Bioadsorvente=Alta)

Finalizando a inserção de dados, a variável de saída foi configurada, a quantidade total de bioadsorventes produzidos. A função de pertinência de massa de bioadsorvente produzido foi dividida em baixa, média e alta, sendo que uma faixa de baixo valor de massa de bioadsorvente produzido é considerada de 0 até o valor de 0,4 Kg, uma faixa média é considerada de 0,3 a 0,9 Kg e, por fim, uma faixa alta é considerada entre 0,8 a 1 Kg, conforme mostrado na figura abaixo, Figura 10.

Figura 10: Função pertinência bioadsorvente.



5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. . Simulações do processo pelo InFuzzy

Para a realização de uma análise numérica quantitativa de bioadsorvente produzidos pelo processo, foram feitas simulações, no software InFuzzy, afim de avaliar as interferências causadas quando se altera alguma variável do processo, conforme o bloco de regras mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado das simulações

Nº	Tempo (ms)	Estufa	Moinho_de_Bolas	Tanque_de_Mistura_TQ	Centrífuga	Bioadsorvente
1	35	590,00	5,00	19,00	4500,00	0,50
2	25	590,00	80,00	10,00	1500,00	0,50
3	26	590,00	10,00	0,00	1500,00	0,60
4	27	590,00	5,00	10,00	2500,00	0,50
5	25	700,00	80,00	18,00	4000,00	0,95
6	24	200,00	20,00	17,00	1000,00	0,14

Para analisar as simulações, os valores obtidos no estudo de PANZERA (2019) foram considerados como ideais, como, por exemplo, estufa operando a 600 w, 82% da massa total de bagaço de laranja seco triturada pelo moinho de bolas para uso no processo e tanque de mistura neutralizando o pH de 20 g de biomassa por cada litro de solução. Verificando esses dados, é possível perceber que a produção de bioadsorventes tem um maior valor de massa produzida quando todos os equipamentos operam dentro de suas faixa de idealidade, conforme mostrado na simulação N° 5.

Outro ponto importante a ser discutido é que quando apenas alguns equipamentos não operam dentro das suas faixas de idealidade, a produção do bioadsorvente chega a níveis medianos, segundo as simulações de N° 1, 2, 3 e 4.

Agora, porém, se nenhum dos equipamentos funcionam em suas faixas ideais e todos operam em faixas de rendimento baixo, a produção de bioadsorvente cai, como mostra a simulação N° 6. Sendo assim, é possível afirmar que a simulação condiz com o esperado.

6. CONCLUSÃO

Inicialmente, é necessário destacar que as simulações apresentaram resultados satisfatórios comparados aos números trazidos por PANZERA (2019), mostrando assim a eficiência do software para este tipo de estudo de produção.

Além disso, sugere-se a continuidade dos estudos com a ferramenta para simular processos de tratamento de substâncias residuárias dos processos, como a solução de NaOH utilizada no tratamento químico do bioadsorvente pensando em reduzir impactos ambientais de forma sustentável

Foi possível, com este trabalho, mostrar que a *Lógica Fuzzy* se apresenta como uma proposta positiva para as simulações de processos, tornando-se uma forte fonte para embasamentos que têm como fins uma tomada de decisão para otimizar diversos processos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, F. G. **Estudo da bio sorção de Pb^{2+} e Cu^{2+} com leveduras e casca de camarão**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

BARROS, A. C. R. **Avaliação e caracterização dos adsorventes carvão ativado e argila bentonita na remoção do inibidor fermentativo furfural**. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

BENELLI, P. **Agregação de valor ao bagaço de laranja (*Citrus Sinensis* L. Osbeck) mediante obtenção de extratos bioativos através de diferentes técnicas de extração**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

BILOBROVEC, M.; MARÇAL, R. F. M.; KOVALESKI, J. L. **Implementação de um Sistema de Controle Inteligente Utilizando a Lógica Fuzzy**. XI SIMPEP, Bauru, SP, 2004.

CARVALHO, R. S. **Produção e caracterização de biocarvão de bagaço de laranja para utilização no pós-tratamento de água residuária**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018

CORAZZA, M.; RODRIGUES, D. G.; NOZAKI, J. Preparação e caracterização do vinho de laranja. **Quim. Nova**, v. 24, n. 4, p. 449-452, 2001

CUNHA, D. L., *et al.* Regulamentação do estrogênio sintético 17α -etinilestradiol em matrizes aquáticas na Europa, Estados Unidos e Brasil. **Cadernos de Saúde Pública [online]**. 2016, v. 32, n. 3. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v32n3/0102-311X-csp-32-03-e00056715.pdf>> Acesso em: 10 set. 2022

FEITOSA, A. A., *et. al.* Caracterização Química de Amostras de Biocarvão de Casca de Banana e Bagaço de Laranja Carbonizados a 400 e 600°C. **Rev. Virtual Quim.**, v.12, n.4, p. 901-912, 2020.

FEITOSA, H. A. **Princípios Fundamentais da Teoria Fuzzy**. Tese (Mestrado em Fundamentos da Matemática) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

FERREIRA, P. P. L., *et al.* Adsorção de Cu^{2+} e Cr^{3+} em efluentes líquidos utilizando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar. **Cerâmica** **61**, p. 435-441, 2015

FLECK, L; TAVARES, M. H. F; EYNG, E. Adsorventes naturais como controladores de poluentes aquáticos: uma revisão. **Revista EIXO**, Brasília, DF, v. 2, n. 1, p. 39-52, jan./jun. 2013.

FREITAS, T. S. M., *et al.* Biossorção do bagaço de laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) na remoção de corante azul reativo 5G. **ENGEVISTA**, v. 21, n.2, p.256-266, 2019.

GALEMBECK, F.; BARBOSA, C. A. S.; SOUZA, R. A. Aproveitamento sustentável de biomassa e de recursos naturais na inovação química. **Química Nova [online]**. 2009, v. 32, n. 3, p. 571-581. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300003>>. Acesso em: 10 set.2022.

HOFFMAN, L. A.; QUADRELLI, G.; PIZZOLATO, N. D.; ARAÚJO, F. O. Proposta de sistema baseado em lógica fuzzy como modelo de apoio à decisão para a qualidade do produto acabado em uma microcervejaria brasileira. **Espacios**, v. 38, p. 31, 2016.

ITAVO, L. C. V., *et al.* Substituição da silagem de milho pela silagem do bagaço de laranja na alimentação de vacas leiteiras: consumo, produção e qualidade do leite. **Rev. Bras. Zootec.**, v. 29, n. 5, p. 1498-1503, 2000.

JUNIOR, A. C. G. Descontaminação e monitoramento de águas e solos na região amazônica utilizando materiais adsorventes alternativos, visando a remoção de metais pesados tóxicos e pesticidas. **Inc. Soc.**, Brasília, DF, v. 6 n. 2, p.105-113, jan./jun. 2013.

KAMM, B.; GRUBERR, P. R.; KAMM, M. **Biorefineries – Industrial Processes and Products**. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley–VCH: Weinheim, vol. 4, p.101–133, 2005.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Principles of biochemistry**. 4. ed. New York: W. H. Freeman, 2004

LEITE, M. S. **Estudo comparativo do desempenho de controladores Fuzzy e convencional aplicados em um bioprocesso**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Química - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

LOUSADA, Jr., J. E., *et al.* Consumo e digestibilidade aparente de sub-produtos do processamento de frutas em ovinos. **Rev. Bras. Zootec.**, v. 34, n. 2, p. 591-601, 2005.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Org.). **Reúso de Água**. 1ª ed. São Paulo: Editora Manole LTDA, 2003. 579p.

MORAES, S. L., *et al.* Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada. **Revista IPT – Tecnologia e Inovação**, v.1, n.4, p.58-73, 2017.

NASCIMENTO, R. F., *et al.* **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza, 2014.

NOGUEIRA, L. A. **Análise de viabilidade econômica na implantação de termoelétrica a base de casca de arroz em Cachoeira do Sul-RS**. Monografia

(Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, 2019.

PANZERA, G. S. D. **Estudo da produção de bioadsorvente proveniente do bagaço da laranja e sua aplicação na remoção de ftalatos em efluentes**. Tese (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável – Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, 2019.

PARANYCHIANAKIS, N. V.; SALGOT, M.; SNYDER, S. A.; ANGELAKIS, A. N. Water Reuse in EU States: Necessity for Uniform Criteria to Mitigate Human and Environmental Risks. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 45, p.1409–1468, 2015.

PIQUET, A. B. M.; MARTELLI, M. C. . Bioadsorbents produced from organic waste for dye removal: a review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 3, 2022. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26506>>. Acesso em: 10 set. 2022.

PROCÓPIO, A. M. S. **Avaliação da eficiência de remoção do hormônio 17 α -etinilestradiol (EE2) em águas utilizando como bioissorvente um resíduo agroindustrial**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação Multicêntrico em Química, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.

RAMOS, P. H., *et al.* Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. **Química Nova [online]**. 2009, v. 32, n. 5, p. 1139-1143. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000500011>>. Acesso em: 10 set. 2022

ROCHA, F. D. **Utilização de biomassa residual em relação à produção anual de grãos**. Monografia (Especialista em Agronegócio) - Curso de MBA em Gestão do Agronegócio - Universidade Federal do Paraná, 2015.

SANCHES, L. A. H. **Reúso de água em hospitais: o caso do hospital "Santa Casa de Misericórdia de Itajubá"**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008.

SANTOS, R. F. S., *et al.* Uso de bagaço de laranja em dieta artificial de larva de *Ceratitis capitata*. *In*: Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, 13., Petrolina, 2018. **Anais [...]**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2018. p.231-236.

SEYE, O.; CORTEZ, L. A. B.; GÓMEZ, E. O. Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos. *In*: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Anais online [...]** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000200022&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 10 set. 2022.

SILVA, F. M.; SANTANA, S. A. A.; BEZERRA, C. W. B.; SILVA, H. A. S. Adsorção do Corante Têxtil Azul de Remazol R por Pseudocaule da Bananeira (*Musa* sp). **Caderno de Pesquisa de São Luís**, v. 17, n. 3, p. 71-77, 2010.

SOARES, G. H. B. **Bagaço de laranja na alimentação de vacas leiteiras: uma revisão bibliográfica**. Monografia (Graduação em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2022.

SOUZA, E. S., *et al.* Utilização da farinha da casca de laranja como bioadsorvente em efluentes têxteis. **Braz. J. of Develop**, Curitiba, v.6, n.8, p.60101-60109, 2020

STRÖHER, A. P. **Tratamento por adsorção em bagaço de laranja de um efluente da indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química - Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2010.

TADIOTO, J. V.; MASSOCATO, C. L.; DINIZ, K. M.; TARLEY, C. R. T.; CAETANO, J.; DRAGUNSKI, D. C. **Uso da casca e do bagaço de laranja como bioadsorvente de chumbo**. Sociedade Brasileira de Química (SBQ) v. 1, 2010.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da Biomassa Proveniente de Resíduos Agrícolas**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Energia na Agricultura - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2012.

VIEIRA, A. C. Potencial de geração de bioeletricidade com casca de arroz no Brasil. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v.5, n.1, p.1-8, 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos - Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** - 3. ed. - Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 452p, 2005.