

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Cíntia Regina Prestes Tesser

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO COMO SOLUÇÃO AMBIENTAL PARA O
LODO INDUSTRIAL ORIUNDO DE UMA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE**

Buri - SP

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Cíntia Regina Prestes Tesser

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO COMO SOLUÇÃO AMBIENTAL PARA O
LODO INDUSTRIAL ORIUNDO DE UMA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Ambiental na Universidade
Federal de São Carlos.

Orientação: Prof.^a. Dr.^a. Anne Alessandra Cardoso Neves

Buri – SP

2023

Prestes Tesser, Cíntia Regina

Produção de carvão ativado como solução ambiental para o lodo industrial oriundo de uma indústria de papel e celulose / Cíntia Regina Prestes Tesser -- 2023.
32f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Anne Alessandra Cardoso Neves

Banca Examinadora: Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho,
Ubaldo Martins Neves

Bibliografia

1. Lodo Industrial. 2. Carvão Ativado. 3. Indústria de
Papel e Celulose. I. Prestes Tesser, Cíntia Regina. II.
Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Folha de Aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da candidata **Cíntia Regina Prestes Tesser**, realizada em 29/03/2023.

Dr^a. Anne Alessandra Cardoso Neves – Orientadora
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Dr. Jorge Luis Pantoja Filho
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE

Dr. Ubaldino Martins Neves
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino

Dedico este trabalho a minha mãe Ercilia Alcade Tesser, que me deu força durante toda a minha caminhada da graduação, era nela em quem eu encontrava conforto no abraço, um conselho sábio e muitos motivos para continuar.

Obrigada por escolher ser minha mãe!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família, minha mãe Ercilia, meu pai Rodrigo, minha tia Cristiane e minha irmã Aline, que sempre estiveram ao meu lado me dando forças, me incentivando e me suportando para que eu tivesse uma vida confortável mesmo longe de casa. Obrigada por todo carinho, paciência e conforto que vocês me proporcionaram, sem vocês nada disso seria possível.

Ao meu maior suporte, que eu tenho orgulho de chamar de time, Aline Rafaela, Ana Godoy, e Rafael Tozzi, deixo o meu mais sincero obrigada. Sem vocês eu certamente não estaria aqui, obrigada por acreditarem em mim quando nem eu mesma acreditei, obrigada pelas madrugadas viradas, surtos compartilhados, cafés passados, choros que viravam risadas e tantos momentos que levarei comigo para sempre.

Ao meu grande amigo Cassiano, obrigada por toda parceria nestes anos, você foi e continua sendo meu porto seguro nos momentos de insegurança, obrigada por me amparar e sempre me encorajar a ser melhor, sem você eu não seria eu.

A minha querida companheira de república Amanda Maria por tantos momentos inesquecíveis e por compartilhar das minhas dores comigo e me dar consolo, pelos brigadeiros e pães pizza, pelas festas, e por ser essa pessoa tão especial.

À professora Dra. Anne Alessandra Cardoso Neves, minha querida orientadora de estágio e de trabalho de conclusão de curso, pela sua amizade, apoio, paciência, acolhimento e tantas coisas mais que não caberiam aqui. Você foi essencial para que eu estivesse aqui hoje, saiba que levarei seus ensinamentos para onde for.

Agradeço a minha amiga e parceira de estágio Hellen Nunes, que neste final de ciclo se fez presente e foi muitas vezes quem me deu forças a continuar, saiba que você foi essencial para que eu pudesse encerrar este ciclo.

Por fim agradeço a todos que convivi neste período e que de alguma forma contribuíram para que eu seja a mulher e profissional que sou hoje.

“Não negue, apareça. Seja forte. Porque é preciso coragem para se arriscar num futuro incerto. Não posso esperar. Tenho tudo pronto dentro de mim e uma alma que só sabe viver presentes. Sem esperas, sem amarras, sem receios, sem cobertas, sem sentido, sem passados.” - Caio Fernando Abreu

RESUMO

TESSER, Cíntia Regina Prestes. **Produção de carvão ativado como solução ambiental para o lodo industrial oriundo de uma indústria de papel e celulose.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2023

No atual cenário mundial, os resíduos industriais têm se mostrado uma grande problemática, visto que, podem vir a causar uma alta degradação ambiental, no caso de descarte indevido, ou através da sobrecarga de aterros, agravando o cenário de descarte de resíduos sólidos. Levando em consideração os resíduos da indústria de papel e celulose, o lodo representa um grande desafio. Esse resíduo, rico em fibras provenientes do processo de formação do papel, não possui muitas alternativas que não sejam a destinação a aterros industriais. Dessa forma o presente estudo teve como objetivo analisar e apresentar a viabilidade da transformação deste resíduo em um subproduto: o carvão ativado, seus impactos ambientais e viabilidade financeira, levando em conta uma fábrica de médio a grande porte, e espera encontrar uma solução de reutilização válida para este resíduo na sua transformação em carvão ativado.

Palavras-chave: Carvão Ativado; Lodo; Indústria de Papel e Celulose.

ABSTRACT

In the current world scenario, industrial waste has been shown to be a major problem, since it can cause a high environmental degradation, in the case of improper disposal, or through the overload of landfills, aggravating the scenario of solid waste disposal. Taking into account the pulp and paper industry residues, the sludge proves to be a great challenge, this fiber-rich residue from the paper formation process does not have many alternatives other than disposal in industrial landfills. Thus, the present study aimed to analyze and present the feasibility of transforming this waste into a by-product, activated carbon, its environmental impacts and financial viability, taking into account a medium to large factory, and hopes to find a valid reuse solution for this residue in its transformation into activated carbon.

Keywords: Activated Carbon; Sludge; Pulp and Paper Industry.

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Operações unitárias com entradas e saídas do sistema..... | 19 |
| Figura 2. Cidade de Telêmaco Borba/PR..... | 22 |
| Figura 3. Áreas de Influência para os meios físico e biótico..... | 23 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Resultado da composição química..... | 20 |
| Tabela 2. Possíveis impactos identificados e suas características..... | 24 |
| Tabela 3. Custos dos equipamentos principais do sistema..... | 25 |
| Tabela 4. Orçamento de gastos em outras áreas da empresa..... | 25 |
| Tabela 5. Investimento Inicial Fixo..... | 26 |
| Tabela 6. Gastos anuais fixos da empresa..... | 27 |
| Tabela 7. Mão de obra direta..... | 27 |
| Tabela 8. Demanda de Insumos e Matéria Prima..... | 28 |
| Tabela 9. Payback, VPL, TIR e MTIR do projeto..... | 29 |

Glossário

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas

ADA – Área diretamente afetada

AID – Área de influência indireta

AII – Área de influência indireta

Al – Alumínio

Ca – Cálcio

Cl – Cloro

Fe – Ferro

K – Potássio

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

Na – Sódio

NBR – Norma Brasileira

P – Fósforo

pH – Potencial Hidrogeniônico

S – Enxofre

Si – Silício

Ti – Titânio

Zn – Zinco

Zr – Zircônio

Sumário

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 14 |
| 2.1. Indústria de papel e celulose | 14 |
| 2.2. Lodo biológico da indústria de papel e celulose | 15 |
| 2.3. Produção de material adsorvente a partir do lodo | 15 |
| 3. OBJETIVOS..... | 16 |
| 3.1. Objetivo Geral..... | 16 |
| 3.2. Objetivos Específicos | 16 |
| 4. METODOLOGIA | 16 |
| 4.1. Descrição do processo de produção do carvão ativado a partir do lodo oriundo da indústria de papel e celulose. | 16 |
| 4.1.1. Caracterização do carvão produzido..... | 16 |
| 4.2. Possível aplicação para o carvão ativado alternativo..... | 17 |
| 4.3. Estudo de impactos na cadeia produtiva do carvão ativado | 17 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 18 |
| 5.1. Produção do Carvão | 18 |
| 5.2. Propriedades do carvão | 18 |
| 5.3. Possível aplicação para o carvão ativado alternativo..... | 20 |
| 5.3.1. Adsorção de corantes..... | 20 |
| 5.4. Síntese de diagnóstico ambiental | 20 |
| 5.4.1. Meios biótico e físico | 22 |
| 5.4.2. Meio socioeconômico..... | 22 |
| 5.4.3. Medidas mitigadoras | 23 |
| 5.5. Viabilidade econômica da conversão do lodo em carvão ativado | 23 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 30 |

1. INTRODUÇÃO

A economia mundial passou por intenso desenvolvimento por volta do século XX, decorrente dos processos de urbanização, crescimento populacional, industrialização e modernização agrícola. Tal desenvolvimento é essencial para que a sociedade possa suprir suas necessidades, no entanto, juntamente com os avanços surgem os grandes desafios ambientais, uma vez que o ambiente natural fornece recursos para o desenvolvimento da humanidade, elencando como pauta preocupações quanto aos impactos gerados (MOURA, 2010; PINHEIRO, 2008).

O processo industrial se consolidou frente aos avanços das forças produtivas, sendo o mesmo responsável pelo crescimento da economia do Brasil e tornando-se, no período de 1930 a 1970, o principal segmento da economia nacional. Sendo assim, há um interesse por parte das indústrias em desenvolver metodologias alternativas para diminuir o seu impacto ao meio ambiente (ALCANTARA e LUCENA, 2013).

A indústria de papel e celulose é uma das maiores indústrias que compõem o cenário industrial do país, a qual vem sendo responsável pelo intenso crescimento econômico nacional e grande competitividade a nível internacional. Entretanto, juntamente com tal avanço, há geração de um alto volume de resíduos por seus processos industriais, sendo os mesmos ocasionadores de impactos ambientais significativos (PINHEIRO, 2008; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019; IMAI, 2010).

O lodo biológico oriundo do tratamento dos efluentes industriais, esgoto sanitário e água tem sua destinação final em métodos como a disposição em aterros sanitários e industriais e incineração, os quais apresentam limitações relacionadas à recursos financeiros e ao meio ambiente. Mediante tal desafio, visto que parte do lodo biológico gerado não possui destinação ou disposição correta, acarreta-se em elevados custos para o tratamento desses efluentes, ou ainda em pagamento de serviços terceiros para destinação a aterros. Sendo assim a busca por alternativas de reaproveitamento desse material torna-se deveras atrativa (ODA, 2017).

Mesmo que em muitos casos, segundo IMAI (2010), esse lodo seja descartado em aterros industriais, que é uma alternativa viável, esta não é a melhor alternativa para tal resíduo, uma vez que tal destinação diminui a vida útil do aterro e pode vir a acarretar a contaminação do solo e/ou de lençóis freáticos, além de outros impactos negativos.

Neste contexto, este estudo visa apresentar a viabilidade da produção de carvão

ativado a partir do lodo biológico de uma indústria de papel e celulose, como condicionamento alternativo que favoreça o meio ambiente e os recursos naturais, e apresentar possíveis aplicações para o mesmo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Indústria de papel e celulose

A indústria de papel e celulose é responsável pela fabricação de diferentes tipos de papéis que são utilizados em vários setores da sociedade. Tal fabricação é resultado da transformação, por processos industriais, da matéria prima de origem vegetal à polpa, e por fim, em folhas de papel.

O setor do papel e celulose possui um vasto campo de atuação, fazendo com que suas potencialidades contribuam ainda mais para o crescimento e desenvolvimento do país. Condições como qualidade e quantidade de recursos naturais, e tecnologias voltadas para o desenvolvimento sustentável, trazem um ambiente propício à competitividade a nível internacional (PINHEIRO, 2008).

As indústrias de papel estão entre as maiores indústrias geradoras de resíduos no país. Apesar de muitos resíduos gerados dentro da indústria serem reutilizados ou reciclados nos processos industriais internos¹, o grande desafio atualmente são os lodos gerados nos processos de tratamento de efluentes, sendo estes resíduos classificados, de acordo com ABNT NBR 10004:2004, como resíduos não perigoso classe II-A não inertes (IMAI, 2010; ANDREOLI *et al.*, 1997; SILVA *et al.* 2006).

A destinação do resíduo que não é reaproveitado é mais complexa no caso do lodo proveniente do sistema de tratamento de efluentes, além de ser um dos maiores casos de geração de impacto ambiental da atualidade (IMAI, 2010; ANDREOLI *et al.*, 1997).

As características deste resíduo variam de acordo com o tipo de papel produzido, tratamento químico empregado, além do processo pelo qual o lodo foi submetido. Lodos de papel produzidos a partir de celulose branqueada são compostos quase que exclusivamente de fibras de celulose, enquanto o lodo proveniente da reciclagem de aparas de papel contém uma boa parte de cinzas e componentes inorgânicos, além da parcela de celulose (IMAI, 2010).

O incentivo ao uso de técnicas de reaproveitamento de materiais e resíduos

¹ Esse reaproveitamento só ocorre com resíduos mais comuns, como papéis, madeira, metais e plástico.

gerados nos diversos processos de tratamento de efluente está sendo cada vez mais proposto pelo mercado nacional e internacional. Assim, progressivamente tem-se aumentado a ocorrência de pesquisas referentes a tecnologias de reaproveitamento do lodo.

2.2. Lodo biológico da indústria de papel e celulose

Como já citado anteriormente, embora parte dos resíduos gerados pela indústria de papel e celulose sejam de fácil reaproveitamento dentro das próprias indústrias de origem ou terceiras, como é o caso dos resíduos comumente recicláveis, como plásticos, metais e etc., existem também resíduos cuja destinação apresenta um maior grau de dificuldade devido a sua natureza. Dentro deste último grupo é onde se enquadra o lodo proveniente do sistema de tratamento de efluentes. As características desse lodo podem variar a partir das variáveis do processo de produção, tipo de papel produzido, quais tratamentos químicos são aplicados, entre outras possíveis variações que diferem de indústria para indústria. Quando se tem um processo que tem origem da celulose branqueada, o lodo quase que exclusivamente será composto por fibras de celulose, enquanto processos que levam aparas de papel contém parcelas de celulose, cinzas e materiais inorgânicos. Dessa forma, tanto sua destinação quanto tratamento irão variar de acordo com a necessidade de cada processo (IMAI, 2010).

2.3. Produção de material adsorvente a partir do lodo

O método de adsorção em carvão ativado é um processo que tem sido examinado como alternativa tecnológica devido à sua simplicidade, eficiência e disponibilidade de adsorventes de baixo custo (NORREN *et al.*, 2013; ARZU, *et al.*, 2013).

Esses adsorventes podem ser utilizados no tratamento de diversos efluentes, podendo até ser utilizado no tratamento para remoção de hormônios, biocidas e outros contaminantes difíceis de tratar. Um deles é a utilização de adsorventes para o tratamento de efluentes contendo corante, pela técnica de adsorção, empregando-se sílica (HONGSAWATA *et al.*, 2014), alumina (KANNAN, MUTHURAJA, DEVI, 2013), celulose (ADEBAYO *et al.*, 2014) e carvão ativado (KEARNS *et al.*, 2014).

Na adsorção, a escolha do material adsorvente torna-se um fator determinante para o alcance de um elevado rendimento no processo. O carvão ativado é um material com alta capacidade de adsorção, regeneração, resistência a grandes variações de pH e baixa

reatividade térmica, entretanto possui preço elevado. Portanto, o desenvolvimento de carvão ativado de baixo custo, como o que é produzido a partir de lodo industrial, faz com que esse método de tratamento seja atrativo (YANG, 2003).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Analisar a produção de carvão ativado utilizando lodos gerados nas estações de tratamento de efluentes de indústrias de papel e celulose como materiais precursores, seus impactos ambientais e viabilidade econômica.

3.2. Objetivos Específicos

- Descrever o processo de produção do carvão ativado a partir do lodo oriundo de indústria de papel e celulose;
- Apresentar aplicações para o carvão produzido;
- Comparar as propriedades do carvão ativado alternativo com o disponível em mercado;
- Analisar possíveis impactos gerados na cadeia produtiva do carvão ativado alternativo;
- Estudar a viabilidade econômica da produção do carvão.

4. METODOLOGIA

4.1. Descrição do processo de produção do carvão ativado a partir do lodo oriundo da indústria de papel e celulose.

As operações unitárias compõem uma sequência de procedimentos com a finalidade de gerar um produto, através de processos de transferência de massa, calor, quantidade de movimento, entre outros. No processamento do lodo industrial as operações unitárias estão presentes nas fases de secagem, ativação térmica e ativação química. O procedimento utilizado foi o da obra de SOUZA *et al.*, 2007, a qual foi a principal referência para este tópico.

4.1.1. Caracterização do carvão produzido

Tendo como objetivo a quantificação dos elementos químicos na amostra de lodo,

utilizou-se o espectrofotômetro de fluorescência de raio-X, que consiste na detecção dos raios-X característicos de cada elemento químico após a sua excitação por uma fonte de radiação gama.

Para realização de tais testes é necessário que a amostra seja preparada em duas etapas, a primeira é a pulverização do material e secagem em estufa por 24 horas a 100°C e, a segunda é o processo de mistura do material com uma resina, respeitando a proporção de 5g de material para cada 1g de resina. Após isso prensa-se ambos de maneira que se forme pastilhas que serão analisadas pelos feixes de raio-X.

4.2. Possível aplicação para o carvão ativado alternativo.

Com intuito de comprovar a aplicabilidade do carvão ativado como solução ambiental utilizou-se como referência as obras de BHARATHI e RAMESH, 2013; KAVITHA e NAMASIVAYAM, 2007; HAMEED, MAHMOUD, AHMAD, 2008, que dissertam sobre a utilização de carvões ativados alternativos na remoção de corantes de efluentes industriais.

4.3. Estudo de impactos na cadeia produtiva do carvão ativado

A etapa inicial da pesquisa foi a delimitação de uma área a ser utilizada como exemplo, tendo-se optado pelo município de Telêmaco Borba, no estado do Paraná, por ser o local onde uma das maiores indústrias de papel e celulose está localizada. O município é marcado pela chegada de uma indústria de papel na época em que o Brasil era governado por Getúlio Vargas e, em razão da Segunda Guerra Mundial, enfrentava dificuldades na compra de produtos estrangeiros. Essa indústria foi instalada às margens do Rio Tibagi e Harmonia, em Lagoa.

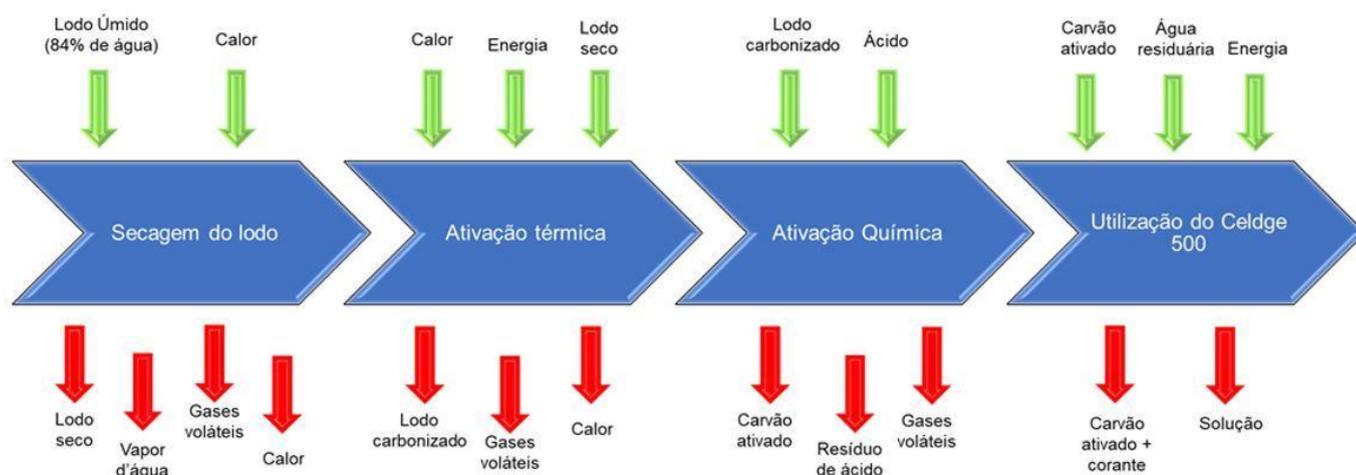
O município de estudo, com área de 1382.86 km² (IBGE, 2019), está localizado aproximadamente entre as coordenadas geográficas 24° 19' 26" de latitude Sul e 50° 36' 57" longitude Oeste de Greenwich. Estando a sede a uma altitude de 700 metros e cerca de 235 km de distância de Curitiba, capital do Paraná. O município é considerado a "Capital Nacional do Papel"; contém o sexto maior polo industrial do Paraná e é centro de referência nacional no setor madeireiro.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Produção do Carvão

O carvão ativado foi gerado através de uma sequência de operações a partir do lodo industrial analisado, sequência que pode ser observada na figura 1, que apresenta as etapas com as entradas (setas verdes) e saídas (setas vermelhas) de cada operação unitária do sistema.

Figura 1. Operações unitárias com entradas e saídas do sistema.



Fonte própria.

Como apresentado na figura 1, o processamento do lodo coletado nas estações de tratamento de efluentes industriais iniciou-se com a secagem, sendo que através dela reduziu-se totalmente a umidade presente no meio, resultando em uma diminuição da sua massa em 84% comparada ao início da operação.

A ativação térmica ocorreu como explicado no tópico 3.1 o que resultou em uma redução mássica do mesmo de 41,2%.

Na terceira etapa de ativação química, foi utilizado uma proporção de 10 mL de ácido para cada 0.5 gramas de lodo ativado termicamente, seguindo a metodologia apresentada no tópico 3.1.

Levando em consideração o sistema inteiro da produção do carvão, obteve-se um rendimento da produção de carvão de 6% a partir do esgoto bruto com 84% de umidade.

5.2. Propriedades do carvão

Após a produção do carvão e tendo como base o funcionamento da análise de

fluorescência de raio-X², criou-se um gráfico demonstrando qualitativamente os elementos do carvão (Anexo 1).

Além dessa análise de composição por intensidade de raios-X de cada elemento, obteve-se a composição do carvão referente à porcentagem de cada elemento na amostra (Tabela 1).

Tabela 1. Resultado da composição química

| Componente | Massa (%) | Linha do Elemento | Intensidade |
|----------------------|------------------|--------------------------|--------------------|
| Na (Sódio) | 0.0000 | Na-K α | 0.0314 |
| Mg (Magnésio) | 1.08 | Mg-K α | 0.0213 |
| Al (Alumínio) | 28.2 | Al-K α | 2.8288 |
| Si (Silício) | 23.6 | Si-K α | 1.2812 |
| P (Fósforo) | 3.82 | P-K α | 0.2241 |
| S (Enxofre) | 5.31 | S-K α | 0.5293 |
| Cl (Cloro) | 3.60 | Cl-K α | 0.4687 |
| K (Potássio) | 2.26 | K-K α | 0.0440 |
| Ca (Cálcio) | 15.8 | Ca-K α | 1.4576 |
| Ti (Titânio) | 1.67 | Ti-K α | 0.0434 |
| Mn (Manganês) | 0.842 | Mn-K α | 0.0805 |
| Fe (Ferro) | 10.1 | Fe-K α | 1.5198 |
| Zn (Zinco) | 2.11 | Zn-K α | 0.7744 |
| Zr (Zircônio) | 1.54 | Zr-K α | 2.0759 |

Fonte própria.

Como observado na tabela 1, o carvão é rico em Alumínio, Silício, Cálcio, Enxofre e Ferro. Isso pode ser explicado devido à composição da principal matéria prima (lodo biológico). Entretanto é incomum a quantidade de inorgânicos para um lodo biológico, esse fator pode ser explicado devido aos processos que ocorrem no processo de clarificação e produção de celulose.

² Em que, segundo a lei de Bragg, o comprimento de onda (λ) e o ângulo (θ) são variados durante o experimento e quando os dois atingem o valor ideal para determinado elemento é possível criar um gráfico com picos, em que cada pico demonstra a intensidade do raio-X e ângulo em que o mesmo foi refletido.

5.3. Possível aplicação para o carvão ativado alternativo

Uma vez comprovada a viabilidade de produção do carvão ativado através do lodo, deve-se explorar e apresentar as possibilidades de aplicação, principalmente quanto a soluções ambientais. Uma das principais aplicações encontradas é a adsorção de corantes, um resíduo poluente e de difícil remoção.

5.3.1. Adsorção de corantes

Diversas indústrias, especialmente têxtil e de alimentos, utilizam corantes e pigmentos para colorir seus produtos. Tais indústrias possuem, de forma geral, dificuldades no tratamento de seus efluentes devido à alta solubilidade em água dos corantes, e a dificuldade na realização da biodegradação. Alguns dos corantes utilizados pela indústria têxtil e alimentícia possuem estruturas aromáticas, como no caso do amarelo crepúsculo e do azul de metileno, tornando-os mais resistentes à luz e às altas temperaturas, fazendo com que dificilmente ocorra sua biodegradação em condições normais de temperatura e pressão (BHARATHI e RAMESH, 2013).

A utilização de adsorventes no tratamento de efluentes contendo corantes ganha destaque, pois eles facilitam a remoção do corante, fixando-os na área superficial do carvão ativado, evitando que as indústrias despejem o efluente sem o devido tratamento, além de possibilitar a recirculação do corante na produção, através de um processo de lavagem do adsorvente (KAVITHA e NAMASIVAYAM, 2007; HAMEED, MAHMOUD, AHMAD, 2008).

5.4. Síntese de diagnóstico ambiental

Para estudar e compreender o ambiente de uma região, é necessário estabelecer os limites de estudo. São, portanto, definidas as áreas de influência, que são os raios de incidência dos impactos ambientais e sociais.

Assim, o estudo definiu a área diretamente afetada (ADA), a área de influência direta (AID) e a área de influência indireta (AII) para a cadeia produtiva do carvão ativado, levando em consideração a forma de incidência dos impactos da fábrica sobre os recursos naturais (meios físico e biótico) e sobre o meio socioeconômico (Resolução CONAMA nº 001/86).

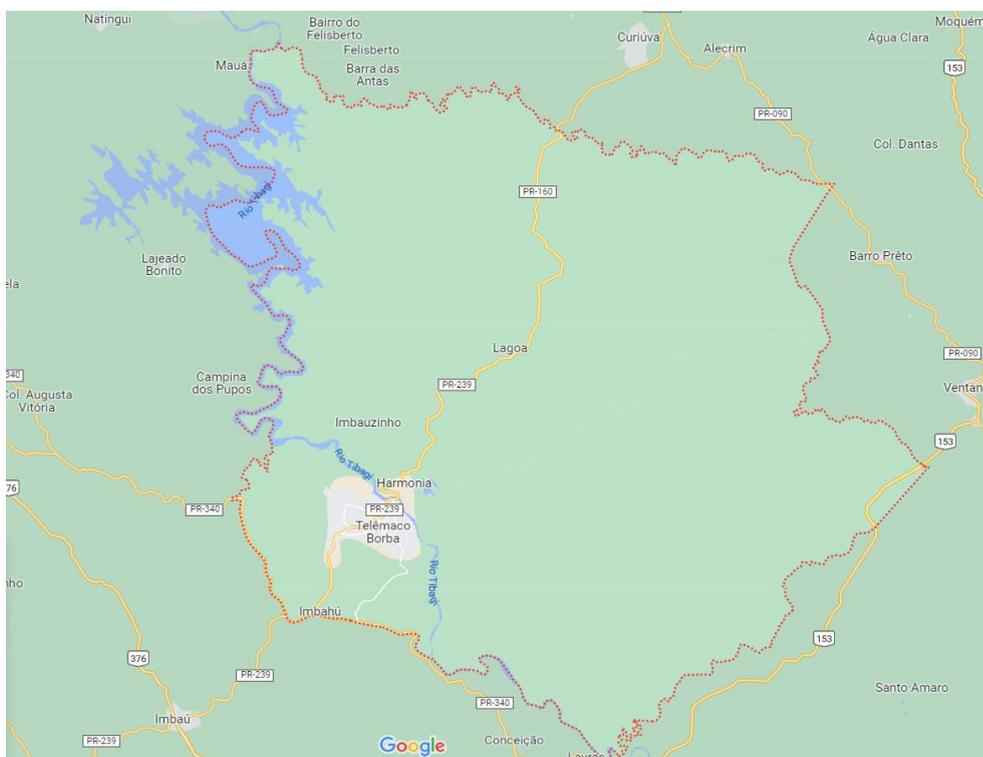
Foi delimitada como Área Diretamente Afetada (ADA) a cidade de Telêmaco Borba – PR, pois é a área que diretamente será afetada pelo transporte do lodo até o local

de análise química, entre outros impactos. Desse modo, a ADA corresponde à própria cidade paranaense representada na figura 3, bem como as rodovias que serão utilizadas no transporte.

A Área de Influência Direta (AID) é a área que está sujeita a sofrer os impactos diretos deste empreendimento, sendo assim para realizar-se a delimitação é observado quais impactos diretos ocorrem em função disso e onde, para que não ultrapassem estes limites. Além disso, é delimitada também em função das características sociais, econômicas, físicas e biológicas dos ecossistemas a serem estudados e das características da atividade (SÁNCHEZ, 2006). No caso do presente projeto, a AID é tida como, no mínimo, o entorno da cidade onde a indústria foi implantada.

Já a Área de Influência Indireta (AII) corresponde a uma área que tem potencial para sofrer os impactos indiretos da implantação e/ou operação da indústria e do transporte do lodo para análise laboratorial, abrangendo os ecossistemas e o sistema socioeconômico que podem ser impactados por alterações ocorridas na AID (SÁNCHEZ, 2006). Um dos principais impactos que pode ser mencionado é o forte odor na cidade de Telêmaco Borba por conta do digestor de celulose, além dos ruídos devido às válvulas de saída de vapor das máquinas de papel da fábrica.

Figura 2. Cidade de Telêmaco Borba/PR



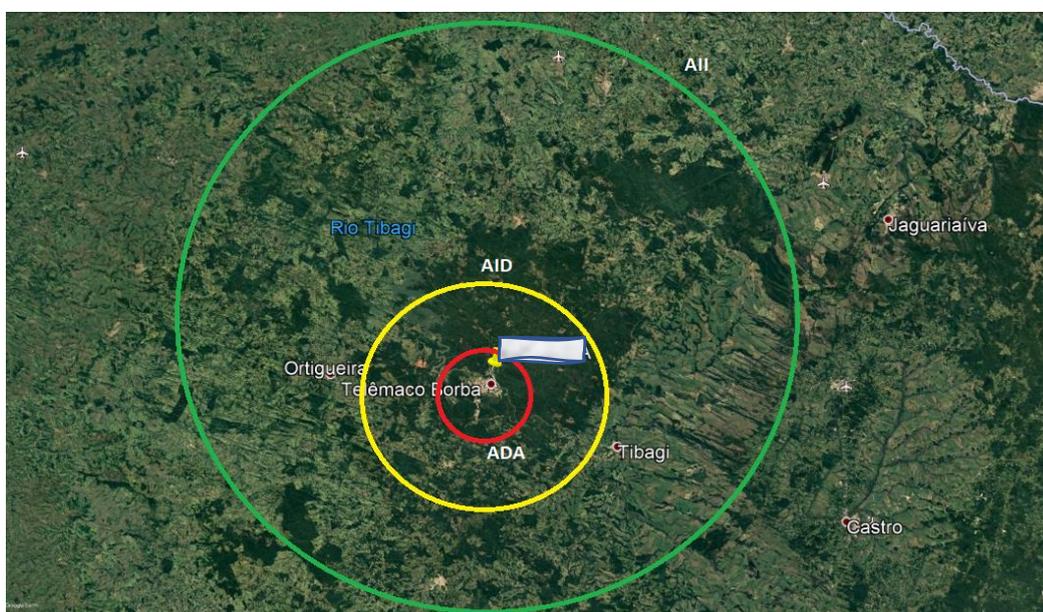
Fonte: Google Maps, 2022.

5.4.1. Meios biótico e físico

- AID: Compreende um raio de 5 km no entorno do empreendimento, tendo em vista os resultados da dispersão atmosférica dos gases da fábrica e do transporte do lodo
- AII: Compreende as bacias hidrográficas definidas a partir dos principais divisores topográficos no entorno da área de interesse, englobando, principalmente, o rio Tibagi.

A figura 4 a seguir apresenta no mapa as áreas de influência direta e indireta para os meios físico e biótico.

Figura 3. Áreas de Influência para os meios físico e biótico



Fonte: Google *Earth Pro*, 2019.

5.4.2. Meio socioeconômico

Para a delimitação espacial da Área de Influência Direta (AID) e Indireta (AII) no meio socioeconômico, foram considerados os impactos previsíveis pela fábrica de celulose no município de Telêmaco Borba, com foco nas análises dos desdobramentos indiretos ocorridos pela influência dos impactos de maior magnitude.

- AID e AII: Município de Telêmaco Borba/PR.

5.4.3. Medidas mitigadoras

A tabela 2 apresenta os possíveis impactos da cadeia produtiva e as ações mitigadoras respectivas a cada um.

Tabela 2. Possíveis impactos identificados e suas características

| Fase | Potencial Impacto Ambiental | Medidas mitigadoras e potencializadoras | Prognóstico após implantação das medidas |
|---------------------|------------------------------------|--|--|
| Planejamento | Alteração da qualidade ambiental | Contemplar os aspectos ambientais e de segurança na elaboração do projeto | O risco potencial de alteração da qualidade ambiental devido à comissão desta variável no projeto depende de diversos fatores |
| | | Contemplar medidas para mitigação dos impactos negativos | |
| Operação | Alteração da qualidade do ar | Avaliar a possibilidade de cobrir a carga de caminhões que transportam terra ou de controlar o nível de carga para reduzir a emissão de poeira | A alteração da qualidade do ar devido à movimentação de veículos e operação de equipamentos será praticamente nulo após a adoção das medidas mitigadoras propostas |
| | | Incentivar a circulação de veículos em baixa velocidade para evitar a emissão de poeira e material particulado | |
| | | Monitorar a emissão de fumaça preta que fazem transporte para a indústria e estabelecer medidas de controle quando necessário | |

Adaptado de EIA/RIMA projeto Puma – PR, 2022.

5.5. Viabilidade econômica da conversão do lodo em carvão ativado

No intuito de analisar a viabilidade financeira da produção do carvão ativado, foi desenvolvido um sistema capaz de tratar uma vazão de lodo da estação de tratamento de

esgoto de 30 toneladas por dia, ou seja, em média 900 toneladas mensais de lodo, levando em consideração os 84% de umidade do resíduo.

O sistema é composto por dois secadores de lodo úmido, quinze fornos, dois reatores de mistura, 3 filtros e 5 tanques de armazenamento. Cada um desses maquinários está disposto na tabela 3, onde são apresentados os valores de cada item.

Tabela 3. Custos dos equipamentos principais do sistema

| Item | Qtd. | R\$ unitário | R\$ total |
|------------------------------|-------------|---------------------|------------------|
| Secador de Lodo | 2 | R\$ 1.000.000.00 | R\$ 2.000.000.00 |
| Fornos CT 12038 | 15 | R\$ 36.944.72 | R\$ 554.170.80 |
| Reatores Químicos | 2 | R\$ 100.000.00 | R\$ 200.000.00 |
| Filtros | 3 | R\$ 5.000.00 | R\$ 15.000.00 |
| Tanques de armazenamento | 5 | R\$ 15.000.00 | R\$ 75.000.00 |
| Tubulação | | | R\$ 5.000.00 |
| Total | | | R\$ 2.849.170.80 |
| IPi + Fretes + Seguro | | | R\$ 427.375.62 |

Fonte Própria.

Além dos equipamentos de produção do carvão, a empresa necessita aumentar alguns dos quesitos quanto a questões de móveis, estrutura, frota, área construída e gastos com questões jurídicas³. Após orçamento detalhado obteve-se os valores dispostos da tabela 4.

³ Neste caso, como não se trata de uma empresa nova e sim uma empresa que colocará em seu processo um tratamento de resíduos, os gastos com questões jurídicas leva-se em consideração novas contratações/serviços adicionais.

Tabela 4. Orçamento de gastos em outras áreas da empresa

| Item | Qtd. | R\$ Unitário | R\$ Total |
|--------------------------------------|-------------|---------------------|------------------|
| Móveis, estrutura, escritório | | | |
| Depósito Completo | 2 | R\$ 12.500.00 | R\$ 25.000.00 |
| Escritório completo | 2 | R\$ 9.947.50 | R\$ 19.895.00 |
| Frota | | | |
| Caminhão | 3 | R\$ 167.581.00 | R\$ 502.743.00 |
| Construção | | | |
| Área construída | 1 | R\$ 500.000.00 | R\$ 500.000.00 |
| Gastos com questões jurídicas | | | |
| Contador | 1 | R\$ 3.000.00 | R\$ 3.000.00 |

Fonte Própria.

Após apresentar os gastos das tabelas 3 e 4, é necessário levar em consideração custos com questões burocráticas como alvarás, licenciamento ambiental, notas fiscais entre outros, podendo chegar a um investimento fixo de R\$ 5.668.424,56 (já considerando possíveis imprevistos ao longo do projeto). Esse investimento está detalhado na tabela 5 e, é o valor inicial de implantação do projeto.

Tabela 5. Investimento Inicial Fixo

| Item | Valor |
|--|-------------------------|
| Equipamentos Principais do Processo (EP) | R\$ 2.849.170.80 |
| Equipamentos Secundários | R\$ 44.895.00 |
| Instalação (25% EP) | R\$ 712.292.70 |
| Serviços (15% EP) | R\$ 427.375.62 |
| Estrutura | R\$ 500.000.00 |
| Alvarás | R\$ 2.462.40 |
| Licenciamento Ambiental | R\$ 6.801.82 |
| Notas Fiscais | R\$ 500.00 |
| Vistoria - Corpo de Bombeiros | R\$ 250.00 |
| Despesas durante a construção (30% EP) | R\$ 854.751.24 |
| Subtotal | R\$ 5.668.424.58 |

Fonte própria.

No entanto, ainda é importante levantar os gastos fixos anuais da empresa pensando no processo de produção (tabela 6), além de outras questões como mão de obra direta (tabela 7), necessária para o funcionamento do processo, demanda de insumos (para o período de um ano) e matéria prima (tabela 8)⁴.

Tabela 6. Gastos anuais fixos da empresa

| Item | Valor Total (R\$) | |
|---------------------------------|--------------------------|-------------------|
| Imposto Territorial (2% do IF) | R\$ | 113.368.49 |
| Seguros (1% do IF) | R\$ | 56.684.25 |
| Manutenção (6% do valor IF) | R\$ | 340.105.47 |
| Mão de Obra Indireta + Encargos | R\$ | 256.824.00 |
| Depreciação Prédio (25 anos) | R\$ | 10.000.00 |
| Subtotal | R\$ | 776.982.21 |
| Imprevistos (5% do subtotal) | R\$ | 38.849.11 |
| Total Custos Fixos | R\$ | 815.831.32 |

Fonte própria.

Tabela 7. Mão de obra direta

| Nº | Função | Salário | Encargos | Valor | Total |
|---------------------------|----------------------|----------------|-----------------|-----------------------|--------------|
| Funcionários | | | (33.77%) | (R\$) | |
| 4 | Operador de produção | R\$ 1.800.00 | R\$ 607.86 | R\$ 9.631.44 | |
| 3 | Faxineiro | R\$ 998.00 | R\$ 337.02 | R\$ 4.005.07 | |
| 1 | Operador logístico | R\$ 1.200.00 | R\$ 405.24 | R\$ 1.605.24 | |
| 1 | Técnico em logística | R\$ 2.369.00 | R\$ 800.01 | R\$ 3.169.01 | |
| 2 | Diretores | R\$ 5.000.00 | R\$ 1.688.50 | R\$ 13.377.00 | |
| 2 | Gestores | R\$ 3.807.00 | R\$ 1.285.62 | R\$ 10.185.25 | |
| 2 | Área comercial | R\$ 3.000.00 | R\$ 1.013.10 | R\$ 8.026.20 | |
| Total MOD (mensal) | | | | R\$ 49.999.21 | |
| Total MOD (anual) | | | | R\$ 599.990.55 | |

Fonte própria.

⁴ Todos os valores utilizados foram baseados na média da região.

Tabela 8. Demanda de Insumos e Matéria Prima.

| Item | Preço (R\$/unidade) | Qtd. (unid./ano) | Valor Total (R\$) |
|--|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Ácido | R\$ 59.75 | 206.640 | R\$12.346.740.00 |
| Água | R\$ 9.64 | 350 | R\$ 3.374.00 |
| Energia Elétrica (potência x n° horas de operação x n° dias/ano) | R\$ 0.53 | 50340 | R\$ 26.529.18 |
| Embalagem | R\$ 1.58 | 10332 | R\$ 16.324.56 |
| Suprimentos | | | R\$ 1.518.55 |
| Total Insumos (anual) | | | R\$ 12.394.486.29 |

Fonte própria.

Tendo então listados os possíveis custos de produção, pôde-se calcular o valor do produto levando em consideração o valor de produção de cada quilo de carvão. Este cálculo foi realizado utilizando o valor do custo fixo total (R\$ 815.831.32) dividido pela produção anual de carvão (3.771.180 Kg/ano), encontrando um valor fixo unitário de R\$ 0.22, e o mesmo foi feito para o custo variável (relacionando os custos que variam ao longo do ano como, mão de obra, suprimentos, consumo de água, etc.), obtendo um valor de R\$ 3.71. E por fim, somando os custos unitários fixos e variáveis é possível obter o valor para a produção de cada kg de carvão ativado, sendo esse R\$ 3.93/Kg.

Analisando o valor do carvão ativado alternativo vendido no Brasil, é possível observar uma variação de R\$ 19 até R\$ 70 por quilo, de acordo com cada matéria prima.

Comparando o valor do produto desenvolvido com o produto vendido no mercado é possível observar que o custo do carvão alternativo é muito abaixo dos valores encontrados. Isso acontece principalmente porque a própria empresa geradora do resíduo faria o reaproveitamento.

Além de todos os valores calculados, obteve-se também o valor do capital de giro, que nada mais é que o capital necessário para financiar a continuidade das operações do processo, como recursos para manter os fornecedores e o estoque de matéria prima, pagamento de impostos, salários entre outros (ASSAF, 2003).

O valor obtido de capital de giro foi de R\$ 3.026.234.58 para manter o processo de produção ativo.

Sendo assim o capital inicial necessário para a empresa é de R\$ 6.902.739.31. Podendo a partir desses valores calcular o tempo de retorno do investimento, levando em consideração uma taxa mínima de atratividade de 10.5 % ao ano, o valor presente líquido (VPL)⁵ e o VPL anualizado⁶ e pôr fim a taxa interna de retorno (TIR)⁷, calculou-se também a TIR modificada (MTIR)⁸. Todos os valores estão dispostos na tabela 9.

Tabela 9. Payback, VPL, TIR e MTIR do projeto.

| | |
|---------------------------|------------------|
| Payback Descontado | 2 anos 5 meses |
| VPL | R\$ 9.353.904.60 |
| VPL anualizado | R\$ 1.953.082.81 |
| TIR | 45.6% |
| TIR modificada | 24.1% |

Fonte própria.

Em contrapartida a todos esses valores, pode-se ainda, comparar o valor inicial de investimento com o de implantação e operação de um aterro sanitário, que em média é de R\$ 52.444.448 para um de pequeno porte, ou seja, 100 toneladas/dia (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV, [s/d]). Vale levar em consideração que as indústrias de papel e celulose de grande porte constroem seu próprio aterro.

A vida útil de um aterro industrial é de aproximadamente 32 anos (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV, [s/d]), podendo diminuir o valor pela metade de acordo com a composição do resíduo. A composição do lodo gerado em indústria de papel e celulose, é o caso de que a vida útil do aterro diminui pela metade. Portanto, investir no processo de tratamento alternativo do lodo no intuito de produzir carvão ativado é mais viável que a instalação de aterros como destinação final do resíduo.

Assim a produção deste subproduto irá promover lucros além da economia, pois poderá ser comercializado em lojas físicas e *online* e/ou através de vendedores externos para tratamento de efluente de indústrias têxteis, para adsorção de gases, utilização em aquários, entre inúmeros outros casos que o carvão ativado pode vir a ser utilizado.

⁵ Diferença entre os valores presentes de entrada e saída do projeto

⁶ Idem ao VPL, porém considerando as taxas ao longo um ano

⁷ Demonstra o rendimento do projeto de investimento considerando a mesma periodicidade dos fluxos de caixa

⁸ Valor percentual que busca corrigir problemas relacionados à diferença de taxas reais de financiamento e a aplicação excedente.

6. CONCLUSÃO

Com base no desenvolvimento da presente pesquisa foi possível concluir que o carvão ativado produzido a partir do lodo oriundo da indústria de papel e celulose é uma alternativa viável do ponto de vista ambiental e econômico.

Considera-se também que os impactos à cadeia produtiva são menores do que a destinação atual, favorecendo esse cenário.

No entanto, em comparação ao carvão convencional o carvão alternativo possui maiores quantidades de cinzas e materiais inorgânicos, que são decorrentes da quantidade de fibras presentes no lodo e do processo de branqueamento da celulose.

Referente a viabilidade financeira conclui-se que além de uma solução viável essa sub-geração pode vir a promover lucros dentro da indústria, sendo este tópico passível de futuros estudos mais aprofundados.

Apesar de não ter sido possível realizar testes de adsorção com o material, a literatura traz bons exemplos de como esse material é eficiente na remoção de corantes, desta forma observa-se um resíduo auxiliando no tratamento de um efluente completamente diferente.

Desta forma o carvão ativado oriundo de indústria de papel e celulose surge no mercado com um processo inovador diminuindo custos ambientais relacionados a descarte, sendo além de uma alternativa de tratamento de resíduos um bom competidor para o carvão ativado comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEBAYO, M. A. *et al.* Adsorption so Procyon Blue MX-R dye from aqueous solutions by lignin chemically modified with aluminum and manganese. *Journal os Hazardous Materials*, Vol. 268, 43-50, 2014.

ALCANTARA, J. S. LUCENA, C.A. **O Processo Histórico da Industrialização Brasileira e a Educação Profissional: As Inovações Tecnológicas e a Formação do Trabalhador.** Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia - MG. p. 20, 2013.

ALMEIDA, Érica Janaina Rodrigues de; DILARRI, Guilherme; CORSO, Carlos Renato. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes.** Rio Claro, 2017. Anual. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/boletim-das-aguas/artigos-cientificos/a-industria-textil-no-brasil-uma-revisao-dos-seus-impactos-ambientais-e-possiveis-tratamentos-para-os-seus-efluentes>>. Acesso em: 13 out. 2019.

ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F.; LARA, A. I., BONET, B.; DOMAZAK, S. C. **A reciclagem agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná.** In: WORKSHOP SULAMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais....** Curitiba: EMBRAPACNPF/IBAMA/Universidade Federal do Paraná, p.83-104,1997.

ARZU, Y.; *et al.* Kinetics of Remazol Black B absorption onto carbon prepared from sugar beet pulp. **Environmental Science Pollutant Resource**, Vol. 20, 2472-2483, 2013.

ASFORA, Viviane Khoury. **Fluorescência de raios-X por dispersão de energia aplicada à caracterização de tijolos de sítios históricos de Pernambuco.** 2010. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Nucleares, Área de Concentração Dosimetria e Instrumentação, Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/9476/1/arquivo2695_1.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

BBC Brasil. **Qual é a indústria que mais polui o meio ambiente depois do setor do petróleo?** 2017. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-39253994>>. Acesso em: 13 dez. 2022.

BHARATHI, K.S.; RAMESH, S.T. **Removal of dyes using agricultural waste as low-cost adsorbents: a review**, *Applied Water Science*, 3 (2013) 773-790.

BRASIL. **Lei Nº 9.795, de 27 de abril de 1999.** Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm>. Acesso em 16 jan. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Gestão de Resíduos.** Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/a3p/eixos-tematicos/gest%C3%A3o-adequada-dos-res%C3%ADduos.html>>. Acesso em 08 dez. 2022.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n.001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2. ed. ABES, 2005.

EIA/RIMA Klabin Papel e Celulose – Projeto Puma/PR. 2012. Disponível em: <docs.fct.unesp.br › plan › Estudo de caso Localização EIA-RIMA KLABIN>. Acesso em: 10 dez 2022.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV. Abetre - Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (Org.). **Estudo sobre aspectos Econômicos e Financeiros da Implantação e Operação de Aterros Sanitários.** São Paulo: Fgv Projetos, [1]. 56 p. Disponível em: <<http://www.abetre.org.br/estudos-e-publicacoes/publicacoes/publicacoes-abetre/FGV%20-%20Aterros%20Sanitarios%20-%20Estudo.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2022.

HAMEED, B.H.; MAHMOUD, D.K.; AHMAD, A.L. Equilibrium modeling and kinetic studies on the adsorption of basic dye by a low-cost adsorbent: Coconut (Cocos nucifera) bunch waste, *Journal of Hazardous Materials*, 158 (2008) 65-72

HONGSAWATA, P. *et al.* Adsorption of ciprofloxacin on surface functionalized superparamagnetic porous silicas. **Desalination and Water Treatment**, Vol. 52, 4430-4442, 2014.

HORVAT, A. J. M.; PETROVIC, M.; BABIC, S.; PAVLOVIC, D. M.; ASPERGER, D.; PELKO, S.; MANCE, A. D.; KASTELAN-MACAN, M. Analysis, occurrence and fate anthelmintic and their transformation products in the environment. *Trends in Analytical Chemistry*, v. 31, p. 61-24, 2012

IMAI, M. H. Aproveitamento energético de lodo de ETEI de indústria de papel no município de Correia Pinto/SC. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. p. 8, 2010.

KLITZKE, W. **Utilização de Lodo Primário de Indústria de Papel na Produção de Cerâmica Vermelha.** 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/197.pdf>>. Acesso em: 22 nov 2022.

KANNAN C.; MUTHURAJA, K. e DEVI, M. R. Hazardous dyes removal from aqueous solution over mesoporous aluminophosphate with textural porosity by absorption. **Journal so Hazardous Materials**, Vol. 244, 10-20, 2013.

KAVITHA, D.; NAMASIVAYAM, C. Recycling coir pith, an agricultural solid waste, for the removal of Procyon orange from wastewater, *Dyes and Pigments*, 74 (2007) 237-248.

KEARNS, J. P. *et al.* Adsorption to biochar's: Effect of preparation conditions on equilibrium adsorption capacity and comparison with commercial activated carbon

literature data. **Water Research**, Vol. 62, 20-33, 2014.

MOURA, A.M.M. *et al.* **Sustentabilidade ambiental no brasil: biodiversidade, economia e bem-estar**. Livro 7. Brasília: IPEA, 2010. p 17-22.

NORREN, S. *et al.* Batch and fixed bed adsorption study for the removal of Drimarine Black CL-B dye from aqueous solution using a lignocellulosic waste: A cost effective adsorbent. **Industries Crops and Products**, Vol. 50 p. 568-579, 2013.

ODA, T. Y. R. **Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de indústrias têxtil e de papel**. 2017. 104 p. Dissertação apresentada ao departamento de pós-graduação em engenharia civil. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 2017

ORLANDI, G. *et al.* An adsorbent with a high adsorption capacity obtained from the cellulose sludge of industrial residues. **Chemosphere**, v. 169, p.171-180, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.071>.

PINHEIRO, R. M. **Reciclagem de Lodo Primário da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria de Papel em Cerâmica Vermelha**. 2008. 120 p. Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes – RJ. 2008.

RIO DE JANEIRO. Instituto Estadual do Ambiente (INEA). **Educação ambiental: Conceitos e Práticas na Gestão Ambiental Pública**. Rio de Janeiro: INEA, 2014. 52 p.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. 2006. São Paulo: Oficina de Textos.

SÃO PAULO. Secretária do Meio Ambiente (SEA). **Roteiro para Elaboração de Projetos de Educação Ambiental**. São Paulo: SEA, 2013, 40 p.

SILVA, A. R. V., PAPAFAANURAKIS, D. F. G., SILVA, F. N., DANTAS, J., MACEDO, R. S. Utilização de rejeito de celulose e papel na confecção de blocos cerâmicos. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 50. 2006, Blumenau–SC. **Anais: Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 2006. p.9.

YANG, R. T. **Adsorbents: Fundamentals and applications**. New Jersey. John Wiley & Sons, 2003.