



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
*CAMPUS DE POMBAL-PB*

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE RECICLAGEM DO RESÍDUO GERADO EM  
UMA INDÚSTRIA DE BATERIAS CHUMBO - ÁCIDO**

Aluno (a): Lisiane Linhares Santos

Pombal

Outubro - 2023

# **ANÁLISE DO POTENCIAL DE RECICLAGEM DO RESÍDUO GERADO EM UMA INDUSTRIA DE BATERIAS CHUMBO - ÁCIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Pombal-PB, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr(a). Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira

Pombal

2023

S237a Santos, Lisiane Linhares.

Análise do potencial de reciclagem do resíduo gerado em uma indústria de baterias chumbo - ácido / Lisiane Linhares Santos. – Pombal, 2023.

46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Profa. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira”.

Referências.

1. Reciclagem. 2. Tratamento de efluentes. 3. Materiais de construção.  
I. Nogueira, Virgínia de Fátima Bezerra. II. Título.

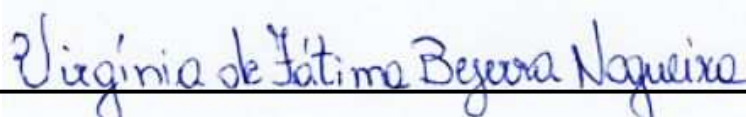
CDU 628.4 (043)

Lisiane Linhares Santos

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE RECICLAGEM DO RESÍDUO GERADO EM  
UMA INDUSTRIA DE BATERIAS CHUMBO - ÁCIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal-PB, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof.ª Dr.ª Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira

Orientadora CCTA/UFCG/Campus de Pombal – PB

---

Prof. Dr. Walker Gomes de Albuquerque

Examinador Interno - CCTA/UFCG/Campus de Pombal – PB

KATHERINE DA SILVA SOUSA:08690525432  
Assinado de forma digital por KATHERINE DA SILVA SOUSA:08690525432  
Dados: 2023.11.13 15:09:35 -03'00'

---

Ma. Katherine da Silva Sousa

Examinador Externo – Avante Engenharia

Pombal, 30 de outubro de 2023

*Dedico esse trabalho aos meus pais que tanto fizeram para que eu chegasse até aqui.*

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente a Deus que nunca deixou que faltasse forças para que eu chegasse até aqui, sendo esse momento todo para sua honra e sua glória. Como também agradeço a Nossa Senhora que sempre intercedeu por mim nessa jornada.

Em segundo aos meus pais, começando pela minha mãe, Verônica Linhares Santos, que abdicou sua vida em prol da minha criação e da criação do meu irmão e desempenhou um excelente papel me preparando para vida e me educando na Fé em Cristo.

Ao meu pai, Lisanio Alves dos Santos, meu grande incentivador. Cresci com ele me chamando de Doutora e isso contribuiu para que eu sempre acreditasse que eu daria voos mais altos. Além disso, tive a honra de tê-lo como meu professor em casa, o que tanto contribuiu na minha formação escolar e acadêmica. Seus ensinamentos e incentivo foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

Não poderia deixar de agradecer ao meu Noivo, Filippe Catão por sempre apoiar minhas decisões, por mais que elas gerassem uma distância entre nós. Seu incentivo, foi fundamental na conclusão dessa etapa.

Ao meu cunhado, Matheus Catão por durante toda essa trajetória sempre me aconselhar, incentivar e torcer pelo meu desenvolvimento. Suas contribuições foram de grande valia para mim.

Aos meus amigos da graduação que deram suporte durante toda a jornada, em especial, Daniele, Lucas, Aline e Otanaildo. O meu muito obrigada por ter tornado essa jornada mais leve.

Aos meus professores do CCTA que contribuíram com todo o conhecimento do curso, em especial a minha orientadora Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira, por todas as oportunidades dadas para que eu pudesse participar de tantos projetos e pela orientação do meu trabalho de conclusão de curso.

Por fim, agradeço ao Grupo Moura pela oportunidade de me permitir estagiar na minha área, adquirindo tantos conhecimentos práticos e vencendo tantos desafios. Não, poderia deixar de mencionar meu Gestor Jonerson Neri que acreditou em mim e abriu as portas para que eu entrasse na empresa e Illana que me enviou a vaga e me deu todo suporte inicial na cidade. De modo geral agradeço toda a minha equipe SIMA corporativo por toda contribuição no meu estágio.

*“É justo que muito custe o que muito  
vale”.*

***Santa Teresa D’Ávila***

## RESUMO

Impulsionada por uma demanda cada vez mais alta, as indústrias buscam produzir cada vez mais para atender. Entretanto, em torno de toda a cadeia produtiva, resíduos industriais são gerados, acarretando problemas ambientais, sendo uma forma de resolver o problema, a busca do incentivo a reciclagem ou reuso desses resíduos. Dessa forma, o presente trabalho tem o objetivo de analisar o potencial de reciclagem do resíduo gerado em uma estação de tratamento de efluentes de uma indústria de baterias chumbo ácido. Então, inicialmente foi descrito o processo de tratamento de efluentes mostrando como o resíduo é gerado. Além disso, foi apresentada e discutida a caracterização e classificação química do resíduo realizada em laboratório externo. Também foi mostrado como é sua destinação atual e como a troca dessa destinação para incorporação na construção civil traria ganhos ambientais e econômicos. Diante disso, foram propostas algumas recomendações para aplicação desse resíduo na construção civil, sendo elas em cimento, produtos cerâmicos e gesso. Baseado na literatura, foi percebido que mediante as características do resíduo, ele não se aplicaria para cimento ou produtos cerâmicos devido a sua alta presença de sais, prejudicando a qualidade do produto. Dessa forma, ficando como uma terceira opção o uso em gesso, devido sua composição ser a cal, principal matéria prima para gesso, entretanto para resultados mais precisos serão necessárias mais análises. E por fim, conclui-se que a recomendação da substituição de destinação de aterros para incorporação na produção de gesso, haverá um aumento na vida útil dos aterros industriais em 5 anos e 10 meses, gerando um ganho econômico de 1.36 milhões por ano para organização.

**Palavras chaves:** reciclagem, tratamento de efluentes, materiais de construção.



## ABSTRACT

Driven by increasingly high demand, industries seek to produce more and more to meet demand. However, throughout the entire production chain, industrial waste is generated, causing environmental problems, and one way to solve the problem is to seek incentives for recycling or reusing this waste. Therefore, the present work aims to analyze the recycling potential of waste generated in an effluent treatment plant from a lead acid battery industry. So, initially the effluent treatment process was described, showing how the waste is generated. Furthermore, the characterization and chemical classification of the waste carried out in an external laboratory was presented and discussed. It was also shown what its current destination is and how changing this destination to incorporate it into civil construction would bring environmental and economic gains. Given this, some recommendations were proposed for the application of this waste in civil construction, including cement, ceramic products, and plaster. Based on the literature, it was realized that based on the characteristics of the residue, it would not be applicable for cement or ceramic products due to their high presence of salts, compromising the quality of the product. Thus, using plaster as a third option, due to its composition being lime, the main raw material for plaster, however, for more accurate results, further analysis will be necessary. And finally, it is concluded that the recommendation to replace the disposal of landfills for incorporation in the production of gypsum will increase the useful life of industrial landfills by 5 years and 10 months, generating an economic gain of 1.36 million per year for the organization.

**Key words:** recycling, effluent treatment, construction materials.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2- Cronologia das baterias.....   | 13 |
| Figura 3- Reação química da bateria chumbo - ácido .....                         | 14 |
| Figura 4- Composição dos conectores da bateria chumbo - ácido .....              | 15 |
| Figura 5- Representação dos componentes da Bateria de chumbo - ácido .....       | 15 |
| Figura 6- Fluxo da logística reversa da Acumuladores Moura .....                 | 17 |
| Figura 7- Fluxograma dos processos de reciclagem de uma bateria inservível ..... | 18 |
| Figura 8- Resultado do processo de trituração de uma bateria inservível .....    | 19 |
| Figura 9- Lingotes de chumbo.....  | 20 |
| Figura 10- Classificação dos resíduos .....                                      | 21 |
| Figura 11- Hierarquia para gerenciamento de resíduos sólidos industriais.....    | 22 |
| Figura 13- fluxograma com as etapas dos procedimentos metodológicos .....        | 25 |
| Figura 14- Fluxograma do processo da ETE.....                                    | 28 |
| Figura 15- Cal armazenada em big bags .....                                      | 29 |
| Figura 16- Ponte rolante .....   | 30 |
| Figura 17- Ilustração do funcionamento de um tanque lamelar .....                | 32 |
| Figura 18- Ilustração do funcionamento de um filtro prensa .....                 | 33 |
| Figura 19- Secagem da borra de cal .....   | 41 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1- <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | 10 |
| 2- <b>OBJETIVOS</b> .....  | 12 |
| 2.1. Geral.....  | 12 |
| 2.2. Específicos .....   | 12 |
| 3- <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....  | 13 |
| 3.2. Baterias .....  | 13 |
| 3.2.1. Evolução das baterias .....   | 13 |
| 3.2.2. Baterias de Chumbo Ácido .....  | 13 |
| 3.2.3. Componentes da bateria chumbo-ácido .....                                 | 14 |
| 3.2.4. Logística Reversa das baterias chumbo-ácido .....                         | 15 |
| 3.2.5. Processo de reciclagem da bateria chumbo-ácido.....                       | 17 |
| 3.3. Classificação dos resíduos industriais.....                                 | 20 |
| 3.4. Gerenciamento de resíduos industriais .....                                 | 22 |
| 3.5. Gestão de resíduos industriais e o desenvolvimento sustentável.....         | 22 |
| 4- <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....  | 24 |
| 4.1 Área de estudo .....   | 24 |
| 4.2 Metodologia .....  | 24 |
| 5- <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 28 |
| 5.1. Processo de tratamento dos efluentes industriais.....                       | 28 |
| 5.1.1 Processo de preparação da cal hidratada .....                              | 29 |
| Fonte: Irmãos Mottin (2023).....   | 29 |
| 5.1.2 Processo de Neutralização do efluente ácido .....                          | 30 |
| 5.1.3. Processo de floculação .....  | 30 |
| 5.1.4 Processo de decantação .....   | 31 |
| 5.1.5 Filtro prensa.....   | 32 |
| 5.2 Caracterização e classificação do resíduo “borra de cal” .....               | 33 |
| 5.3. Destinação atual do resíduo .....   | 38 |
| 5.4. Análise da aplicabilidade do resíduo nos materiais de construção civil..... | 39 |
| 6- <b>CONCLUSÃO</b> .....  | 43 |
| 7- <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 44 |

## 1- INTRODUÇÃO

O aumento em demasia da produção industrial se dá para atender a alta demanda da sociedade mundial, a qual é impulsionada pelo capitalismo que usa das estratégias de marketing para atrair cada vez mais clientes. Dessa forma, o alto consumo por parte da sociedade acarreta consequências ambientais, visto que a extração da matéria prima é advinda dos recursos naturais disponíveis (água, ar e solo) e que possuem quantidades finitas. E, dentre essas consequências está a geração de resíduos sólidos industriais. (RODRIGUES; PEIXOTO; XAVIER; 2013).

Dessa forma, resíduos sólidos é definido como:

“Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”. (POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2010).

Diante disso, uma das maneiras de resolver esse problema segundo Furmanski e Peterson (2015) é incentivando a reciclagem e o reuso desses resíduos. Pois, atualmente as práticas sustentáveis não são vistas apenas como benéficas ao meio ambiente, mas também são consideradas diferenciais competitivas no mercado. Contudo, atendendo apenas aos padrões de legislação vigentes as empresas não conseguem atingir tais vantagens competitivas, principalmente quando se trata de mercado externo.

Devido a isso, o conceito de desenvolvimento sustentável vem ganhando força e incentivando as empresas a se responsabilizarem cada vez mais por todo o resíduo que geram no seu processo produtivo, como também pela destinação que será dada aos seus produtos depois de sua vida útil. (RODRIGUES; PEIXTO; XAVIER; 2013).

De acordo com Murakami (2014), uma das formas de tornar o gerenciamento de resíduos estratégico, e aumentar o desempenho ambiental e econômico da cadeia de suprimentos das empresas, é adotando o conceito da “Ecologia Industrial”. A ecologia industrial segundo Murakami (2014), defende que o uso de co-produtos e resíduos gerados em uma indústria sirva para substituir matéria prima virgem nos processos produtivos de outras organizações ou ainda o da mesma em que o resíduo foi gerado.

Assim, buscando tecnologias e adotando estratégias, as industriais vão conseguir reutilizar seus resíduos ou conseguirem reciclar os mesmos para uso em outras indústrias.

Alguns exemplos disso foram descritos por Murakami (2014), sendo eles: potencial da utilização de uma escória gerada em uma aciaria para ser usada como pavimento na construção de estradas, como também em indústria de concreto e cimento. Outro caso é uso da casca de arroz e pneus inservíveis para produção de cimento.

Nesse contexto, temos o caso da geração de um resíduo na estação de tratamento de efluentes de uma indústria de baterias chumbo ácido no estado de Pernambuco, denominado “borra de cal”. Esse resíduo possui grande potencial para servir de matéria prima na produção de materiais de construção, mas atualmente ele é destinado para aterro industrial contribuindo para redução da vida útil dele. Em vista dessa problemática, o presente trabalho visa mostrar o potencial de reciclagem desse resíduo para que ele sirva de matéria prima para aplicação em outras indústrias, sendo elas do ramo de construção civil.

## **2- OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Analisar o potencial de reciclagem do resíduo gerado em uma estação de tratamento de efluentes de uma indústria de baterias chumbo ácido.

### **2.2. Específicos**

Mostrar o processo pelo qual é formado o resíduo;

Descrever os resultados de caracterização e classificação química do resíduo realizada em laboratório externo;

Mostrar os impactos ambientais e econômicos da sua destinação atual;

Avaliar a viabilidade pós análises químicas, na literatura para seu uso em materiais de construção e seus ganhos ambientais e econômicos.

### 3- REFERENCIAL TEÓRICO

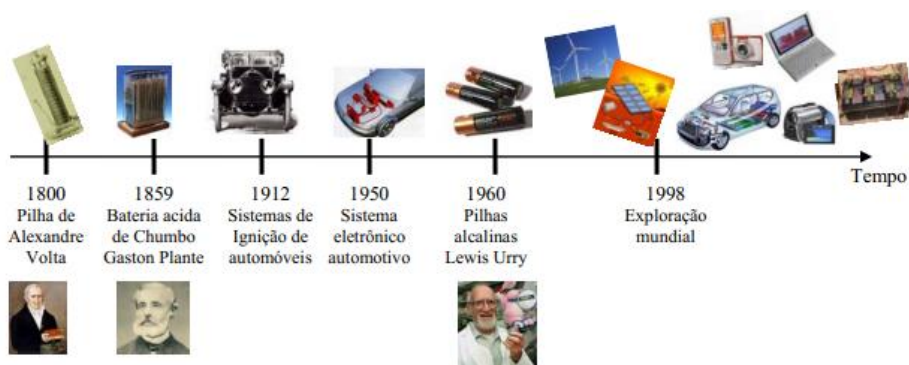
#### 3.2. Baterias

Baterias são conjuntos de acumuladores elétricos recarregáveis, interligados convenientemente, construídos e utilizados para receber, armazenar e liberar energia elétrica por meio de reações químicas, para as baterias de chumbo ácido esta reação envolve chumbo e ácido sulfúrico (ABNT, 1987). E de acordo com Leão (2009) no mercado hoje já são encontrados vários tipos de baterias para os mais diversos usos.

##### 3.2.1. Evolução das baterias

Com o tempo o desenvolvimento de diversos modelos de bateria de acordo com o controle de carga e descarga da mesma, possibilitou o surgimento de diversos aparelhos eletrônicos portáteis, sendo eles: celulares, MP3, MP4, câmeras digitais e computadores. E, além de serem usadas nesses eletrônicos, as baterias também são amplamente utilizadas em sistemas novos, como exemplos de fontes de energias renováveis como a solar e eólica como mostra a figura 2 (LEÃO, 2009).

Figura 1- Cronologia das baterias

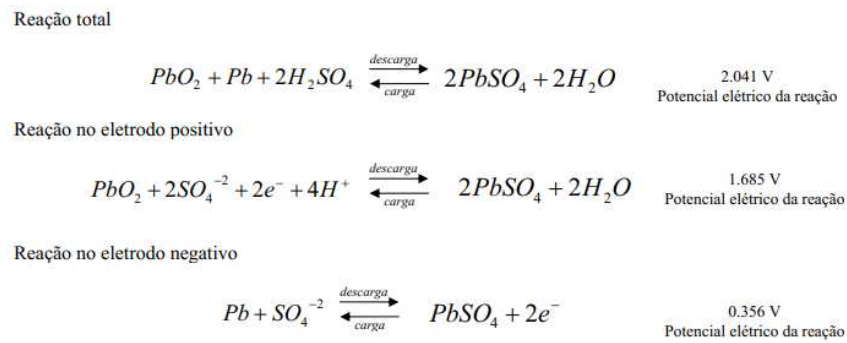


Fonte: Leão (2009)

##### 3.2.2. Baterias de Chumbo Ácido

As baterias chumbo-ácido são assim denominadas por serem acumuladores elétricos que possuem como componentes principais o chumbo, ácido sulfúrico e o plástico. A forma como o chumbo se apresenta nas baterias é como chumbo metálico, ligas de chumbo, dióxido de chumbo e sulfato de chumbo. Enquanto o ácido sulfúrico não se apresenta na sua forma pura, mas em forma de solução aquosa ocupando de 27% a 37% o volume da bateria (LEÃO, 2009).

Figura 2- Reação química da bateria chumbo - ácido



Fonte: Leão (2009)

De acordo com Carneiro, R. L. et al. (2016) as baterias chumbo-ácido tem como principal aplicação a indústria automotiva. Mas hoje já se expandiu suas aplicações podendo ser utilizadas também para fornecer energia a outros sistemas auxiliares nos veículos, como no som, ar-condicionado etc.

### 3.2.3. Componentes da bateria chumbo-ácido

As baterias chumbo-ácido são compostas por:

- Placas positivas e negativas: são grades produzidas a partir de Pb (chumbo), em que nessas grades são aplicadas massas produzidas a partir de PbO (óxido de chumbo) e outras substâncias que são adicionadas, correspondendo a determinadas reações químicas. As placas se diferenciam entre positivas e negativas, sendo responsáveis por acumular e conduzir corrente elétrica (LEÃO, 2009);
- Separadores: são envelopes de polietileno que tem a função de separar uma placa positiva de uma placa negativa (LEÃO, 2009);
- Caixas e tampas: são caixas produzidas de polipropileno as quais possuem espaços separados com a função de acondicionar as células e não reagem com eletrólito. A tampa é responsável por isolar os elementos armazenados na bateria em relação ao meio externo e impedir a entrada de contaminação (CARNEIRO, R. L. et al. 2017);
- Conectores: responsáveis por interligar os elementos da bateria e formar um circuito e estes são produzidos por diferentes ligas de chumbo (CARNEIRO, R. L. et al. 2017);



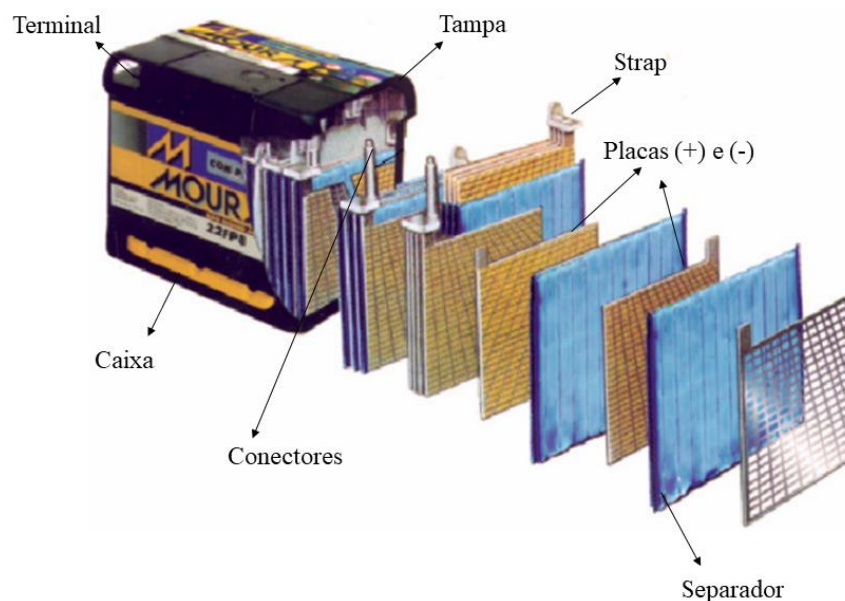
Figura 3- Composição dos conectores da bateria chumbo - ácido

| Componente | Liga Pb-Sb (%) | Liga Pb-Sn (%) |
|------------|----------------|----------------|
| Antimônio  | 3,0 – 3,3      | < 0,002        |
| Selênio    | 0,01 – 0,02    | -              |
| Alumínio   | < 0,001        | < 0,001        |
| Estanho    | 0,15 – 0,30    | 0,25 – 1,20    |
| Arsênio    | < 0,05 – 0,12  | < 0,001        |
| Cobre      | < 0,002        | < 0,002        |
| Outros     | < 0,001        | < 0,001        |

Fonte: Carneiro, R. L. et al. (2017)

- Terminais: são os polos positivos e negativos da bateria (LEÃO, 2009);
- Solução ácida: a solução é formada por 35% de ácido sulfúrico e 65% de água destilada. A solução é tem papel primordial nas reações químicas, fazendo com que elas ocorram (LEÃO, 2009).

Figura 4- Representação dos componentes da Bateria de chumbo - ácido



Fonte: Acumuladores Moura S.A (2023)

### 3.2.4. Logística Reversa das baterias chumbo-ácido

De acordo com Sousa e Rodrigues (2014), tendo como ponto de partida a década de 80, as empresas começaram a demonstrar preocupação com o fluxo inverso da cadeia produtiva, tendo em vista as questões ambientais quando se tratava do tema geração de resíduos.

Com isso, a logística reversa opera de maneira inversa a logística tradicional, sendo responsável por planejar, operar e controlar os fluxos de retorno dos bens que foram vendidos e consumidos, trazendo-os de volta a cadeia produtiva do negócio usando de canais de distribuição reversos. A volta desses produtos tem por finalidade o uso para reciclagem, reprocessamento no processo produtivo, envio para outros mercados ou envio para uma destinação mais adequada (SOUSA e RODRIGUES, 2014).

E segundo SINIR (2021), as baterias chumbo-ácido apresentam alguns riscos ao meio ambiente, sendo eles:

- O chumbo e o ácido presente nas baterias em contato com o meio ambiente podem causar graves impactos ambientais;
- Grande volume de baterias descartadas de maneira incorreta pode contaminar o solo e água com os metais pesados e o ácido;
- Possuem baixa biodegradabilidade.

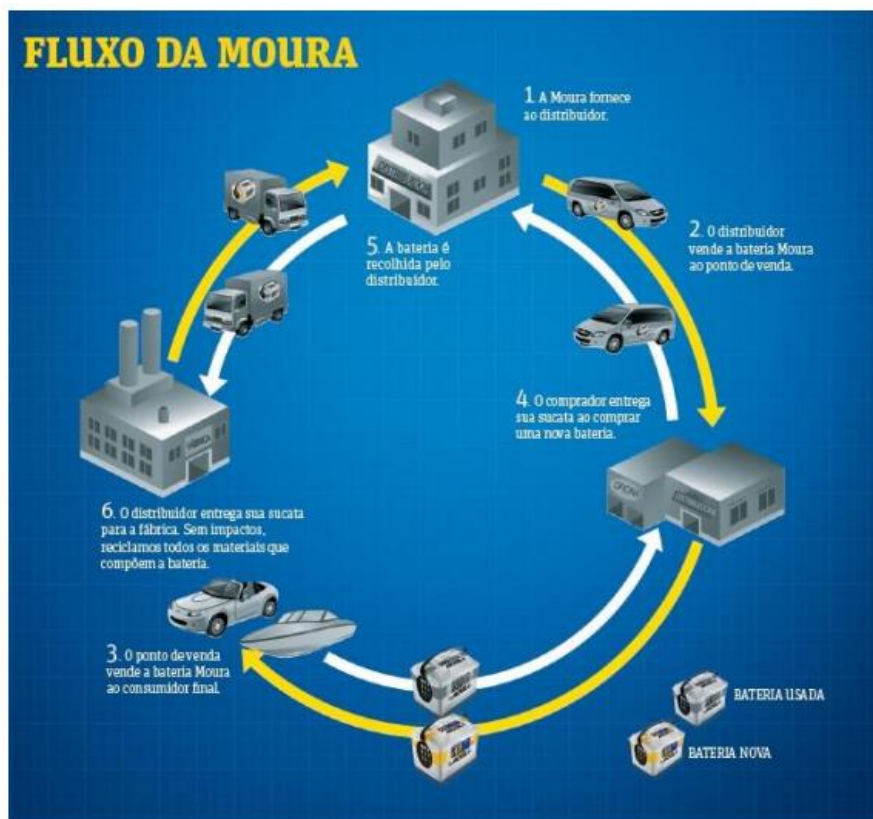
Mediante tais problemas, em 2010 foi estabelecida a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei N° 12305, que em seu artigo Art. 33 retrata a obrigatoriedade da implementação da logística reversa para alguns ramos de fabricação, sendo eles o de pilhas e baterias.

Por isso, a logística reversa para reciclagem das baterias chumbo-ácido é de extrema importância visto que seus componentes são os mais reciclados do mundo. Com isso, o chumbo, o plástico e até o ácido podem ser 100% reciclados com a possibilidade de gerar novas baterias, demonstrando uma grande contribuição para economia circular. Fazendo uma comparação com outros produtos, as baterias estão à frente de vários produtos, visto que seu potencial de reciclagem é superior, exemplos: latas de alumínio (55% de reaproveitamento), jornais (45%), Pneus (26%) e garrafas de vidro (26%) (ABRABAT, 2020).

Dessa forma, é de fundamental importância que se cumpra a devolução da bateria inservível e ela retorne ao ponto de origem e receba a destinação adequada. E como determina a regulamentação da logística reversa de baterias chumbo-ácido, que após seu uso o produto deve ser descartado no mesmo estabelecimento comercial em que foi realizada a compra (SINIR, 2020).

Na figura 6 é mostrado o esquema do funcionamento da logística reversa de baterias chumbo-ácido:

Figura 5- Fluxo da logística reversa da Acumuladores Moura



Fonte: Alexandre (2016)

De acordo com Alexandre (2016), o fluxo funciona da seguinte forma:

- 1) Na etapa 1, a Moura fornece a bateria produzida na fábrica para um dos oitenta pontos da Rede de Distribuição Moura disponíveis no Brasil;
- 2) O distribuidor vende a bateria para um dos pontos de venda;
- 3) O ponto de venda então vende a bateria Moura ao consumidor final;
- 4) O consumidor, ao comprar a bateria nova, realiza a entrega da sua bateria inservível ao ponto de venda, que encaminha a sucata novamente ao distribuidor;
- 5) O distribuidor recolhe a bateria usada;
- 6) O distribuidor entrega a sucata para a fábrica. A bateria usada é levada à unidade metalúrgica de reciclagem e metais de onde será 100% reciclada, constituindo uma nova bateria.

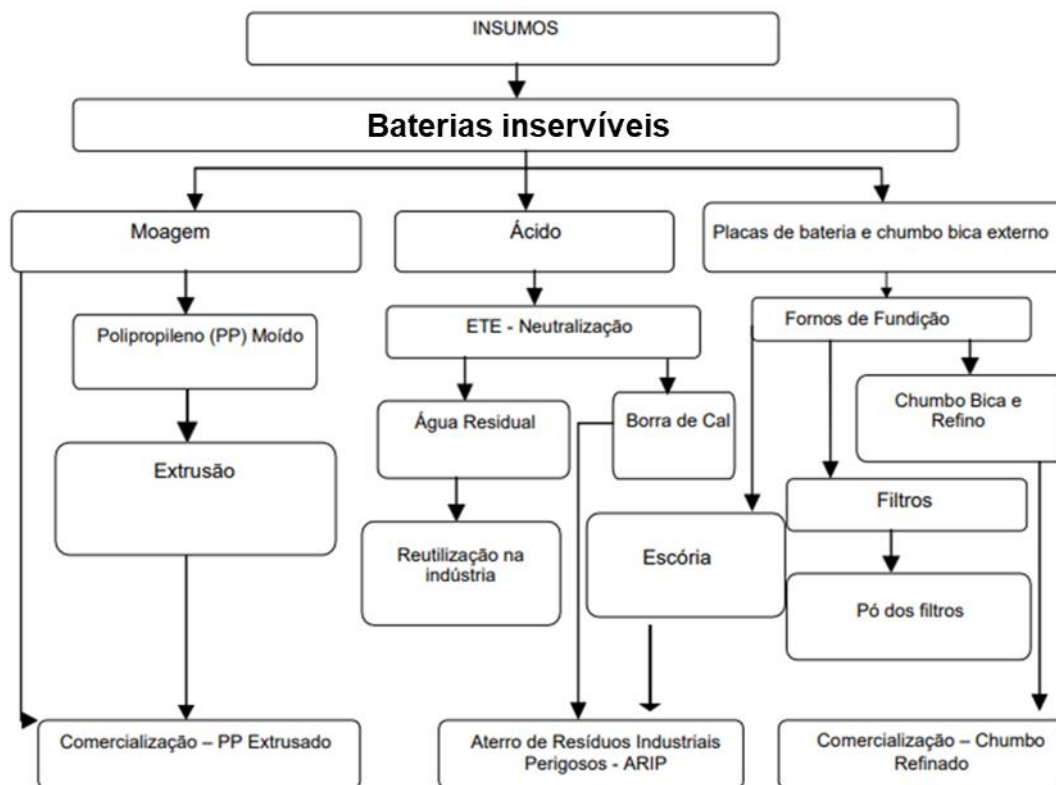
### 3.2.5. Processo de reciclagem da bateria chumbo-ácido

No fluxograma realizado por Gomes (2019) é mostrado como funciona o processo da reciclagem de baterias chumbo-ácido o qual é dividido em:

- 1- Setor de moagem de bateria;
- 2- Setor de fundição do chumbo (fornos rotativos);

- 3- Setor do refino;
- 4- Setor de tratamento dos efluentes gerados;
- 5- Setor de extrusão.

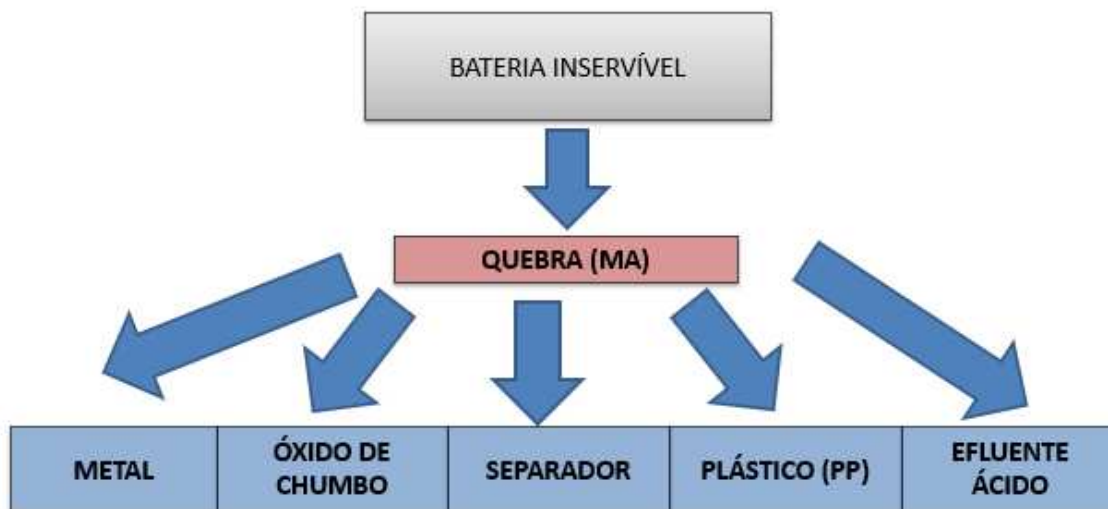
Figura 6- Fluxograma dos processos de reciclagem de uma bateria inservível



Fonte: Gomes (2019)

No setor da moagem ocorre a trituração da bateria inservível por densidade e a posteriormente a separação dos elementos: i) bateria inservível é triturada e suas partes são separadas; ii) o resultado da trituração (pasta de placa negativa, grade e o chumbo metálico) é direcionado ao forno rotativo para fundição do material; iii) o polipropileno (PP) é moído, lavado e acondicionado em bags para extrusão; iv) o efluente ácido gerado não é reaproveitado no processo e vai para estação de tratamento de efluentes.

Figura 7- Resultado do processo de trituração de uma bateria inservível



Fonte: Acumuladores Moura (2023)

Após a quebra da bateria, o Pb (chumbo) metálico e a pasta obtida no processo são enviados aos fornos rotativos para fundição do material. Para que o resultado obtido seja Pb metálico em um elevado grau de pureza, são adicionados determinados insumos. Esse processo também gera um resíduo chamado escória, o qual é direcionado para aterros industriais respeitando as normas ambientais (ACUMULADORES MOURA, 2023).

Após o processo de fundição, o material obtido é o “chumbo bruto” o qual vai para o setor do refino e a escória, que é o resíduo gerado no processo é encaminhada para o aterro industrial. No refino é realizada a purificação do chumbo para formação de ligas, que após serem refinados, passam por lingoteiras, obtendo como produto os lingotes (GOMES, 2019).

Figura 8- Lingotes de chumbo



Fonte: Acumuladores Moura (2023)

De acordo com Gomes (2019) A solução de ácido sulfúrico que resta do processo da reciclagem da bateria chumbo é enviado para estação de tratamento de efluentes para tratamento. Inicialmente, através de tubulações essa solução chega até a estação e fica armazenado em lagoas.

Das lagoas o efluente é bombeado para os tanques da estação de tratamento de efluente. Inicialmente a solução ácida vai para tanques agitadores em que receberão doses de cal hidratada para ser neutralizado e precisam atingir um pH entre 6,5 e 8,5, passando posteriormente pela etapa da floculação e decantação. Por fim, com objetivo de separar “a borra de cal” do efluente neutralizado, a mistura é enviada a um filtro prensa. A borra ou lodo restante do processo, é um resíduo que é destinado a um aterro para armazenamento respeitando as normas ambientais (GOMES, 2019).

### **3.3. Classificação dos resíduos industriais**

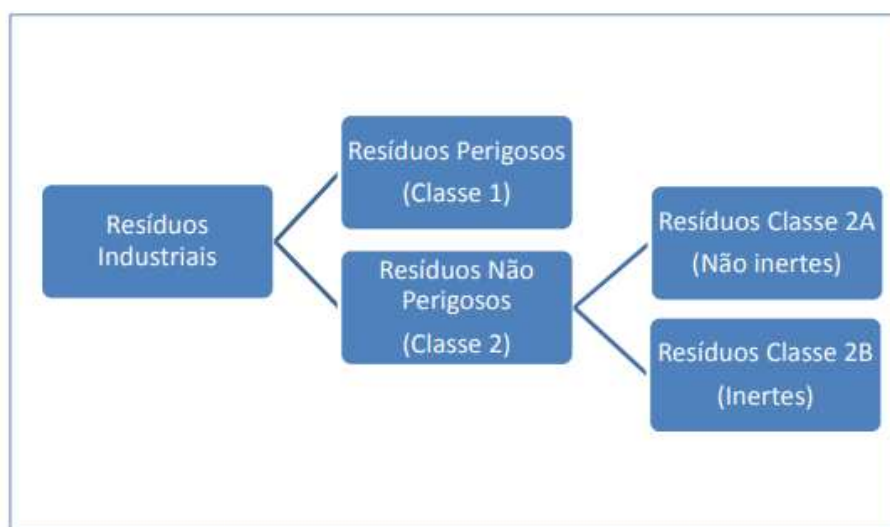
Os resíduos industriais segundo Murakami (2014) podem ser encaixados em dois grupos, sendo eles: (i) resíduos perigosos, os quais são constituídos de elementos de tóxicos e que são responsáveis por causar danos ao meio ambiente como também as pessoas; (ii) os não perigosos ou gerais, os quais são compostos por outros resíduos que não oferecem perigo a qualidade ambiental ou ao ser humano, sendo eles, plástico, restos de alimentos, papel e borracha.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também possui uma classificação para os resíduos por meio da norma 10004/2004, sendo ela denominada em

resíduos perigosos (Classe 1) e os não perigosos (Classe 2). Os resíduos perigosos são assim classificados por possuírem características como: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade.

Enquanto os não perigosos são assim chamados por não apresentarem tais características e são subdivididos em outras duas classes: classe 2A denominados como não inertes, os quais em contato com a água tem o poder de alterar seu padrão de potabilidade, além disso podem apresentar características como biodegradabilidade e combustibilidade. O classe 2B, denominados inertes, em contato com a água não alteram seu padrão de potabilidade. (ABNT, 2004).

Figura 9- Classificação dos resíduos



Fonte: Murakami (2014)

Nesse sentido, é notório que a geração de resíduos é um problema ambiental grave visto que o crescimento exponencial da população e conseqüente demanda acelera e aumenta a descartabilidade dos produtos consumidos. Diante do exposto e como forma de gerir melhor a problemática da geração de resíduos surge a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela lei n 12.305, em 02 de agosto de 2010. (SANTOS, TEIXEIRA e KNISS, 2014)

De acordo com Murakami (2014), a PNRS em seu artigo 1 ela descreve acerca dos princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes que contribuem para efetivação do gerenciamento de resíduos sólidos, sendo de responsabilidade tanto da pessoa física, quanto jurídica de direito tanto público quanto privado pela sua geração.

Outra forma de classificar os resíduos de acordo com Santos, Teixeira e Kniess (2014) é levando em consideração o seu fluxo:

Pós-consumo: se refere aos produtos usados após seu ciclo de vida útil, sendo eles produtos que possuem potencial de reuso;

Pós-venda: caracterizado por não apresentarem pouco ou nenhum uso e que retornam a cadeia de suprimento por motivos tais como devolução, apresentação de defeitos etc.

O lançamento de novos produtos e o material usado para produzir induz ao crescimento do pós consumo. Dessa forma, tais resíduos podem ser destinados de maneiras distintas: local seguro, como locais cobertos e impermeabilizados ou aterros; destinos que comprometam a qualidade ambiental sendo lançados diretamente na natureza ou ainda voltar para cadeia produtiva. Em destaque temos os resíduos e subprodutos industriais que são gerados durante toda a cadeia produtiva.

### 3.4. Gerenciamento de resíduos industriais

De acordo com Murakami (2014), para um efetivo gerenciamento de resíduos ele precisa seguir uma lógica. Inicialmente é importante repensar o as matérias as primas utilizadas como o processo produtivo como um todo e dessa forma buscar evitar a geração desse resíduo. Em um segundo momento, a diminuição da geração do resíduo deve se dá por inclusão de tecnologias mais modernas e limpas no processo produtivo. E por último, diante da dificuldade da eliminação ou não geração, buscar meios de reutilizar esse resíduo, ou optar pela reciclagem. E para que a reciclagem seja efetiva, a separação adequada como tratamento desse resíduo irá contribuir para que ela aconteça. Materiais que não possuem adequação dentro das demais classificações devem ser destinados para locais adequados e controlados

Figura 10- Hierarquia para gerenciamento de resíduos sólidos industriais



Fonte: Murakami (2014)

### 3.5. Gestão de resíduos industriais e o desenvolvimento sustentável

Dentro desse contexto, Armelin (2020) retrata sobre a importância de refletir sobre o desenvolvimento sustentável, o qual defende que ele deve ser de forma que satisfaça as necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras de terem suas



necessidades atendidas. E investir em sustentabilidade pode ajudar que as organizações permaneçam mais tempo no mercado, sendo mais bem-sucedidas. Armelin (2020) também defende que os aspectos sustentáveis não podem levar em consideração apenas o produto, mas toda a cadeia de suprimentos.

Assim, é reforçada a responsabilidade socioambiental dentro das organizações, as quais são comparadas a organismos participantes de um ecossistema industrial que está dentro da biosfera usufruindo de recursos finitos e gerando dejetos, sendo comparados aos sistemas da natureza, visto que precisam de insumos, e que após o processo produtivos despejam resíduos. (RODRIGUES, PEIXOTO e XAVIER, 2013).

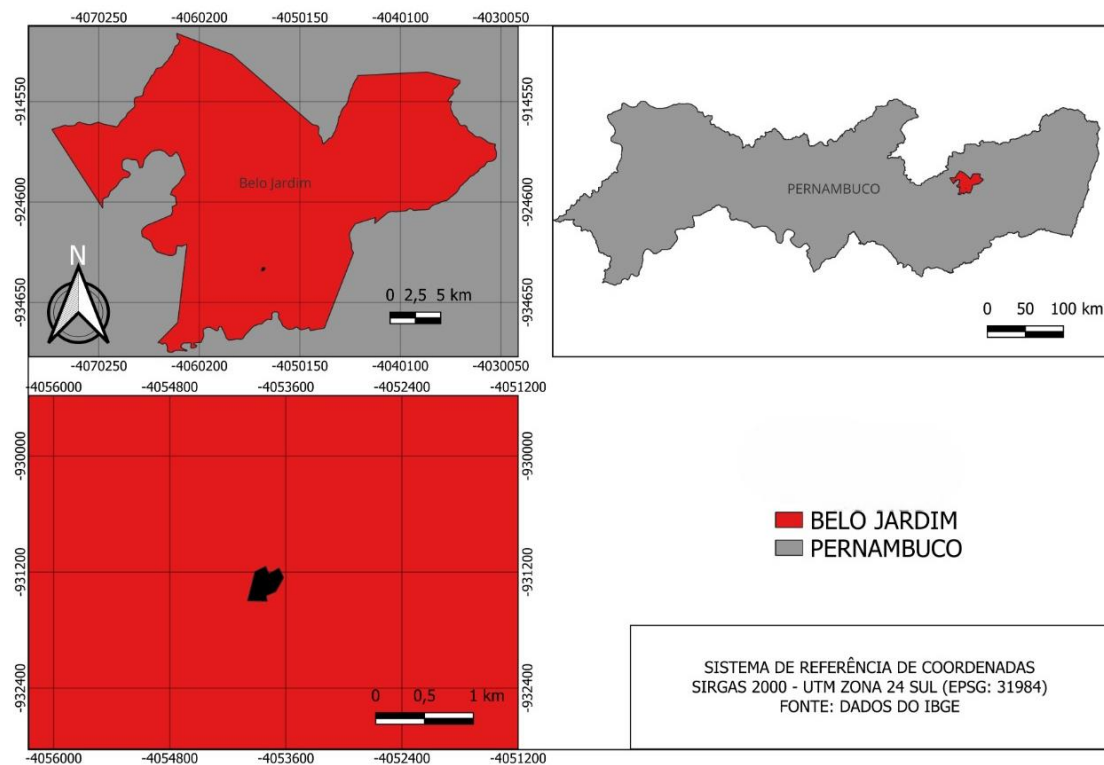
Dessa forma, tendo o objetivo minimizar o descarte de resíduos na natureza, repensar a gestão de resíduos é a solução, dando prioridade a reintegração dos resíduos nos processos produtivos, seja por meio da reciclagem, reuso ou recuperação, contribuindo assim para um desenvolvimento sustentável. E buscando entender o uso dos resíduos e seu impacto existe um conceito chamado simbiose industrial, sendo ela a troca de materiais, energia, água ou subprodutos entre indústrias separadas, resultando na diminuição dos danos ambientais. (SANTOS, TEIXEIRA e KNISS, 2014).

## 4- MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado na cidade de Belo Jardim em Pernambuco, a cidade tem 79.507 habitantes de acordo com o IBGE. Belo Jardim possui coordenadas 8° 20' 9" Sul, 36° 25' 28" w e está inserida em uma região semiárida caracterizando-se por apresentar temperaturas elevadas durante todo ano com baixas amplitudes térmicas (entre 20C e 30C) e um baixo índice pluviométrico.

Mapa 1: Localização da área de estudo



Fonte: Autor (2023)

### 4.2 Metodologia

O estudo de caso foi realizado sobre o resíduo gerado em uma estação de tratamento de efluentes (ETE) de uma indústria de baterias chumbo-ácido, e todo o estudo foi realizado conforme fluxograma apresentado na figura 13:

Figura 11- fluxograma com as etapas dos procedimentos metodológicos



Fonte: Autor: (2023)

### **1-Descrição do processo de tratamento de efluentes mostrando como o resíduo é gerado**

Para conhecimento do processo de tratamento de efluentes, houve um acompanhamento do processo real dentro da fábrica para conhecer suas etapas. Mediante conhecimento do processo real, foi descrito no presente trabalho todas as suas etapas e mostrado através de fluxogramas e imagens como o processo acontece e em que etapa o resíduo é gerado nesse processo.

### **2- Discussão sobre os resultados de caracterização e classificação química do resíduo realizada em laboratório externo**

Para conhecimento da composição e classificação do resíduo gerado, foi realizada uma coleta da amostra na estação de tratamento de efluentes da fábrica e enviada para laboratório externo.

A coleta foi realizada por um operador com todos os EPI's necessários e o resíduo foi inserido em um saco plástico limpo. O laboratório solicitou 1 kg do resíduo e pediu que fosse respondido um questionário antes do envio, sobre as condições do resíduo, local e hora da coleta e as condições do tempo no dia da coleta. Com 20 dias após enviada a amostra, o laboratório retornou com os resultados das análises.

As análises realizadas foram:

***Massa bruta do resíduo***

Objetivo: conhecer a composição química do resíduo

Para quantificar os metais compostos na amostra o laboratório utilizou o método de plasma indutivamente acoplado (ICP) e para determinação de compostos orgânicos voláteis foi usado o método da espectrometria de massa acoplada a cromatografia gasosa (CG-MS).

***Análise da periculosidade do resíduo***

Objetivo: determinar a classificação do resíduo quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública.

Laboratório onde foi realizada à análise:

TECLAB- tecnologia de análises laboratoriais

Procedimentos experimentais:

O procedimento experimental utilizado foi conforme o que consta na norma ABNT NBR 10.004/2004 e de acordo mais especificamente com o item 4.2.1 dessa norma.

***Análise do extrato lixiviado do resíduo***

Objetivo: determinar a capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo para o meio ambiente.

Laboratório onde foi realizada à análise:

TECLAB- tecnologia de análises laboratoriais

Procedimentos experimentais:

O procedimento experimental utilizado foi conforme o que consta na norma ABNT NBR 10.005/2004.

***Análise do extrato solubilizado do resíduo***

Objetivo: determinar a capacidade do resíduo liberar seus componentes para o meio aquoso.

Laboratório onde foi realizada à análise:

TECLAB- tecnologia de análises laboratoriais

Procedimentos experimentais:

O procedimento experimental utilizado foi conforme o que consta na norma ABNT NBR 10.006/2004.

**3- Apresentação da destinação atual do resíduo e seus impactos ambientais e econômicos**

A destinação atual do resíduo foi apresentada com base no processo real dentro da fábrica. Houve visitas no local da destinação para conhecer e analisar os possíveis impactos ambientais causados.

Os impactos econômicos, foram estimados através de valores cobrados no mercado para construção de aterros industriais. O cálculo desse impacto, foi realizado com os dados do valor cobrado para um aterro de 70.000 m<sup>3</sup> dividido pelo volume anual de resíduo gerado (informação obtida na empresa). Com esses dados também foi possível estimar o tempo de vida útil dos aterros dentro da fábrica e o custo anual com essa destinação.

#### **4- Análise da viabilidade do uso desse resíduo em materiais de construção em substituição da destinação atual e seus ganhos ambientais e econômicos**

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica para mostrar a viabilidade da troca de destinação do resíduo para sua incorporação em materiais de construção. Com o auxílio da pesquisa foi identificar possíveis materiais de construção em que o resíduo poderia ser incorporado. E com a troca dessa destinação, foram descritos os ganhos ambientais como também os benefícios econômicos com base nos dados de valores cobrados no mercado, para aterros.

## 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Processo de tratamento dos efluentes industriais

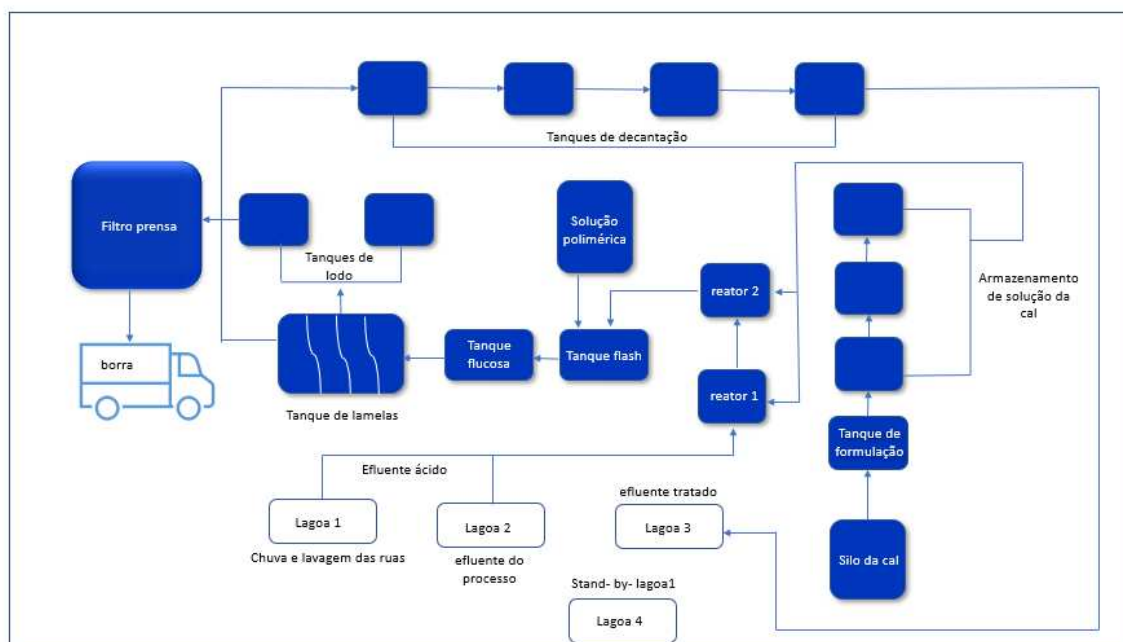
É a estação de tratamento de efluentes industriais (ETEs) que recebe todo o efluente gerado nas unidades fabris. São gerados efluentes nas unidades de produção de baterias, na unidade de reciclagem das baterias (efluente ácido) e na lavagem das ruas das fábricas e dos pneus dos transportes que circulam dentro dela.

Com isso, a ETE é um sistema que tem como objetivo despoluir as águas residuárias geradas nos processos, através de processos químicos e físicos e fazer com que as mesmas após serem tratadas possam ser reutilizadas. Esse sistema além de permitir que o efluente tratado possa ser reutilizado, ele também adequa o mesmo aos parâmetros exigidos na legislação para descarte em corpos hídricos.

A ETE industrial é formada pelos seguintes processos:

- Preparação da cal hidratada;
- Neutralização do efluente ácido;
- Floculação;
- Decantação;
- Filtro prensa.

Figura 12- Fluxograma do processo da ETE



Fonte: Autor (2023)

### 5.1.1 Processo de preparação da cal hidratada

O tratamento dos efluentes que chegam até a ETE é realizado por um produto denominado “cal hidratada” ou hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ ). Esse produto chega em bags na ETE e se apresenta na forma de pó, geralmente na cor branca ou bege. É ligeiramente solúvel em água, reage facilmente com ácidos e por isso é excelente na neutralização de sedimentos químicos e biológicos formados por águas residuais.

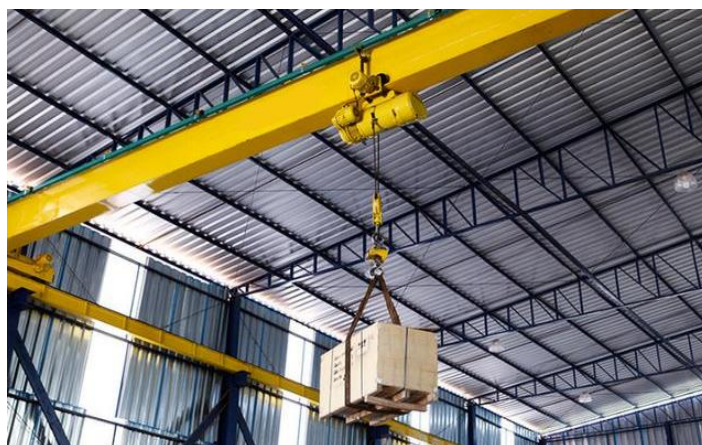
Figura 13- Cal armazenada em big bags



Fonte: Irmãos Mottin (2023)

Então, inicialmente a cal armazenada no bag é passada por uma ponte rolante de forma automática e levada até o silo de armazenamento da cal, para posteriormente ser enviado ao tanque de formulação. No tanque de formulação ocorre a pesagem da água e da massa de cal e a mistura deles por um misturador. Após ocorrer a mistura, eles são enviados para um tanque de armazenagem onde essa mistura fica sendo agitada de forma constante. A agitação dessa mistura se dá devido a cal ter propriedades que possa petrificar, visto que ela advém do calcário e pode ficar tão rígida quanto ele.

Figura 14- Ponte rolante

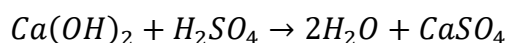


Fonte: Grupo M.I (2018)

### 5.1.2 Processo de Neutralização do efluente ácido

Inicialmente, o efluente das unidades chega e é direcionado para às lagoas. A lagoa 1 recebe o efluente resultante da lavagem de piso das fábricas, a lagoa 2 armazena o efluente gerado nos processos fabris, a lagoa 3 acondiciona o efluente pós-tratamento e a lagoa 4 serve como uma lagoa reserva para receber efluente quando as demais atingirem sua capacidade.

Os efluentes que chegam na ETE têm como principal característica a acidez, devido ao uso de solução ácida na produção das baterias, estando o pH entre 0 – 2. Então, o primeiro passo do tratamento é a adição do hidróxido de cálcio (cal hidratada) no reator 1 para elevação do pH, em seguida ele segue para reator 2 onde será feita uma correção do pH. Essa reação de neutralização ocorre da seguinte forma:



O ácido presente no efluente ( $H_2SO_4$ ) reage com o hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ ) resultando em água ( $2H_2O$ ), que é o efluente tratado e o sulfato de cálcio ( $CaSO_4$ ) que é conhecida como “borra de cal”.

### 5.1.3. Processo de floculação

Floculação é um processo de coagulação das partículas que carregam sujeidade através de um coagulante químico, tendo como objetivo a agregação dessas partículas para que elas formem flocos e possam decantar.

Então, após a neutralização do efluente a solução é enviada ao tanque flash, lá a solução recebe uma solução polimérica feita a partir de um floculante sintético. E após



receber a solução com o polímero, o efluente neutralizado vai para o tanque flocosa onde ocorrerá o processo de formação dos flocos (floculação).

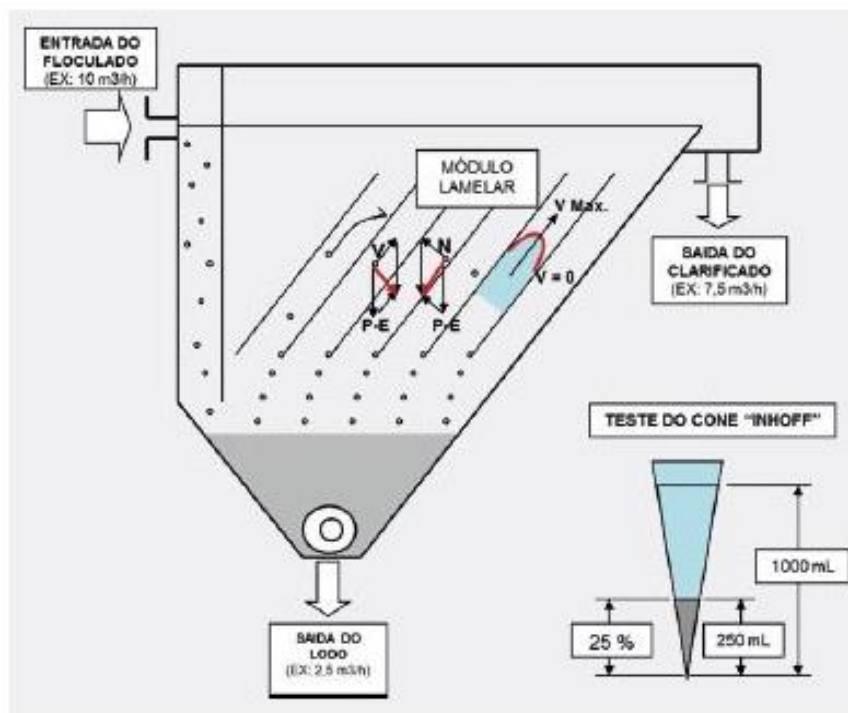
#### **5.1.4 Processo de decantação**

Quando o efluente sai do tanque flocosa e os flocos são formados, é iniciado o processo de decantação e esse processo ocorre em um tanque de lamelas ou decantador lamelar. O decantador lamelar realiza a separação dos sólidos suspensos através da gravidade. O tanque de lamelas é composto por uma série de placas verticais paralelas e inclinadas, e essas placas são nomeadas de lamelas.

Quando o efluente neutralizado chega ao tanque, ele flui pelas lamelas criando um fluxo que permite separar os “flocos” ou sólidos suspensos do efluente da água. Os flocos formados é o lodo da cal que foi adicionado no início do processo e durante essa etapa ele se acumula na superfície das placas, ficando depositado no fundo do tanque. Assim, o efluente clarificado fica na parte de cima do tanque e sai do decantador, seguindo para os demais tanques de sistema de decantação. Esses tanques possuem a finalidade de retirar os demais sólidos suspensos que não saíram por completo do tanque de lamelas.

Para avaliar a efetividade do processo de decantação e cumprir a legislação, é realizada uma análise através do cone *imhoff* que é uma vidraria em forma de cone que tem uma capacidade de 1000 ml. Com isso, o efluente é colocado no cone e é esperado 1 hora até que ocorra a decantação para verificar a quantidade de sólidos sedimentáveis que decantou. Para cumprimento da legislação, o efluente só pode apresentar até 1 ml/L de material sedimentável no efluente.

Figura 15- Ilustração do funcionamento de um tanque lamelar



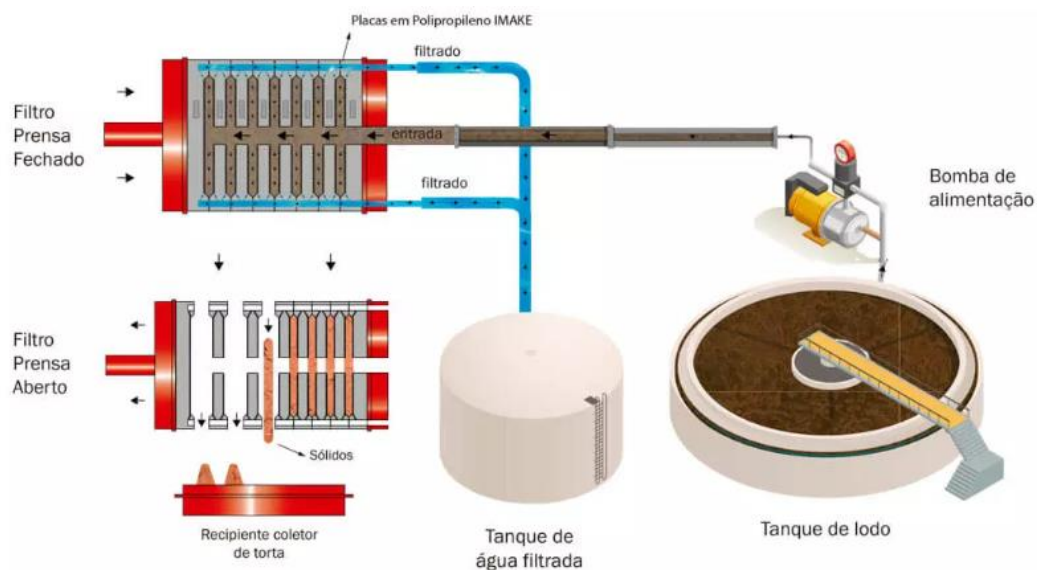
Fonte: Revista Tae (2016)

### 5.1.5 Filtro prensa

O efluente clarificado segue para os demais sistemas de decantação, enquanto o “lodo” acumulado na superfície das placas é transferido para o tanque de lodo. O lodo é bombeado para a um filtro prensa que o tem o objetivo de retirar a umidade desse resíduo.

O filtro prensa é um equipamento composto por placas que contêm poros com revestimento de tecido para drenagem. O lodo gerado é enviado para esse sistema, ficando entre as placas e recebendo uma pressão para que a parte líquida fique retida no tecido se separando da parte sólida (borra de cal). Em seguida as placas são abertas permitindo que a “borra” caia em uma caçamba para posteriormente ser transferida para o aterro industrial localizado dentro da própria fábrica.

Figura 16- Ilustração do funcionamento de um filtro prensa



Fonte: IMAKE group (2023)

## 5.2 Caracterização e classificação do resíduo “borra de cal”

Uma análise de caracterização e classificação serve para direcionar qual é a melhor estratégia de tratamento e disposição final para o resíduo. A caracterização do resíduo é o detalhamento de toda sua composição química, enquanto a classificação é a identificação do resíduo como classe I (perigoso) ou classe II (não perigoso) tendo como base a norma NBR/ABNT 10.004.

Então, para melhor entender a composição do resíduo e qual era a sua classificação, foi realizada uma análise de caracterização e classificação em laboratório externo contratado pela empresa.

Segue a composição da massa bruta do resíduo no quadro 1:

Quadro 1- “Caracterização do resíduo “borra de cal”

| <b>Elemento Químico</b> | <b>Resultado</b> |
|-------------------------|------------------|
| Antimônio               | < 10,0 mg/kg     |
| Arsênio                 | < 10,0 mg/kg     |
| Bário                   | < 10,0 mg/kg     |
| Benzeno                 | < 0,010 mg/kg    |
| Berílio                 | < 1,0 mg/kg      |
| Cádmio                  | < 1,0 mg/kg      |
| Chumbo                  | 394,2 mg/kg      |
| Cianeto                 | < 10,00 mg/kg    |
| Cobalto                 | < 1,0 mg/kg      |
| Cromo                   | 55,2 mg/kg       |
| Estanho                 | < 10,0 mg/kg     |
| Etilbenzeno             | < 0,010 mg/kg    |
| Mercúrio                | < 1,0 mg/kg      |
| Níquel                  | 41,8 mg/kg       |
| Prata                   | < 1,0 mg/kg      |
| Selênio                 | < 10,0 mg/kg     |
| Sulfeto                 | < 5,00 mg/kg     |
| Tolueno                 | < 0,010 mg/kg    |
| Xilenos                 | < 0,010 mg/kg    |
| Zinco                   | 113,9 mg/kg      |

Fonte: Autor (2023)

Como mostrado na tabela, o resíduo é composto em sua grande parte por metais pesados. Essa composição se dá devido a composição das baterias, tendo o chumbo como principal matéria prima. Os demais metais como: antimônio, selênio, alumínio, estanho, arsênio e cobre, dentro outros, estão presentes nos conectores das baterias, sendo cada conector feito por uma determinada liga de chumbo e isso explica o uso desses demais metais para formação dessas ligas.

Outros elementos presentes no resíduo são os elementos orgânico como exemplo do benzeno, etilbenzeno, dentre outros. E a presença desses elementos se dá devido a presença de óleos e graxas usados na manutenção dos equipamentos de produção.

Para classificar um resíduo como perigoso ou não perigoso é realizada uma análise com base na NBR/ABNT 10.004 para detecção de algumas dessas características: corrosividade, inflamabilidade, patogenicidade, reatividade e toxicidade. como mostrado na tabela 2.

Quadro 2- Classificação do resíduo “borra de cal”

| <b>Análise</b>  | <b>Resultado</b> |
|-----------------|------------------|
| Corrosividade   | Ausência         |
| Inflamabilidade | Ausência         |
| Patogenicidade  | Ausência         |
| Reatividade     | Ausência         |
| Toxicidade      | Ausência         |

Fonte: Autor (2023)

A ‘borra de cal’ foi classificada como um resíduo não perigoso (classe II) devido à ausência das características citadas.

A norma NBR/ABNT 10.004 subdivide o resíduo classe II em duas outras classes: inerte e não inerte. Para identificar se o resíduo é inerte ou não inerte ele precisa passar por análises de solubilização e lixiviação.

Lixiviação de acordo com a norma da ABNT NBR 10.005 (2004), o processo de determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator. Dessa forma, segue o extrato lixiviado de acordo com quadro 3.

Quadro 3- Extrato lixiviado do resíduo “borra de cal”

| <b>Análise</b>      | <b>Resultado</b> | <b>10004 – Anexo F</b> |
|---------------------|------------------|------------------------|
| 1,1 Dicloroetano    | < 0,001 mg/L     | Máx. 3,0 mg/L          |
| 1,2 Dicloroetano    | < 0,001 mg/L     | Máx. 1,0 mg/L          |
| 1,4 Diclorobenzeno  | < 0,001 mg/L     | Máx. 7,5 mg/L          |
| 2,4 D               | < 0,00005 mg/L   | Máx. 3,0 mg/L          |
| 2,4,5 Triclorofenol | < 0,001 mg/L     | Máx. 400,0 mg/L        |
| 2,4,5-T             | < 0,00005 mg/L   | Máx. 0,2 mg/L          |
| 2,4,5-TP            | < 0,00001 mg/L   | Máx. 1,0 mg/L          |
| 2,4,6 Triclorofenol | < 0,001 mg/L     | Máx. 20,0 mg/L         |
| 2,4-Dinitrotolueno  | < 0,00005 mg/L   | Máx. 0,13 mg/L         |
| Aldrin + Dieldrin   | < 0,00003 mg/L   | Máx. 0,003 mg/L        |

|                          |                 |                  |
|--------------------------|-----------------|------------------|
| Arsênio                  | < 0,01 mg/L     | Máx. 1,0 mg/L    |
| Bário                    | < 0,005 mg/L    | Máx. 70,0 mg/L   |
| Benzeno                  | < 0,001 mg/L    | Máx. 0,5 mg/L    |
| Benzo(a)pireno           | < 0,00005 mg/L  | Máx. 0,07 mg/L   |
| Cádmio                   | < 0,005 mg/L    | Máx. 0,5 mg/L    |
| Chumbo                   | < 0,52 mg/L     | Máx. 1,0 mg/L    |
| Clordano                 | < 0,00005 mg/L  | Máx. 0,02 mg/L   |
| Cloreto de Vinila        | < 0,001 mg/L    | Máx. 0,5 mg/L    |
| Clorobenzenos            | < 0,001 mg/L    | Máx. 100,0 mg/L  |
| Clorofórmio              | < 0,001 mg/L    | Máx. 6,0 mg/L    |
| Cresóis                  | < 0,005 mg/L    | Máx. 200,00 mg/L |
| Cromo                    | 0,232 mg/L      | Máx. 5,0 mg/L    |
| DDT + DDD + DDE          | < 0,00005 mg/L  | Máx. 0,2 mg/L    |
| Endrin                   | < 0,00003 mg/L  | Máx. 0,06 mg/L   |
| Fluoreto                 | 0,66 mg/L       | Máx. 150,0 mg/L  |
| Heptacloro Epóxido       | < 0,00001 mg/L  | Máx. 0,003 mg/L  |
| Hexaclorobenzeno         | < 0,000005 mg/L | Máx. 0,1 mg/L    |
| Hexaclorobutadieno       | < 0,001 mg/L    | Máx. 0,5 mg/L    |
| Hexacloroetano           | < 0,001 mg/L    | Máx. 3,0 mg/L    |
| Lindano                  | < 0,00005 mg/L  | Máx. 0,2 mg/L    |
| m-Cresol                 | < 0,0001 mg/L   | Máx. 200,0 mg/L  |
| Mercúrio                 | < 0,001 mg/L    | Máx. 0,1 mg/L    |
| Metiletilcetona          | < 0,001 mg/L    | Máx. 200,0 mg/L  |
| Metoxicloro              | < 0,00003 mg/L  | Máx. 2,0 mg/L    |
| Nitrobenzeno             | < 0,01 mg/L     | Máx. 2,0 mg/L    |
| o-Cresol                 | < 0,0001 mg/L   | Máx. 200,0 mg/L  |
| p-Cresol                 | < 0,0001 mg/L   | Máx. 0,0001 mg/L |
| Pentaclorofenol          | < 0,00005 mg/L  | Máx. 0,9 mg/L    |
| Piridina                 | < 0,001 mg/L    | Máx. 5,0 mg/L    |
| Prata                    | < 0,005 mg/L    | Máx. 5,0 mg/L    |
| Selênio                  | < 0,01 mg/L     | Máx. 1,0 mg/L    |
| Tetracloroeto de Carbono | < 0,001 mg/L    | Máx. 0,2 mg/L    |
| Tetracloroetano          | < 0,001 mg/L    | Máx. 4,0 mg/L    |

|               |                |               |
|---------------|----------------|---------------|
| Toxafeno      | < 0,00001 mg/L | Máx. 0,5 mg/L |
| Tricloroeteno | < 0,001 mg/L   | Máx. 7,0 mg/L |

Fonte: Autor (2023)

Mediante à análise de lixiviação do resíduo borra de cal, foi observado que os resultados se apresentaram dentro dos limites permitidos da ABNT/NBR 10.004/2004 em seu anexo F.

Em relação a solubilização, foi realizada à análise para avaliar o potencial do resíduo liberar seus constituintes em água, alterando sua qualidade, como consta o resultado do ensaio no quadro 4.

Quadro 4- Extrato solubilizado do resíduo “borra de cal”

| <b>Análise</b>     | <b>Resultado</b> | <b>10004 – Anexo G</b> |
|--------------------|------------------|------------------------|
| 2,4 D              | < 0,00005 mg/L   | Máx. 0,03 mg/L         |
| 2,4,5-T            | < 0,00005 mg/L   | Máx. 0,002 mg/L        |
| 2,4,5-TP           | < 0,00001 mg/L   | Máx. 0,03 mg/L         |
| Aldrin + Dieldrin  | < 0,00003 mg/L   | Máx. 0,00003 mg/L      |
| Alumínio           | 2,15 mg/L        | Máx. 0,2 mg/L          |
| Arsênio            | < 0,01 mg/L      | Máx. 0,01 mg/L         |
| Bário              | < 0,005 mg/L     | Máx. 0,7 mg/L          |
| Cádmio             | < 0,005 mg/L     | Máx. 0,005 mg/L        |
| Chumbo             | 0,40 mg/L        | Máx. 0,01 mg/L         |
| Cianeto            | < 0,01 mg/L      | Máx. 0,07 mg/L         |
| Clordano           | < 0,00005 mg/L   | Máx. 0,0002 mg/L       |
| Cloreto            | 64,5 mg/L        | Máx. 250,0 mg/L        |
| Cobre              | 5,40 mg/L        | Máx. 2,0 mg/L          |
| Cromo              | 0,270 mg/L       | Máx. 0,270 mg/L        |
| DDT + DDD + DDE    | < 0,00005 mg/L   | Máx. 0,002 mg/L        |
| Endrin             | < 0,00003 mg/L   | Máx. 0,0006 mg/L       |
| Fenol              | 1,00 mg/L        | Máx. 0,01 mg/L         |
| Ferro              | 0,30 mg/L        | Máx. 0,3 mg/L          |
| Fluoreto           | 0,85 mg/L        | Máx. 1.5 mg/L          |
| Heptacloro Epóxido | < 0,00001 mg/L   | Máx. 0,00003 mg/L      |
| Hexaclorobenzeno   | < 0,000005 mg/L  | Máx. 0,001 mg/L        |
| Lindano            | < 0,00005 mg/L   | Máx. 0,002 mg/L        |

|                  |                |                 |
|------------------|----------------|-----------------|
| Manganês         | 0,930 mg/L     | Máx. 0,1 mg/L   |
| Mercúrio         | < 0,001 mg/L   | Máx. 0,001 mg/L |
| Metoxicloro      | < 0,00003 mg/L | Máx. 0,02 mg/L  |
| Nitrato (como N) | 11,0 mg/L      | Máx. 10,0 mg/L  |
| Prata            | < 0,005 mg/L   | Máx. 0,05 mg/L  |
| Selênio          | < 0,01 mg/L    | Máx. 0,01 mg/L  |
| Sódio            | 320,00 mg/L    | Máx. 200,0 mg/L |
| Sulfato          | 4825,0 mg/L    | Máx. 250,0 mg/L |
| Surfactantes     | < 0,20 mg/L    | Máx. 0,5 mg/L   |
| Toxafeno         | < 0,00001 mg/L | Máx. 0,005 mg/L |
| Zinco            | 19,130 mg/L    | Máx. 5,0 mg/L   |

Fonte: Autor (2023)

Dessa forma, a “borra de cal” foi classificada como classe II A- não perigoso-não inerte, devido ficar fora dos padrões de solubilização para alumínio, chumbo, cobre, cromo, fenol, manganês, nitrato, sódio, sulfato e zinco, estabelecidos pela ABNT/NBR 10.004/2004 em seu anexo G.

### 5.3. Destinação atual do resíduo

Como descrito no tópico anterior, a caracterização e classificação é responsável por direcionar a melhor escolha no tratamento e disposição final do resíduo. Dessa forma, foi visto que a “borra de cal” possui em sua composição metais pesados e material orgânico, sendo classificada como um resíduo classe II A, ou seja, não perigoso, porém não inerte. Então, de acordo com esse resultado o material não pode ser descartado diretamente na natureza.

Diante disso, após sair do filtro prensa, a borra de cal cai diretamente em uma caçamba, que depois de cheia, leva o material até um aterro localizado dentro da própria fábrica. O aterro possui condições ambientalmente corretas, visto que possui proteção para o solo com duplo sistema de impermeabilização e sistema de detecção de vazamentos, além de ser licenciado pelo órgão ambiental.

Entretanto, para construção de um aterro é necessária a escolha de um local onde o impacto ambiental será mínimo, levando em consideração a topografia, geologia, recursos hídricos, vegetação e proximidade de núcleos habitacionais. Pois, o aterro requer uma área significativa para sua construção, e com isso outros pontos precisam ser analisados: o tamanho disponível da área, a vida útil que ele poderá obter e os custos para sua estruturação. Diante do exposto, a destinação final em aterros nem sempre se



apresenta como a melhor opção, mesmo que ambientalmente correta, devido possuir uma vida útil limitada, conforme

Quadro 5- Contribuição do resíduo para o tempo vida útil do aterro

| <b>Vol. aterro</b>    | <b>Vol. Anual Gerado (resíduo)</b> | <b>Vida útil (aterro)</b> |
|-----------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 70.000 m <sup>3</sup> | 11.880 m <sup>3</sup>              | 5 anos e 10 meses         |

Fonte: Autor (2023)

O aterro localizado dentro da fábrica que recebe a borra semanalmente, possui uma capacidade 70.000 m<sup>3</sup> e com a contribuição do resíduo, sua vida útil é reduzida. Com isso, aumenta a necessidade de construção de novos aterros, gerando um impacto ambiental, visto que há necessidade de uma grande área para construção ocasionando desmatamento. Também, há o risco de rompimento da manta, podendo contaminar o solo. Além disso, com a redução da sua vida útil acarretará maiores custos para empresa, gerando um impacto econômico de 1.36 milhões por ano.

#### **5.4. Análise da aplicabilidade do resíduo nos materiais de construção civil**

Uma das formas de tratamentos para resíduos que são compostos por metais pesados, principalmente os lodos industriais, é a solidificação/estabilização. A solidificação se dá apenas por um encapsulamento mudando apenas a forma física do resíduo, mas no processo não ocorre reações químicas que ligue os elementos ao aglomerante. Enquanto a estabilização modifica quimicamente os estados dos elementos que compõem o resíduo, fazendo com que eles sejam menos solúveis em água (JOCHEM, 2017).

De acordo com Paixão (2019), as vantagens do dessa técnica são: trazer uma melhoria para os aspectos físicos do resíduo e no seu manuseio, reduzir sua área superficial de mudança ou perda dos seus elementos para o meio, diminuir a solubilização dos constituintes do resíduo e imobilizar os elementos que apresentam perigo ao meio ambiente.

Como exemplos de aglomerantes para solidificação temos: cimento Portland, gesso, materiais cerâmicos, asfalto, dentre outros. E entre os mais usados como aglomerante, se destaca o cimento Portland, devido a simplicidade do processo, seu baixo custo e alta eficiência. O procedimento realizado com cimento, apresenta um ambiente onde os contaminantes possuam baixa solubilidade e condutividade, além de uma mínima lixiviação em casa do uso do material ou seu descarte (PAIXÃO, 2019).

Entretanto, para que possamos adicionar o resíduo contaminado nas matrizes do cimento, é necessário avaliar a eficácia do processo de solidificação e estabilização,

usando esses parâmetros: resistência mecânica, coeficiente de permeabilidade e lixiviação. Com isso, são exemplos de resíduos que podem atrapalhar o processo: silicato de cálcio hidratado (C-S-H), hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), monossulfoaluminato de cálcio (AFm) e trissulfoaluminato de cálcio (AFt) (JOICHEM, 2017).

Sendo assim, mesmo o cimento Portland apresentando uma excelente alternativa para tratamento da “borra de cal”, essa opção não se aplica, visto que o resíduo é composto em sua maior totalidade por hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Dessa forma, o uso da borra para produção de cimento iria alterar o desenvolvimento da hidratação (retardando ou acelerando a solidificação da pasta de cimento), como também iria reduzir a resistência mecânica do material e aumento da sua permeabilidade, resultando em um desempenho fora do esperado em relação ao material final.

Outra opção, é a incorporação do lodo resultante dos processos de tratamento de efluentes serem incorporados em produção de produtos cerâmicos, permitindo a imobilização dos elementos perigosos. Fazendo com que a migração dos elementos nocivos para o meio ambiente seja evitada, além de gerar valor para o resíduo (ALMEIDA, 2023).

A incorporação do lodo para esse tipo de material pode variar a mistura entre 0,5 até 60% com o objetivo de manter a qualidade do produto. Essas diferentes porcentagens interferem diretamente nas propriedades do produto, como: fogo, absorção de água, resistência etc. (ALMEIDA, 2023).

Devido a isso, para um resultado efetivo e após testes realizados, foi demonstrado que a aplicação de 5% do resíduo em substituição da argila, obteve bom desempenho mecânico e encapsulamento dos metais que estavam presentes no resíduo (ALMEIDA, 2023). Com isso, o uso da “borra de cal” para produção de desse tipo de material só é recomendada em pequena escala devido aumentar a porosidade do produto e diminuir seu desempenho.

Mediante exposição em relação a composição da borra de cal, pode ser observado que é um resíduo rico em sais, não sendo tão recomendado para incorporação em processos de fabricação de cimento ou produtos cerâmicos.

Porém, como a borra é resultado da cal hidratada no processo, uma outra recomendação seria na incorporação da produção de gesso. O gesso tem a cal como principal matéria prima, e possui diversas aplicabilidades na construção civil: drywall

(gesso acartonado), forro em placas, revestimento de parede e teto, bloco de gesso, decoração de interiores, entre outros.

Os testes iniciais para produção de gesso com a borra de cal foram realizados por uma consultoria externa. O teste aplicado foi apenas para retirada de umidade do material, o qual já se mostrou com um comportamento muito semelhante à de um material de gesso.

Entretanto, para resultados mais efetivos será necessário aguardar o seguimento do estudo para análise do comportamento da estabilização/solidificação dos metais pesados no produto. Essas análises vão promover mais segurança de manuseio humano, como também ambiental de forma que possamos optar por essa forma de tratamento para a borra.

Figura 17- Secagem da borra de cal



Fonte: consultoria externa (2023)

Fazendo a troca de destinação final do resíduo, sendo atualmente para aterros industriais e incorporando ele em materiais de construção, realizando sua reciclagem, consegue-se ter o seguinte ganho econômico:

Tabela 3- Ganhos econômicos com a reciclagem do resíduo

| <b>Custo do aterro (R\$)</b> | <b>Vida útil (aterro)</b> | <b>Economia com a reciclagem (R\$)</b> |
|------------------------------|---------------------------|--|
| 8 milhões                    | 5 anos e 10 meses         | 1.36 milhões/ano                       |

Fonte: Autor (2023)

Além dos ganhos econômicos com a mudança da destinação, se consegue ter um aumento da sua vida útil em 5 anos e 10 meses e uma melhoria no tratamento de resíduo, gerando ganhos ambientais. Esses ganhos ambientais geram visibilidade, trazendo um diferencial competitivo para organização.



## 6- CONCLUSÃO

Nesse estudo de caso, foi analisado o processo de geração de um resíduo (borra de cal) formado em uma estação de tratamento de efluentes de uma indústria de baterias chumbo-ácido. No acompanhamento do processo, identificou-se que o resíduo é gerado no momento que efluente passa pelo filtro prensa.

Após a caracterização e classificação do resíduo realizada em laboratório externo foi descoberta toda a sua composição química e sua classificação é Classe II A- não perigoso- não inerte.

No contexto de impacto ambiental, se concluiu que a destinação atual sendo em aterros industriais, mesmo que ambientalmente correta, poderia ainda acarretar alguns impactos como o desmatamento e o risco de rompimento da manta, podendo contaminar o solo. Por fim, conclui-se que a recomendação da substituição de destinação de aterros para incorporação na produção de gesso, haverá um aumento na vida útil dos aterros industriais em 5 anos e 10 meses, gerando um ganho econômico de 1.36 milhões por ano para organização.

Além disso, a melhoria no tratamento de resíduo, sendo destinado para reciclagem gera uma melhoria no seu tratamento e destinação final. Esses ganhos ambientais geram visibilidade, trazendo um diferencial competitivo para organização.

## 7- REFERÊNCIAS

ACUMULADORES MOURA S/A.; **Cartilha Moura WCM**. Belo Jardim, 2019.

ACUMULADORES MOURA S/A.; **Grupo Moura Baterias Automotivas**. Belo Jardim, 2012.

ACUMULADORES MOURA S/A. ACUMULADORES MOURA S/A Disponível em: <www.moura.com.br> Acesso em: 15 de Setembro de 2023.

ARMELIN, Marcelo Pereira. **ANÁLISE DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DE CIRCUITO FECHADO DE BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO**. 2020. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário Fei, São Bernardo do Campo, 2020.

ALEXANDRE, Lucíolla de Oliveira Gonçalves. **Logística reversa na indústria automotiva: um estudo de caso na empresa Baterias Moura**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso.

ALMEIDA, Everaldo Mello de. Utilização de lodo de tratamento de efluentes de indústria automotiva e encapsulamento de metais tóxicos em produtos cerâmicos. 2023.

ABRABAT. Associação brasileira de baterias automotivas e industriais. Disponível em: <https://www.abrabat.com.br/>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

CARNEIRO, R.L.; MOLINA, J. H. A.; ANTONIASSI, B.; MAGDALENA, A. G.; PINTO, E. M. **Aspectos essenciais das Baterias Chumbo-Ácido e Princípios Físico-Químicos e Termodinâmicos do seu Funcionamento**. Revista Virtual de Química (RVq), web, Volume 9, número 3, p. 889-911, maio, 2017. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v9n3a06.pdf> . Acesso em: 20 de outubro de 2023.

FURMANSKI, Luana Milak; PETERSON, Michael. **RECICLAGEM INTERNA DO LODO DA ETE DE UMA INDÚSTRIA CERÂMICA**. In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 6., 2015, São José dos Campos. **Forúm**. São José dos Campos: Simbiose, 2015. p. 1-11.

GOMES, Leonardo Henrique. **Simulação termodinâmica de operações pirometalúrgicas de reciclagem de baterias chumbo-ácido**. 2019.

Grupo M.I. Grupo M.I (2018). 25 de setembro de 2018. Disponível em: <https://mimanutencao.com.br/site/2018/09/25/espacos-disponiveis-para-ponte-rolante/>.

Acesso em: 25 de outubro de 2023.

Irmãos Mottin. Irmãos Mottin (2023). Disponível em: <https://www.irmaosmottin.com.br/empresa/>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

IMAKE group. IMAKE group (2023). Disponível em: <https://imake.com.br/equipamento-filtro-prensa/>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

JOCHEM, Lidiane Fernanda et al. Efeito do agregado reciclado dos resíduos de construção e demolição na retenção dos metais pesados em processos de solidificação e estabilização. 2017.

LEÃO, Joab Flavio Araujo. **Estudo de modelagem de baterias de Chumbo-Ácido**. Orientador: Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa. 2009. 90. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e informática, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2000. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/17433/1/JOAB%20FL%20c3%81VIO%20ARA%20c3%9aJO%20LE%20c3%83O%20%20TCC%20ENG.%20EL%20c3%89TRICA%202009%20%281%29.pdf>. Acesso em: 05 de out. 2023.

MURAKAMI, Fabio Kazuhiro. **Destinação e utilização de resíduos industriais siderúrgicos em outras indústrias**. 2023. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014.

PAIXÃO, Josinadja de Fátima Ferreira da et al. Modelagem do processo de difusão de metais pesados presentes em resíduos após o tratamento de estabilização por solidificação (E/S). 2019.

PNRS. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 24 de outubro de 2023.

RODRIGUES, Sidnei Castilhos; PEIXOTO, José Antonio Assunção; XAVIER, Leydervan de Souza. FORMAÇÃO DE CADEIA VERDE DE SUPRIMENTO A PARTIR DA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS – UM EXEMPLO NO SETOR DE RECICLAGEM. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 44-57, maio 2013.

Revista Tae. Revista Tae (2016). Julho de 2016. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/147/design-compacto-com-eficacia-de-gigantes>.

Acesso em: 25 de outubro de 2023.

SINIR. O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. Disponível em: <https://sinir.gov.br/perfis/logistica-reversa/logistica-reversa/baterias-de-chumbo-acido/>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

SOUSA, JV de O.; RODRIGUES, STÊNIO LIMA. Logística reversa de baterias automotivas: estudo de caso em uma rede autocentros do Estado do Piauí. **Anais Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**, v. 16, 2014.

SANTOS, Mario Roberto dos; TEIXEIRA, Cláudia Echevengúá; KNIESS, Cláudia Terezinha. Avaliação de desempenho ambiental na valorização de resíduos sólidos de processos industriais. **Revista de Administração da Ufsm**, [S.L.], v. 7, p. 75-92, 3 abr. 2014. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1983465912982>.