

GEOCIÊNCIAS, SOCIEDADE E SUSTENTABILIDADE

VOLUME V



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Geociências, sociedade e sustentabilidade

5ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

5ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238G Geociências, sociedade e sustentabilidade

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2022

150 f.: il

DOI: 10.37423/2022.edcl534

ISBN: 978-65-5367-170-6

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. planeta 2. rochas 3. atmosfera 4. placas-tectônicas 5. oceanos I. Barbosa, Frederico Celestino II.
Título

CDU: 550

<https://doi.org/10.37423/2022.edcl534>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

Dr. João Luís Ribeiro Ulhôa

Dra. Eyde Cristianne Saraiva-Bonatto

MSc. Frederico Celestino Barbosa

MSc. Carlos Eduardo de Oliveira Gontijo

MSc. Plínio Ferreira Pires

Editora Conhecimento Livre

Piracanjuba-GO

2022

CAPÍTULO 1	6
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO USO DO PROCESSO DE ADSORÇÃO DE POLUENTES EM EFLUENTES INDUSTRIAIS	
Fabricio Ventura Barsi	
Marcos Paulo Alves de Oliveira	
Adriana dos Santos	
DOI 10.37423/220706281	
 CAPÍTULO 2	 53
PROTAGONISMO JUVENIL EM AÇÕES AMBIENTAIS NO PURAQUEQUARA	
Lidia Rochedo Ferraz	
Maria Anete Leite Rubim	
DOI 10.37423/220706304	
 CAPÍTULO 3	 64
ANÁLISE DE PONTOS ESTRATÉGICOS PARA RECEBIMENTO DE PNEUS INSERVÍVEIS POR SISTEMAS DE LOGÍSTICA REVERSA NO CEARÁ ATRAVÉS DE SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING	
Sarah Maia Pianowski	
Gabriel Ferdinando Moreira Pesente	
Magda Marinho Braga	
Viviane Gomes Monte	
Eduardo Antonio Maia Lins	
DOI 10.37423/220706323	
 CAPÍTULO 4	 74
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR MEIO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	
Renata Cereda	
Érica Pugliesi	
DOI 10.37423/220706327	
 CAPÍTULO 5	 87
A CIDADANIA SUSTENTÁVEL EMBASADA NA ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA	
Leonides Mello	
Vagna Torres	
DOI 10.37423/220706331	

CAPÍTULO 6	96
PROSPECÇÃO GEOFÍSICA EM OCORRÊNCIA DE ESTANHO ASSOCIADA AO GRANITO SÃO SEPÉ, RIO GRANDE DO SUL (RS): UM ESTUDO DE CASO	
Marly Aparecida da Silva	
Shaiely Fernandes dos Santos	
Karolliny Borssatto	
Antônio Elton da Silva Lima	
Lenon Melo Ilha	
DOI 10.37423/220706347	
 CAPÍTULO 7	 126
FORMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO MAIS ENCONTRADAS NAS ETE'S DO CEARÁ	
George Émerson Pereira Farias	
Yonara Matos Madeiro	
Cristiano Dantas Araújo	
Abraão Evangelista Sampaio	
Francisca Jacqueline Ribeiro Tavares	
DOI 10.37423/220806368	
 CAPÍTULO 8	 133
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE VIDRO RECICLADO NO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL: REVISÃO	
Maria Clara Batista	
Patrícia Fontinha de Alcantara	
Luiza Maia de Castro	
DOI 10.37423/220806371	

Capítulo 1



10.37423/220706281

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO USO DO PROCESSO DE ADSORÇÃO DE POLUENTES EM EFLUENTES INDUSTRIAIS

Fabricio Ventura Barsi

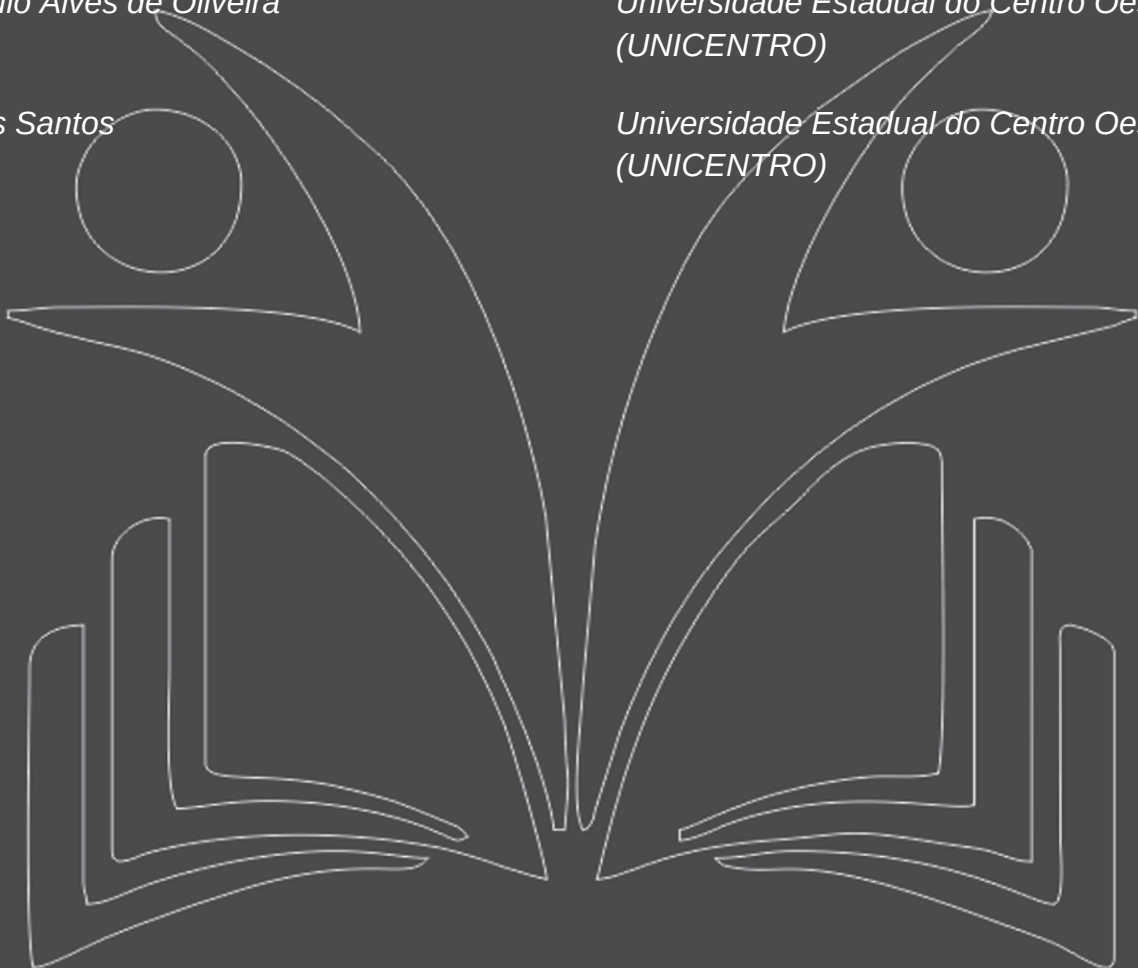
*Universidade Estadual do Centro Oeste
(UNICENTRO)*

Marcos Paulo Alves de Oliveira

*Universidade Estadual do Centro Oeste
(UNICENTRO)*

Adriana dos Santos

*Universidade Estadual do Centro Oeste
(UNICENTRO)*



Resumo: Com o crescimento populacional e da industrialização, a poluição da água é uma grande preocupação ambiental em todo o mundo. Esta poluição na maioria dos casos origina-se no setor industrial, que utiliza grandes quantidades de água em seus processos produtivos, e gerando consideráveis volumes de efluentes líquidos, com poluentes como metais pesados, compostos nitrogenados, compostos orgânicos, corantes, pigmentos, poluentes emergentes, entre outros. Entre os tratamentos possíveis para esses poluentes, se encontra o processo de adsorção, que é um método físico que se baseia nas interações intermoleculares entre o adsorbato e o material adsorvente. Dito isto, este trabalho teve como objetivo a revisão bibliográfica, de forma a explicar sobre o método da adsorção no tratamento de efluentes para remoção de diversos compostos poluentes. Foi realizada leitura exploratória, seletiva e analítica de livros, todos relacionados ao tema, diversos artigos científicos e monografias acessados em variadas bases de dados, nacionais e internacionais, tendo em vista o levantamento de informações necessárias para a elaboração do trabalho. O conteúdo abordado estende-se do histórico da adsorção a partir do final do século XVIII com as primeiras observações quantitativas através de experiências de captação de gases por carvão e argilas, até aos dias atuais com os diversos estudos de variados tipos de adsorventes em diferentes métodos de aplicações. Discorrendo sobre o desempenho dos adsorventes no tratamento da água, apresentando-se para tal, a isoterma no modelo de Langmuir e no modelo de Freundlich, assim como a cinética de adsorção que tem como objetivo avaliar o material adsorvente para o desenvolvimento de projetos de sistemas de adsorção. Apresenta-se também, os fatores físicos, químicos, e operacionais que podem influenciar no processo de adsorção, e alguns dos mais utilizados tipos de adsorventes e adsorbatos que podem estar presentes nos tratamentos de efluentes oriundos da indústria.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o crescimento populacional e urbanizações aceleradas e desordenadas acabaram impactando significativamente no aumento da demanda por água. Proporcionalmente ao crescimento populacional, o despejo de resíduos que contaminam fontes hídricas aumentou, gerando um problema crescente na qualidade da água (TUNDISI, 2008).

A qualidade da água é elemento central em nossas vidas, é tão importante quanto a quantidade, quando se trata de atender às necessidades básicas dos seres humanos e do meio ambiente. E é impactada diretamente devido as atividades humanas, as alterações das características físicas, químicas e biológicas da água, acontecem por meio de mudanças nos teores de nutrientes, de sedimentos, temperatura, pH, metais pesados, toxinas não metálicas, agrotóxicos, entre muitos outros. (ANA, 2016)

O controle da poluição da água é uma grande preocupação ambiental em todo o mundo. Estima-se que um terço da população mundial pode ser afetada pela falta de água potável em anos futuros. A poluição dos recursos hídricos é causada principalmente por produtos químicos sintéticos e naturais que são lançados muitas vezes sem o tratamento adequado (SCHWARZENBACH et al., 2010).

Para Somune e Ghatte (2004) a poluição hídrica com rejeitos químicos (materiais orgânicos, inorgânicos e biológicos) tornou-se uma problemática da sociedade contemporânea. Esta poluição pode originar-se nos processos naturais ou, na maioria dos casos, por processos industriais, uma vez que as indústrias se tornaram os principais consumidores privados de água no mundo.

Segundo Follmann (2017) a poluição dos corpos hídricos merece atenção particular, em decorrência especialmente das grandes quantidades de água que as indústrias demandam em seus processos produtivos, e conseqüentemente dos consideráveis volumes de efluentes líquidos gerados.

As indústrias são responsáveis por milhões de toneladas de resíduos sólidos, líquidos e gasosos que sobram em seus processos produtivos, sendo a grande maioria prejudicial ao meio ambiente. (SCHNEIDER, 2008)

Entre os principais poluentes encontrados nos efluentes industriais estão os metais pesados, arsênio, corantes, pigmentos, compostos nitrogenados, compostos orgânicos como o fenol, poluentes emergentes e fármacos, entre outros.

Diferentes tecnologias para tratamento de efluentes têm sido amplamente discutidas na literatura, os profissionais que se dedicam a pesquisas relacionadas ao tratamento de água estão sempre almejando

o aperfeiçoamento dos processos e operações existentes ou o desenvolvimento de novas tecnologias, visando reduzir os custos e aumentar a eficiência do tratamento (DI BERNADO, 2004).

Uma dessas tecnologias é a adsorção, que é um dos métodos mais populares para tratamento de águas residuais contaminadas com diferentes poluentes, ou até para tratamento de águas para o consumo humano. De acordo com a IUPAC (1997), a adsorção pode ser definida como o enriquecimento, de um ou mais componentes dissolvidos em meio a uma fase líquida, para uma fase condensada devido à operação das forças da superfície. A adsorção também pode ocorrer da interface gasosa para uma fase condensada.

A adsorção é um método físico que se baseia nas interações intermoleculares entre o analito e o material adsorvente. Entre os adsorventes mais utilizados e estudados estão o carvão ativado, as zeólitas e os materiais poliméricos (LIN e JUANG, 2009).

Outra tecnologia para remoção de poluentes em efluente líquido que apresenta resultados promissores é a filtração adsortiva utilizando diferentes adsorventes. Estudos recentes com zeólitas tem demonstrado a elevada eficiência desse meio filtrante na remoção de diferentes contaminantes ambientais presentes em águas e efluentes. (LI et al., 2012).

Segundo Barbosa (2009) a filtração adsortiva apresenta como vantagem em relação à tecnologia convencional uma produção de menor quantidade de lodo final e, além de ser mais econômica e eficiente.

Devido a importância do processo de adsorção para a remoção de poluentes em diversos tipos de indústria, esse tema de estudo ainda tem uma ampla gama de materiais adsorventes existentes e que ainda serão criados que precisam ser testados na adsorção de adsorbatos diferentes devido a sua promessa de eficiências de remoção similares e na diminuição dos custos do processo em relação aos utilizados atualmente.

METODOLOGIA

O presente trabalho abordou uma revisão bibliográfica sobre o uso de processos adsortivos no tratamento de efluentes industriais para remoção de diversos compostos poluentes. Trata-se de um projeto com caráter teórico visando estudar a evolução do uso da adsorção nas pesquisas e nos tratamentos dos efluentes das indústrias em geral.

A metodologia consistiu em 3 fases:

1ª Fase. Levantamento de Dados: busca de publicações nacionais e internacionais relacionadas ao tema nas plataformas Science Direct, Scielo, Capes Periódicos e Google Acadêmico, com palavras chaves específicas aos temas e delimitada em um horizonte temporal de 1998 a 2022, apesar que fontes mais antigas foram consultadas quando citadas. Foram utilizadas utilizadas como palavras-chave de busca em português e em inglês: “Adsorção” e “Efluentes”.

2ª Fase. Análise de Dados: analisou-se o material obtido na fase de levantamento de dados a respeito do tema, através do uso de leitura exploratória e seletiva, registrando as informações relevantes para o projeto.

3ª Fase. Redação do Relatório Final: foi realizada nesta etapa a organização e a compilação de todas as informações relevantes coletadas na etapa anterior para a redação do relatório final e a disseminação dos resultados.

A pesquisa das referências bibliográficas nas plataformas de buscas citadas demonstrou a importância e relevância do processo de adsorção no tratamento de efluentes industriais direta ou indiretamente. A Figura 1 apresenta a quantidade de artigos publicados durante os anos em periódicos e trabalhos acadêmicos, neste trabalho foram selecionados e citados apenas uma pequena parte deste universo pesquisado.

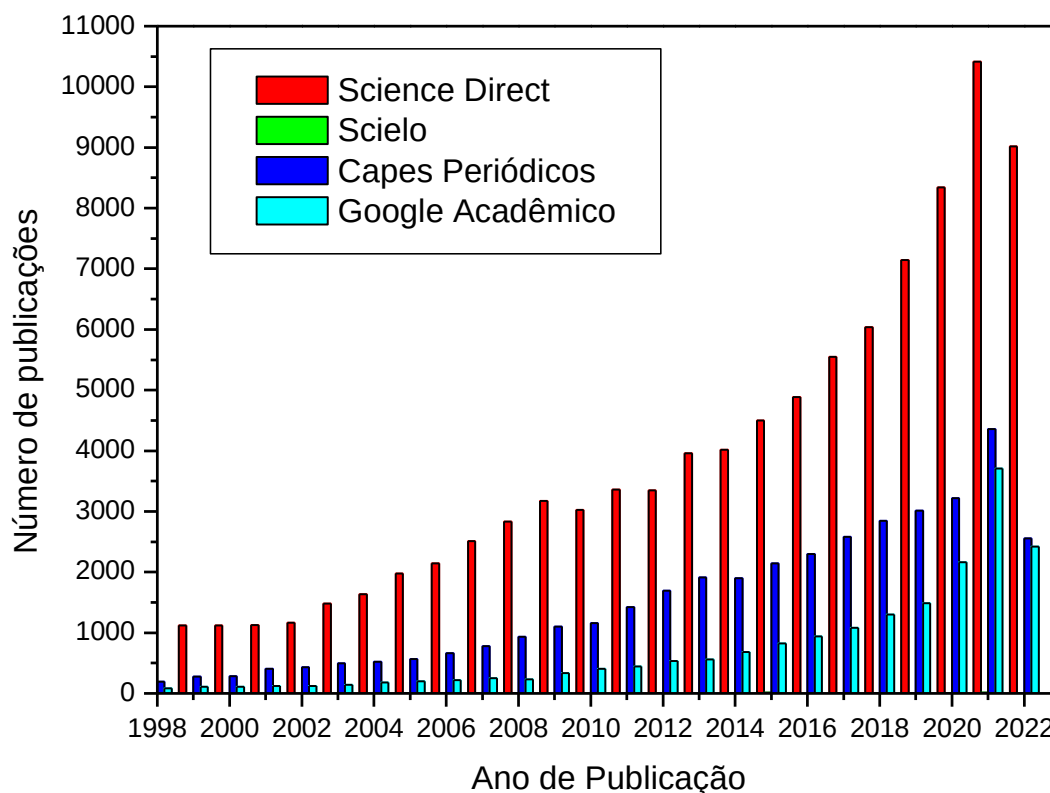


Figura 1: Quantidade de artigos e trabalhos acadêmicos publicados e constante nas plataformas Science Direct, Scielo, Capes Periódicos e Google Acadêmico desde 1998, utilizando como termos de busca: “adsorção”, “efluentes”, “adsorption” e “effluents”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características da adsorção de materiais porosos eram conhecidas desde os tempos antigos, no entanto, as medições foram puramente baseadas em observações e práticas ou em comparação de propriedades dos materiais avaliados. Os romanos por exemplo realizaram várias investigações desde a idade média, muitos relatórios sobre os experimentos científicos serviram como base para técnicas mais desenvolvidas (ROBENS e JAYAWEERA, 2014).

Embora certos fenômenos associados à adsorção fossem conhecidos nos tempos antigos, as primeiras observações quantitativas foram realizadas por Carl Wilhelm Scheele em 1773 e Fabrizio Fontana em 1777 que relataram algumas experiências de captação de gases por carvão e argilas. (DABROWSKI, 2001; FLANIGEN, 2001)

Em um trabalho publicado em 1786, Lowitz utilizou carvão para a descoloração de soluções de ácido tartárico visando remover impurezas orgânicas, essa observação forneceu um vislumbre da aplicação moderna da adsorção. (DABROWSKI, 2001)

O primeiro balanço de adsorção foi construído em 1886 por Warburg e Ihmor. No final do século XIX, Mitscherlich e Kayser utilizaram de experimentos científicos para investigarem as isotermas de adsorção de gás. Os termos “isotermas” e “curva isotérmica”, usados para descrever os resultados das medições de adsorção a temperatura constante, foram introduzidos na literatura a partir daí, assim como o termo “adsorção”. Kayser também desenvolveu alguns conceitos teóricos que se tornaram básicos para a teoria da adsorção molecular (DABROWSKI, 2001; ROBENS e JAYAWEERA, 2014).

Uma das principais características do processo adsorptivo, a adsorção seletiva, foi descoberta por Tswett em 1903. A técnica proposta por Tswett foi chamado de "cromatografia de adsorção líquida-sólido em coluna", uma nova técnica analítica, e origem de um novo campo da ciência de superfície. (COLLINS, 2009)

No Quadro 1 são apresentados os dados cronológicos do início da era experimental da ciência da adsorção.

Ano	Pesquisador	Significância
3750 a.C.	Egípcios e Sumérios	Uso de carvão vegetal para redução de minérios de cobre, zinco e estanho para fabricação de bronze.
1550 a.C.	Egípcios	Aplicação de carvão para fins medicinais para adsorver vapores odoríferos de feridas putrefativas e do intestino.
460 a.C.	Hipócrates e Plínio	Introdução do uso de carvão para tratar uma ampla gama de afecções, incluindo epilepsia, clorose e antraz
460 a.C.	Fenícios	Primeira aplicação registrada de filtros de carvão para purificação de água potável.
157 d.C.	Claudius Galen	Introduziu o uso de carbonos de origem vegetal e animal para tratar uma ampla gama de reclamações.
1773	Scheele	Relataram alguns experimentos de absorção de gases por carvão e argilas derivadas de várias fontes.
1777	Fontana	
1786-1788	Lowitz	Carvão usado para descoloração de soluções de ácido tartárico como resultado da absorção de impurezas orgânicas.
1793	Kehl	Discutiu a utilidade do carvão para a remoção de odores de úlcera gangrenosa e aplicação de carbonos de origem animal para remoção de cores do açúcar.
1794		O carvão vegetal era usado na indústria açucareira na Inglaterra como agente descolorante de xaropes de açúcar.
1814	de Saussure	Iniciou estudos sistemáticos de adsorção de vários gases por substâncias porosas como espuma do mar, cortiça, carvão e

		amianto. Ele descobriu o caráter exotérmico do processo de adsorção.
1881	Kayser	Introduziu os termos “adsorção”, “isotermia” ou “curva isotérmica” e desenvolveu também alguns conceitos teóricos que se tornaram básicos para a teoria da adsorção monomolecular.
1879-1883	Chapuis	Fez as primeiras medições calorimétricas de geração de calor durante a molhagem de vários carbonos por líquidos.
1901	von Ostreyko	Definir a base para o desenvolvimento comercial de carvões ativados através de processos que envolvem a incorporação de cloretos com materiais carbonáceos antes da carbonização e a oxidação suave de materiais carbonizados com dióxido de carbono ou vapor a temperaturas elevadas.
1903	Tswett	Descobriu o fenômeno da adsorção seletiva, durante separação de clorofila e outros pigmentos vegetais por meio de materiais de sílica. Ele introduziu o termo: “coluna cromatográfica de adsorção sólido-líquido”. Essa descoberta não foi apenas a início de uma nova técnica analítica, mas também a origem de um novo campo da ciência de superfície.
1904	Dewar	Encontrou adsorção seletiva de oxigênio de sua mistura com nitrogênio, durante a absorção de ar pelo carvão.
1909	McBain	Propôs o termo “absorção” para determinar um absorção de hidrogênio pelo carbono do que a adsorção. Ele também propôs o termo “sorção” tanto para adsorção quanto para absorção.
1911		Foi fundada a fábrica NORIT em Amsterdã, hoje uma das mais avançadas fabricantes internacionais de carvão ativo.
1911		Uma unidade de destilação de madeira foi construída em Hajnówka (Polônia Oriental), inicialmente fabricando carbonos ativos exclusivamente a partir de madeira. A Primeira Guerra Mundial introduziu o problema de proteger o sistema respiratório humano de agentes tóxicos de guerra.
1915	Zelinsky	Professor da Universidade de Moscou foi o primeiro a sugerir e aplicar o uso de carvões ativos como meio de adsorção de gás em mascarar.
1941	Martin e Synge	Introduzido na prática laboratorial a separação sólido-líquido por Cromatografia, tanto em coluna quanto em forma planar.
1956	Barrer e Breck	Inventou o método de síntese de zeólitas. Neste ano, a companhia norte-americana Linde iniciou a produção de zeólitas em escala comercial.

Quadro 1. Cronologia do início da era experimental da ciência da adsorção.

Fonte: Adaptado e traduzido de Dabrowski (2001)

Baseado nos fundamentos que foram estabelecidos por London, Born e Mayer, que calcularam as forças de interação entre as moléculas. Os trabalhos modernos sobre adsorção são baseados no trabalho de Langmuir e Freundlich (ROBENS e JAYAWEERA, 2014).

Para os sistemas de adsorção baseados em sólido-líquido, geralmente são envolvidos dois tipos de investigações experimentais, sendo eles o teste de adsorção isotérmica de equilíbrio e o estudo de cinética em batelada. Equações do modelo isotérmico de equilíbrio, como o modelo de Langmuir e o modelo de Freundlich, são comumente usadas para descrever dados da adsorção experimental, enquanto os modelos cinéticos mais amplamente utilizados são o modelo de pseudo-primeira ordem e o modelo de pseudo-segunda ordem. É importante determinar o modelo isotérmico e cinético de melhor ajuste para avaliar o material e desenvolver o melhor projeto dos sistemas de adsorção (BONILLA-PETRICIOLET et al., 2017; GERENTE et al., 2007).

As isotermas de adsorção são equações matemáticas que tem como objetivo descrever a adsorção de solutos por sólidos. Elas apresentam, em termos quantitativos, o quão determinado soluto é adsorvido pela superfície de um determinado adsorvente em função da concentração de equilíbrio do soluto. A técnica tem como base a adição de uma quantidade conhecida de soluto a um sistema contendo uma quantidade conhecida de adsorvente. Admite-se então que a diferença entre a quantidade adicionada do soluto e a remanescente após o processo encontra-se adsorvida na superfície adsorvente (BOHN et al., 1979; FOO; HAMEED, 2010).

Para o desenvolvimento de um sistema de adsorção, para a remoção de um determinado adsorbato, é importante descrever os dados de equilíbrio através de um modelo matemático. Os dados de equilíbrio são, em geral, apresentados na forma de isotermas de adsorção, ou seja, informações da quantidade do adsorbato adsorvido no equilíbrio em função da concentração do adsorbato no equilíbrio. A forma das isotermas também é uma ferramenta experimental para conhecer o tipo de interação entre o adsorbato e o adsorvente. (CASTILLA, 2004 e ROOSTEI, 2003).

Através das isotermas é possível determinar parâmetros relacionados ao equilíbrio do processo, como a constante de adsorção (K_{ads}) e a quantidade máxima de adsorbato que o material pode reter na sua superfície (Q_{max}) (ADAMSON e GAST, 1997), e dessa forma avaliar se o adsorbato é removido a um grau desejável pelo material adsorvente (CHEREMISINOFF e CHEREMISINOFF, 1993).

As formas mais comuns de isotermas são apresentadas na Figura 1.

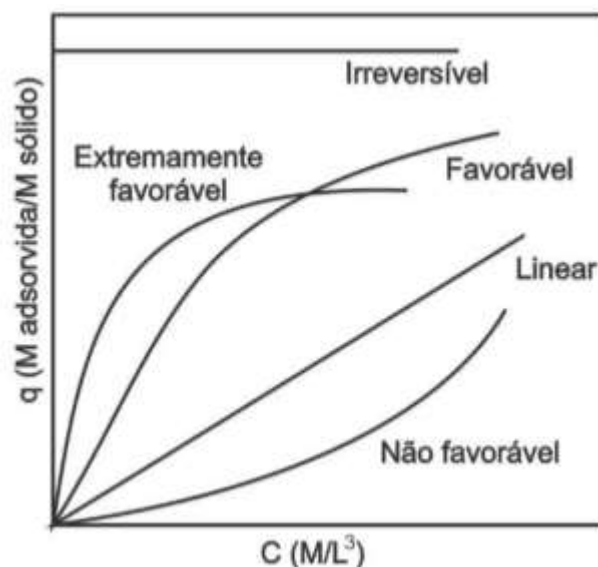


Figura 1. Formas de isotermas de adsorção.

Fonte: McCabe et al., (1993).

O equilíbrio representa a capacidade ou a afinidade de um adsorvente por um adsorbato, em um conjunto específico de condições de um sistema. É muito importante estabelecer uma correlação apropriada para as curvas de equilíbrio, tendo em vista otimizar o sistema de adsorção. (BONILLA-PETRICIOLET et al., 2017)

Os principais modelos para as isotermas de adsorção são as de Langmuir e Freundlich (CHAVES, 2009).

O modelo de Langmuir calcula a quantidade de moléculas adsorvidas em uma superfície sólida e é frequentemente usado para descrever a adsorção de solutos. Este modelo assume uma adsorção em monocamada em uma superfície homogênea completa com uma interação desprezível entre moléculas adsorvidas adjacentes, ou seja, é considerada a formação de uma única camada de soluto sobre a superfície do adsorvente. (DOTTO et al., 2011)

A equação de equilíbrio é representada a seguir na equação 1:

$$q_e = \frac{K_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (1)$$

Onde q_e (mg.g^{-1}) é a concentração de equilíbrio de adsorbato em fase sólida, C_e (mg.L^{-1}) é a concentração de equilíbrio de adsorbato em fase aquosa, K_L (L.g^{-1}) e a_L (L.mg^{-1}) são constantes, e estão relacionadas a energia de adsorção e a adsortividade do adsorbato, e esta última é denominada de constante de equilíbrio de Langmuir (WEBER, 1972)

Na equação 2 é expressa a dependência linear de C_e/q_e com C_e .

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \frac{a_L C_e}{K_L} \quad (2)$$

Uma característica essencial da isoterma de Langmuir pode ser expressa pelo fator de separação (R_L). O perfil de uma isoterma é uma forma de prever se a adsorção é favorável ou desfavorável como mostra a equação 3:

$$R_L = \frac{1}{(1 + a_L C_0)} \quad (3)$$

Valores de R_L maiores que 1 indicam que o processo é desfavorável, R_L igual a 1 indica uma isoterma linear, R_L entre o valor 0 e 1 indica que o processo é favorável e R_L igual 0 indica que o processo é irreversível (FOO e HAMEED, 2010; NASCIMENTO et al., 2014).

O modelo de Freundlich utiliza uma equação empírica e é utilizada para descrever componentes orgânicos em uma solução, tem como base de que os sítios de adsorção não sejam iguais, ou seja, possuem superfícies heterogêneas, onde acontece a adsorção em diversas camadas com interações junto as moléculas do adsorbato, a qual é descrita na equação 4 e na equação 5:

$$q_s = K_F C_s^{1/n} \quad (4)$$

$$\ln q_s = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_s \quad (5)$$

Onde K_F ($L.g^{-1}$) é a constante de Freundlich, e n é uma constante, ambos são de natureza empírica e podem ser obtidas a partir da equação linear de Freundlich. A constante K_F é um valor que representa a capacidade de adsorção do adsorvente aproximada. A constante $1/n$ da equação linear tem valores entre 0 e 1 e está diretamente relacionada a heterogeneidade da superfície de modo que valores próximos a 0 representam uma maior heterogeneidade da superfície do adsorvente (FOO e HAMEED, 2010; NASCIMENTO et al., 2014).

Experimentos cinéticos são realizados para avaliar o potencial de um material adsorvente para aplicações comerciais. Um adsorvente ideal mostra propriedades como alta capacidade de adsorção. Outro objetivo para a realização de estudos cinéticos é otimizar as condições de operação para processos em larga escala. Vários fatores, como concentração inicial, pH inicial da solução, dosagem de adsorvente, temperatura, tamanho das partículas e outros parâmetros do processo afetarão a capacidade de adsorção (BONILLA-PETRICIOLET et al. 2017).

Vários modelos cinéticos de adsorção foram estabelecidos, tais como reação química, controle da difusão e transferência de massa, mas os modelos de pseudo-primeira ordem e de pseudo-segunda ordem, são os dois modelos mais amplamente utilizados.

Uma análise simples da cinética de adsorção pode ser realizada pela equação de Lagergren, mais conhecida como modelo de pseudoprimeira ordem, baseada na capacidade dos adsorventes e descrita na equação 6

$$\ln(q_s - q_t) = \ln q_s - K_1 t \quad (6)$$

Onde K_1 (min^{-1}) é a constante da taxa de adsorção, q_s (mg.g^{-1}) e q_t (mg.g^{-1}) são as quantidades adsorvidas por grama de adsorvente no equilíbrio e no tempo t . O modelo de adsorção de pseudoprimeira ordem assume que a taxa da variação da adsorção em relação ao tempo é diretamente proporcional à diferença entre a quantidade de soluto adsorvida no equilíbrio (NASCIMENTO et al., 2014).

O modelo de pseudossegunda ordem foi desenvolvido por McKay e pode ser expresso de acordo com a equação 7

$$q_t = \frac{K_2 q_s^2 t}{1 + K_2 q_s t} \quad (7)$$

Onde K_2 ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) representa a constante da taxa de adsorção de pseudossegunda ordem, q_s (mg.g^{-1}) e q_t (mg.g^{-1}) são as quantidades adsorvidas por grama de adsorvente no equilíbrio e no tempo t . (BONILLA-PETRICIOLET et al. 2017; NASCIMENTO et al., 2014).

O uso da adsorção como tecnologia para o tratamento de água ou efluentes tem sido reconhecido como um processo cada vez mais viável. A adsorção é amplamente utilizada, desde sistema de tratamento de águas subterrâneas para o consumo, até em sistemas de tratamento de águas residuais, provenientes de diversos tipos de indústrias, com o objetivo de diminuir os impactos dos poluentes lançados em ambientes naturais. Esse método de tratamento oferece várias vantagens para a purificação da água, pois possui um baixo uso energético, uma operação simples e uma boa relação entre custo e benefício, a depender das características do adsorvente e do fluido. (BHATNAGAR e SILLANPÄÄ, 2010; BONILLA-PETRICIOLET et al., 2017)

A história da ciência moderna de adsorção, assim como as novas tecnologias de síntese de adsorventes, é movida atualmente pelas necessidades industriais de diversos setores. Isso ocorre

porque muitos dos processos industriais atualmente utilizados possuem alguma necessidade, direta ou indireta, desse fenômeno conhecido como adsorção. (DABROWSKI, 2001; ROBENS e JAYAWEERA, 2014).

A adsorção como fenômeno físico-químico, ocasiona a adesão de moléculas de um fluido, em uma superfície sólida. Trata-se de um fenômeno de superfície, já que ocorre nas interfaces do sistema fluido-sólido, o que permite a distinção das fases. O processo ocorre entre duas fases, formada por uma fase sólida, chamada de adsorvente, que retém alguns componentes da fase líquida, chamados de adsorbatos (SILVA, 2005; WEBER, 1972). O adsorvente é a substância que adsorve outra ou outras, ou seja, é a superfície sólida na qual o adsorbato se acumula, e o adsorbato (também chamado de adsorvato ou adsorvido) é a substância que é adsorvida, ou seja, é a substância retida pelo adsorvente (GIANETTO, 1990; VACAVLIK, 2010). No processo de adsorção as espécies presentes na fase líquida são atraídas para a zona interfacial devido à existência de interações na superfície do adsorvente (SHAW, 1994).

Resumidamente, o mecanismo de adsorção ocorre em 3 etapas: difusão do adsorbato na superfície do adsorvente; migração do adsorbato para os poros da partícula adsorvente (difusão interna); e adesão do adsorbato à superfície do adsorvente, com liberação de calor (processo exotérmico) (BLANCO, 2001). Na Figura 2 tem-se uma representação esquemática do processo de adsorção.

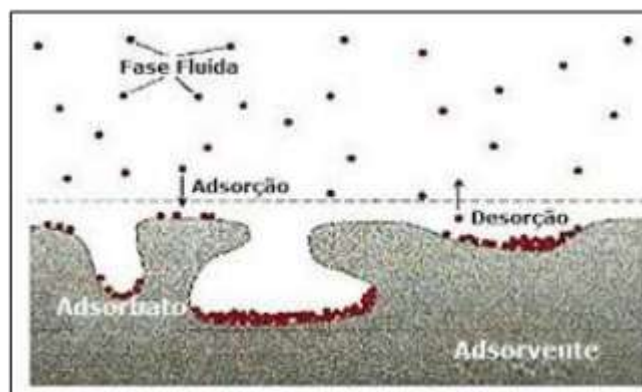


Figura 2. Representação esquemática do processo de adsorção

Fonte: Nóbrega (2011)

A adsorção diferencia-se em dois tipos: adsorção física (fisissorção) e adsorção química (quimissorção), de acordo com a força das ligações entre o adsorbato e a superfície do adsorvente (ORTIZ, 2000).

A adsorção é denominada física, se entre as moléculas de adsorbato e os átomos que compõem a superfície do adsorvente agirem apenas forças de Van der Waals. Neste tipo de adsorção, o calor de

adsorção é relativamente baixo em relação à quimissorção, e insuficiente para facilitar a quebra das ligações químicas do adsorbato, contribuindo assim para a preservação da identidade das espécies fisissorvidas. Além disso, o processo de adsorção é rápido e reversível, caracterizando-se pela formação de várias camadas de moléculas adsorvidas sobre a superfície do sólido (BLANCO, 2001; SCHNEIDER, 2008).

A adsorção é denominada química, quando as moléculas adsorvidas reagem quimicamente com a superfície (que envolvam ligações iônicas ou covalentes polares). A ocorrência da ligação química depende das características das espécies envolvidas no processo, uma vez que não acontece igualmente para todas as espécies em solução. Neste tipo de adsorção, ligações são rompidas e formadas, assim o calor de adsorção é da mesma ordem dos calores de reação química e portanto, bem maior em relação à fisissorção, cujo calor de adsorção compara-se ao calor de vaporização do adsorbato. Além disso, o processo de adsorção é instantâneo e irreversível, caracterizando-se pela formação de apenas uma camada de moléculas adsorvidas sobre a superfície do sólido (BLANCO, 2001; SCHNEIDER, 2008).

Os fenômenos de adsorção são resultados de uma combinação de forças envolvidas, sendo elas físicas ou químicas. Por isso é um processo que depende de vários fatores, como a natureza do adsorvente, a natureza do adsorbato e as condições operacionais (CASTELLAN, 2011). Estas características, que impactam na performance da adsorção estão descritas a seguir, no Quadro 2:

Adsorvente	Adsorbato	Operacional
Área superficial	Polaridade	Temperatura
Tamanho do poro	Tamanho da molécula	pH
Densidade	Solubilidade	Natureza do solvente
Hidrofobicidade	Acidez ou basicidade	Velocidade de agitação
Grupos funcionais presentes na superfície		Tempo de contato

Quadro 2: Principais fatores que influenciam no processo de adsorção

Fonte: Adaptado de Cooney (1999).

A área superficial específica pode ser definida como aquela porção da área total disponível para adsorção. A influência da área superficial do adsorvente pode ser estudada variando o tamanho das partículas mantendo a mesma massa de adsorvente (ADAMSON e GAST, 1997; MCKAY et al., 1980)

Como a adsorção é um fenômeno de superfície, a intensidade da adsorção é diretamente proporcional à área superficial do adsorvente. Para partículas maiores, a resistência à difusão é menor e grande parte da superfície interna da partícula não é disponibilizada para adsorção. (SEKAR et al., 2004)

Além da área superficial específica, as taxas de adsorção dependem também da porosidade, volume específico de poros, distribuição do tamanho de poros, dos grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente e da natureza do material precursor (DOMINGUES, 2005).

O tamanho dos poros determina o quão acessível será a superfície interna de adsorção para as moléculas do adsorbato. O tamanho dos poros e sua distribuição é uma propriedade importante para caracterizar o poder de adsorção do adsorvente.

A IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) caracteriza os poros em diferentes grupos de acordo com o seu tamanho, conforme apresentado no Quadro 3.

Nomenclatura	Tamanho médio dos poros
Microporos	Entre 0 e 2 nm (0 ~ 20 Å)
Mesoporos	Entre 2 e 50 nm (20 ~ 500 Å)
Macroporos	Maiores que 50 nm (500 Å)

Quadro 3: Nomenclatura dos poros por tamanho de acordo com a IUPAC

Fonte: Adaptado de Everett (1972).

Com relação as características e propriedades do adsorbato, geralmente quanto menos uma substância é solúvel na solução, melhor será a eficiência do processo de adsorção. Uma característica de forte influência no processo da adsorção é a polaridade do adsorbato, uma vez que uma espécie terá mais afinidade para com o solvente ou com o adsorvente, dependendo diretamente da polaridade (DOMINGUES, 2005; NASCIMENTO et al., 2014).

Outro fator importante é o tamanho das moléculas do adsorbato que ocuparão o espaço específico do adsorvente, quanto maior a molécula, mais espaço ocupará, ou caso possuam um tamanho muito desproporcional ao tamanho dos poros do material adsorvente, essas moléculas não serão adsorvidas

pois não alcançarão as camadas mais internas do adsorvente (DOMINGUES, 2005; NASCIMENTO et al., 2014).

No processo de adsorção, o efeito da temperatura sobre o sistema afeta, principalmente, a constante de velocidade de adsorção. Devido ao aumento da temperatura, há um aumento na velocidade de difusão das moléculas do soluto, ocasionado devido ao aumento da energia cinética e na mobilidade das moléculas (ADAMSON, 1980; SILVA, 2005).

O aumento da temperatura favorece assim um aumento na difusão das moléculas da camada periférica externa e nos poros internos das partículas do adsorvente. Dessa forma, uma mudança na temperatura provoca uma alteração na capacidade de adsorção de um adsorvente (HUNTER, 1993; SILVA, 2005).

A temperatura ocasiona dois principais efeitos no processo de adsorção. Além do aumento da temperatura aumentar a taxa de difusão das moléculas resultando em uma diminuição na viscosidade da solução. A variação da temperatura altera também o estado de equilíbrio da adsorção para um determinado adsorbato (DOGAN et al.;2006; NASCIMENTO et al., 2014).

A temperatura na qual um processo de adsorção é conduzido afetará tanto a taxa de adsorção quanto a extensão em que ocorre a adsorção. Os parâmetros da taxa de adsorção geralmente aumentam com o aumento da temperatura e diminuem com a diminuição da temperatura. A extensão da adsorção aumenta com a diminuição da temperatura, e diminui com o aumento da temperatura devido à natureza da reação de adsorção (LIU et al., 1985; NASCIMENTO et al., 2014).

O pH afeta a adsorção na medida em que determina o grau de distribuição das espécies químicas. A intensidade desse efeito pode ser maior ou menor conforme a natureza do adsorvente, uma vez que as cargas da superfície do adsorvente dependem da sua composição e das características da superfície (NASCIMENTO et al., 2014).

O adsorvente quando em solução aquosa pode adsorver íons OH^- ou H^+ , assim, os grupamentos superficiais de cada sítio ativo do adsorvente podem dissociar ou associar moléculas da solução, dependendo das propriedades do adsorvente e do pH da solução. (ČEROVIĆ et al., 2007).

A adsorção, por carvão ativado por exemplo, de poluentes orgânicos típicos da água é geralmente aumentada com a diminuição do pH. Em muitos casos, isso se deve ao resultado da neutralização da carga negativa na superfície do carvão ativado devido ao aumento da concentração de íons de

hidrogênio, reduzindo assim o impedimento à difusão e disponibilizando a superfície dos sítios ativos (LIU et al., 1985; NASCIMENTO et al., 2014).

A velocidade de agitação do sistema em que se encontra o processo de adsorção pode influenciar na eficiência de adsorção, isso devido a possível redução da resistência na camada periférica ao redor da partícula do adsorvente (MCKAY et al., 1980).

Quando agitadas, as partículas do adsorvente e as moléculas do adsorbato adquirem uma maior movimentação em meio a solução, resultando em um maior contato do adsorvente com a solução, aumentando a eficiência da adsorção (ADAMSON, 1980).

A concentração inicial do adsorbato é importante pois, determinada massa de adsorvente adsorve apenas uma quantidade fixa do adsorbato, ou seja, quanto maior a concentração inicial do adsorbato, maior é a quantidade de moléculas competindo para se adsorverem na superfície do adsorvente, de modo que se atinja o equilíbrio da solução, já que nos sistemas de adsorção, a remoção do adsorbato é controlada principalmente pela taxa de transporte das moléculas dos sítios externos para o interior das partículas do adsorvente (KANNAN e SUNDARAM, 2001).

A taxa de adsorção então, após aumentar com o tempo, atinge um valor constante, onde nenhuma adsorção adicional acontece. (ÖZACAR e SENGIL, 2003).

Para que se atinja a solução em equilíbrio é necessário um tempo mínimo de contato entre o adsorvente e a solução, assim será possível que as moléculas do adsorbato ocupem todos os sítios ativos possíveis da superfície do adsorvente ou que ocorra a colmatção dos poros do material adsorvente.

ADSORVENTES

Segundo Gianetto (1990) os materiais adsorventes possuem uma dependência de fatores como a temperatura, pressão, área superficial do adsorvente, tempo de contato e pH da solução, que determinam grau de adsorção.

Para o uso comercial, há algumas características que são imprescindíveis à um adsorvente, tais como seletividade, resistência mecânica, área superficial, eficiência e custo. É oportuno ressaltar que, em termos de capacidade adsortiva, uma elevada área superficial específica é a propriedade mais relevante, visto que a adsorção é um fenômeno necessariamente de superfície, e consequentemente de uma estrutura altamente porosa (SCHNEIDER, 2008).

Os materiais adsorventes mais utilizados são: as zeólitas, as bentonitas, o carvão ativado, a sílica gel, entre outros. Embora os usos desses adsorventes disponíveis comercialmente ainda sejam muito difundidos, esses materiais tem um custo operacional considerável. Recentemente, a biossorção de contaminantes por adsorventes de origem natural vem ganhando uma confiabilidade importante devido à sua boa capacidade de adsorção e o baixo custo desses materiais (BOONTHAM, 2016).

CARVÃO ATIVADO

Um dos mais populares adsorventes dentre os que são utilizados no processo de adsorção é o carvão ativado. São materiais carbonáceos porosos que apresentam uma forma microcristalina, e que passam por algum processamento para aumentar a porosidade interna. Outra característica dos carvões ativados muito importante é a sua grande variedade de materiais que podem ser selecionados como material de partida para sua produção. O termo ativado refere-se ao material que teve algum processamento para a alteração em uma de suas características físicas, como a porosidade, por exemplo. (LIU et al., 2011)

Em relação à natureza química, a superfície do carvão ativado é constituída por elementos como oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, os quais se apresentam como grupos funcionais e podem acomodar-se nos vértices e nas bordas da base gráfica (JUANG, WU e TSENG, 2002)

A estrutura dos carvões ativados consiste em várias camadas aromáticas distorcidas, onde, entre ela existem espaços de dimensões moleculares variáveis, constituindo os microporos, os quais são necessários para o fenômeno da adsorção. Essa estrutura desorganizada (Figura 3) depende do material precursor e do seu pré-tratamento (CABRITA, 2009).



Figura 3: Estrutura do carvão ativado

Fonte: Cabrita (2009).

A alta propriedade adsorvente do carvão ativado se dá principalmente pela sua superfície interna de grande extensão, onde as moléculas do adsorbato podem fluir para o interior da partícula e se estabelecerem principalmente por forças de dispersão (RODRIGUEZ e MOLINA, 2004).

No geral carvões ativados são microporosos, mas possuem também mesoporos e macroporos, que tem uma grande importância em prover a acessibilidade das moléculas de adsorbato para atingirem o interior das partículas (CAMPOS, 1996).

Os carvões ativados são reconhecidos por possuírem uma grande área de superfície específica entre 300 e 4000 m²/g. As classes comerciais de carvão ativado são estipuladas de acordo com o uso, para a fase gasosa ou líquida, dependendo de sua aplicação. A maior parte do volume de poros, dos carvões utilizados como adsorventes de fases líquidas, é proveniente de poros com diâmetro próximo ou superior a 30 Å (YANG, 2003).

Apesar da multiplicidade de aplicações, os carvões ativados apresentam desvantagens como a não-seletividade pelo adsorbato, a ineficácia para certos tipos de adsorbatos e a regeneração não linear, ocasionando a perda da capacidade de adsorção com o passar do tempo, tornando a regeneração um processo caro. (SILVA, 2015).

GEL DE SÍLICA

O gel de sílica, ou a sílica gel, também tem bastante uso como adsorvente, é um típico exemplo de polímero inorgânico que apresenta em sua composição grupos siloxanos, em seu interior e tem vasta população de grupos silanóis, cobrindo toda a sua superfície. O termo sílica refere-se aos compostos de dióxido de silício, SiO₂, nas suas várias formas incluindo sílicas cristalinas, sílicas vítreas e sílicas amorfas. Os depósitos de sílica são encontrados universalmente e são provenientes de várias eras geológicas (MOURA, 2010; AIROLDI e FARIAS, 2000).

Na sua forma vítrea é muito utilizada na indústria de vidro e como componentes ópticos. Sílica é um material básico na indústria de vidro, cerâmicas e refratários, e é uma importante matéria-prima na produção de silicatos solúveis, silício e seus derivados (MOURA et al., 2010; AIROLDI e FARIAS, 2000).

O silício forma estruturas orientadas tetraedricamente, os minerais cuja composição química contém unicamente silício como cátion, SiO₂, denominam-se genericamente por sílica (BARBA, 1997).

A interação dos grupos silanóis com moléculas de água tem influência na reatividade da superfície da sílica gel, tornando inacessível a aproximação dos grupos modificadores. Dessa forma, obtém-se a

maior quantidade possível de grupos silanóis livres na superfície, que são os responsáveis pela adsorção, através de tratamento ácido que visa limpar a superfície, seguido de tratamento térmico para retirar possíveis impurezas e moléculas de água, esse processo é realizado como ativação da sílica gel. (BARBA, 1997; YANG, 2003)

ALUMINA ATIVADA

Alumina ativada que também pode ser utilizada como adsorvente é produzida a partir do hidróxido de alumínio por hidroxilação, resultando em um material feito quase que totalmente de óxido de alumínio (Al_2O_3). A alumina sem tratamento não apresenta as características necessárias para um bom adsorvente. Porém, quando ativada termicamente apresenta um aumento significativo no número de poros e consequentemente na área superficial específica, o que favorece seu desempenho no processo de adsorção (OLIVEIRA, 2005; YANG, 2003).

A produção comercial de alumina ativada é realizada exclusivamente por desidratação térmica ou ativação de tri-hidrato de alumínio, $\text{Al}(\text{OH})_3$. Com o tratamento térmico, em que a alumina se torna ativada, é possível a manipulação visando formar diferentes formas da alumina. Entre as aluminas, a γ -alumina é a forma mais comumente usada para adsorção por possuir porosidade elevada. (OLIVEIRA, 2005; YANG, 2003). A alumina ativada é utilizada como adsorvente para fluidos gasosos e líquidos, principalmente na remoção de HCl, compostos orgânicos polares, SO_2 e flúor.

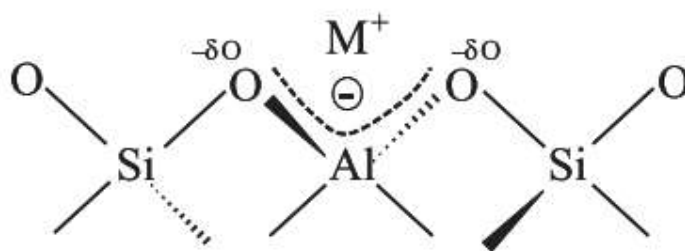
ZEÓLITAS

Outro tipo de adsorvente utilizado para remoção de poluentes são os compostos inorgânicos conhecidos como zeólitas. Estes derivados são definidos como aluminossilicatos que possuem uma estrutura porosa e aberta, o dá uma boa capacidade de acomodar cátions (AGUIAR e NOVAES, 2002).

As zeólitas foram descritas pela primeira vez como um grupo mineral pelo mineralogista sueco Baron Axel Cronstedt em 1756. São encontradas naturalmente em grandes depósitos, muitos deles na China, por causa de seus muitos usos, também são fabricadas sinteticamente por indústrias química. (JORDÃO, 2001).

As zeólitas são formados por uma rede tridimensional de tetraedros AlO_4 e SiO_4 ligados entre si por átomos de oxigênio. Em sua estrutura alguns átomos de silício quadrivalente são substituídos por alumínio trivalente, originando uma deficiência de carga positiva. Essa deficiência de carga é

equilibrada pela presença de outros elementos como o sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}) e potássio (K^+) em outras partes da estrutura (MUMPTON, 1985; LAMIM, 2001).



Onde M é um cátion de valência

Figura 4: Esquema planar da rede estrutural da zeólita

Fonte: Martins; Cardoso (2016).

A importante característica estrutural das zeólitas (Figuras 5, 6 e 7), que pode ser explorada para diversos usos, é a sua estrutura microporosa, formando um sistema de canais e cavidades por toda sua estrutura, essas cavidades são de dimensões moleculares e possuem a capacidade da adsorção (SMART e MOORE, 2005).

Outras características são a sua capacidade de troca iônica, sua acidez interna e alta estabilidade térmica, essas propriedades são responsáveis por favorecer diversas aplicações, como purificação de gases e líquidos industriais (LAMIM, 2001).

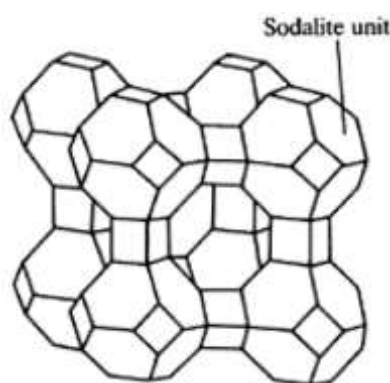


Figura 5: Estrutura cristalina da zeólita Sodalita (SOD)

Fonte: Smart e Moore (2005).

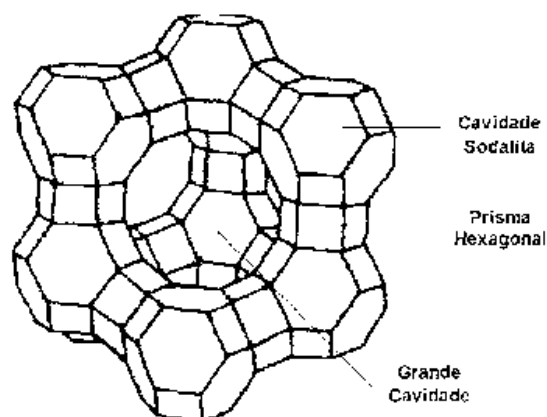


Figura 6: Estrutura cristalina da zeólita Faujasita (FAU)

Fonte: Sobrinho (1993).

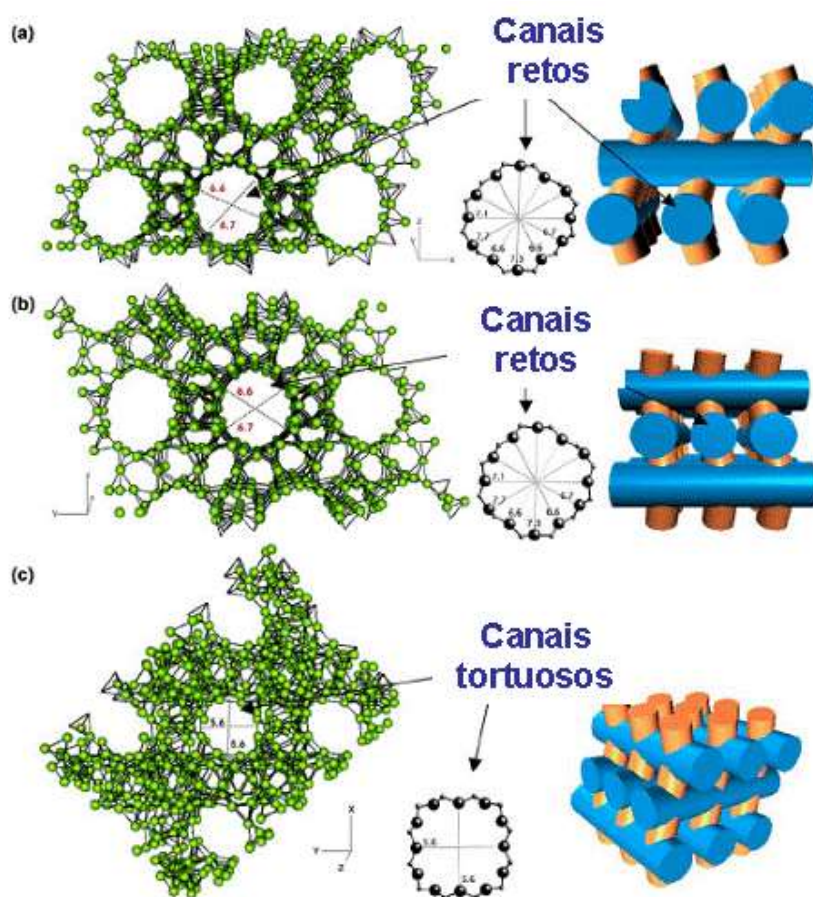


Figura 7: Sistemas de canais encontrados na zeólita β (BEA)

Fonte: Treacy e Newsam (1988).

Como as zeólitas possuem estruturas porosas muito abertas, possuem também grandes áreas superficiais internas e são capazes de adsorver grandes quantidades de outras substâncias. Os tamanhos das cavidades que são determinados durante a sua síntese, determinam o tamanho das

moléculas que podem ser adsorvidas, podendo assim possuir uma capacidade de peneiramento altamente específica para um determinado adsorbato podendo ser explorada para purificação ou separação de compostos. (MUMPTON, 1985; SMART e MOORE, 2005).

Atualmente os minerais de zeólitas são classificados segundo um código contendo três letras maiúsculas para a estrutura e o tipo, definido pela Structure Commission of the International Zeolite Association, existindo mais de 200 tipos de zeólitas identificadas.

ARGILAS

Argilas são essencialmente silicatos de alumínio hidratados, geralmente cristalinos denominados argilominerais, podendo conter ferro e magnésio. Podem conter ainda outros minerais, matéria orgânica e sais solúveis (DOS SANTOS et al., 2002).

As argilas são abundantes e são de fácil manuseio, possuem propriedades adsorventes e podem ser empregadas como peneiras moleculares (SOUZA et al., 2000).

Os argilominerais do grupo das esmectitas, denominadas de bentonita, são constituídos por duas folhas de silicatos tetraédricos, com uma folha central octaédrica, unidas entre si por oxigênios. As camadas estão ligadas de modo que um fluido possa penetrar entre elas promovendo a adsorção (SILVA, 2013). A estrutura da Bentonita é apresentada na Figura 8.

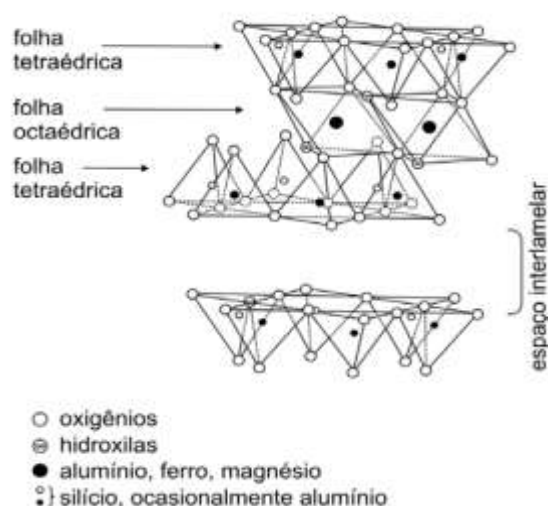


Figura 8: Estrutura da bentonita

Fonte: Adaptado de Silva (2013).

ADSORVENTES ALTERNATIVOS

Recentemente adsorventes alternativos vêm sendo muito estudados como forma de diminuir os custos do processo de adsorção, há diversos outros adsorventes em meio a estudos como alternativas para os adsorventes comerciais, como casca de amendoim, cinzas volantes, resíduos agrícolas, resíduos industriais, escória de ferro entre outros dos mais variados tipos de materiais (FENG et al., 2004; HEGAZI, 2013; SALAM et al., 2011).

ADSORBATOS

Existe uma grande variedade de poluentes que podem contaminar a água, esses poluentes possuem uma ampla gama de propriedades físico-químicas, eles incluem substâncias poluentes provenientes de atividades antropogênicas e de poluentes naturais. (BONILLA-PETRICIOLET et al., 2017)

Os poluentes mais relevantes encontrados na água são os íons de metais pesados, os não metais, pesticidas, biocidas, produtos provenientes de fármacos e outros vários compostos orgânicos e inorgânicos. Esses poluentes podem ser tóxicos para os seres humanos e para a biota mesmo em pequenas concentrações, muitas vezes são bioacumuladores e persistentes no ambiente. (SCHWARZENBACH et al., 2010).

Diversas indústrias produzem, em meio aos seus efluentes, metais pesados sob forma dissolvida, exigindo tecnologias de tratamento eficientes para estes. Como exemplos, pode-se citar a indústria de mineração, metalúrgica, de pigmentos, de baterias, e do couro entre várias outras (HOMEM, 2001).

METAIS PESADOS

Os metais representam uma importante fonte de contaminação dos corpos d'água, muitas vezes impossibilitando o uso dessa água para consumo humano, devido a alta demanda bioquímica de oxigênio que exercem, os metais pesados possuem uma alta densidade em relação a outros materiais, não são degradáveis e se acumulam no ambiente, e por serem não degradáveis, consequentemente sofrem o efeito denominado de amplificação biológica, e dependendo da concentração quando atingem o homem provocam efeitos adversos à saúde; isso inclui o câncer, a mutação, além de ataques ao sistema imunológico (AGUIAR e NOVAES, 2002; JIMENEZ et al., 2004; MOUNI et al. 2009).

Esse tipo de material representa uma porção significativa dos poluentes contidos nos efluentes gerados por uma ampla variedade de indústrias, como mineradoras, indústrias de galvanoplastia, de tintas, de produtos eletrônicos, entre outras. Já em baixas concentrações, os metais pesados podem

ser tóxicos para os seres humanos, causando danos nos sistemas nervoso central gastrointestinal, cardiovascular e renal (SPIRO; STIGLIANI, 2008).

Essa toxicidade elevada dos metais pesados se deve à sua capacidade de interagir com o oxigênio, nitrogênio ou enxofre contidos nas células, formando compostos que inibem a produção de enzimas ou a modificação de estruturas de proteínas, levando a disfunções celulares no organismo (SPIRO e STIGLIANI, 2008).

Tendo o conhecimento de que os métodos clássicos de tratamento de efluentes são ineficientes na remoção de íons metálicos, e levando em consideração a atual legislação ambiental (cada vez mais rigorosa) métodos alternativos de tratamento foram bastante investigados. Destacam-se entre esses tratamentos as membranas filtrantes e a adsorção em zeólitas, essa última vem merecendo atenção devido ao seu baixo custo e simplicidade operacional (PERGHER et al., 2005).

Os metais pesados podem ser removidos de fluidos líquidos utilizando-se das técnicas de adsorção. Os adsorventes mais utilizados na remoção desse material dos efluentes industriais são os carvões ativados, as zeólitas e o gel de sílica (BOONTHAM, 2016).

Muitos autores estudaram a adsorção de diversos metais utilizando diferentes adsorventes, entre esses metais estão o cobre, zinco, cobalto, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio, arsênio, entre outros. E entre os adsorventes mais comuns estão as zeólitas modificadas ou sintetizadas com materiais alternativos, biocarvão, resinas, compósitos e carvão ativado. (AMUDA et al. 2007; KHARRAZI et al., 2020; QUEIROZ et al. 2020, LEE e SHIN, 2021; SULTANA et al., 2022; MEDYKOWSKA et al., 2022; DU et al., 2022; XU et al., 2022).

No Quadro 4 são apresentados alguns aspectos operacionais e resultados dos trabalhos de alguns autores citados.

Autor	Adsorvente	Tempo de Contato	Temperatura e pH	Adsorbato	Processo de Adsorção	Eficiência de Remoção
AMUDA <i>et al.</i> 2007	Biocarvão (casca de coco tratada)	180 min	Temperatura ambiente pH = 6	Zn	Batelada	97 %
KHARRAZI <i>et al.</i> 2020	carvão ativado (resíduos lignocelulósicos)	60 min	25°C pH = 2	Cr (VI)	Batelada	232,56 mg.g ⁻¹
			25°C pH = 5	Pb (II)		113,63 mg.g ⁻¹
QUEIROZ <i>et al.</i> 2020	Carvão ativado (sementes de açaí)	60 min	25°C pH autógeno	Pb (II)	Batelada	86%
				Fe (II)		69%
				Mn (II)		8%
MEDYKOWSKA <i>et al.</i> , 2022	Zeólita NaX	120 min	25°C pH = 5	Pb (II)	Batelada	575,37 mg/g ⁻¹
		10 min		Zn (II)		655,75 mg/g ⁻¹
XU <i>et al.</i> , 2022	Biocarvão modificado com óxido de magnésio	200 min	30°C pH = 7	Cd (II)	Batelada	649,90 mg/g ⁻¹

Quadro 4: Resultados e variáveis de processo obtidos por alguns autores estudados**Fonte:** o Autor

ARSÊNIO

Outro adsorbato comum na indústria de mineração o arsênio, é um metaloide e possui quatro estados de oxidação: As(V), As(III), As(0) e As(-III), sendo os dois primeiros os mais predominantes no ambiente. Pode estar presente em forma inorgânica ou orgânica, sendo esta última apenas relevante em contextos de poluição industrial (UNGUREANU *et al.*, 2015).

A toxicidade do arsênio e seus efeitos sobre o organismo humano são conhecidas desde a antiguidade. Exposições crônicas podem causar doenças, como o câncer de pele, problemas respiratórios, desordem nervosas e outros efeitos patológicos. Já exposições a altas concentrações podem causar o envenenamento agudo, podendo causar a morte do indivíduo (BORBA *et al.*, 2004; PEREIRA *et al.*, 2002).

O consumo da água contaminada por arsênio é uma preocupação grande em diversos países não desenvolvidos. A contaminação de águas por arsênio é de difícil detecção, pois este elemento em água não apresenta cor, odor ou sabor (NAUJOKAS *et al.* 2013).

A adsorção é amplamente utilizada para a retirada desse composto dos efluentes industriais. Os adsorventes mais utilizados em larga escala para a remoção do arsênio no tratamento de águas e efluentes incluem carvão ativado e a alumina ativada. No entanto, o processo de adsorção de arsênio com carvão ativado ainda não se encontra otimizado, não demonstrando uma boa capacidade de remoção do arsênio. No que diz respeito à alumina ativada, a sua aplicação acarreta desvantagens como os elevados custos de operação. (MACHADO e MIOTTO-BIGATÃO, 2007; DA COSTA VIEIRA, 2016).

Apesar dos custos atribuídos ao uso da alumina ativada, as pesquisas mais recentes abordam o uso de bioadsorventes (PICÓN et al., 2022; ZAMBRANO et al., 2022; BENIS et al., 2022).

CORANTES E PIGMENTOS

Os corantes e pigmentos são originários de diversas indústrias, principalmente as indústrias têxteis, de curtumes, indústrias de papel e de alimentos que são as que mais se destacam no uso de corantes, em geral os corantes sintéticos são mais utilizados que os corantes naturais por causa de suas vantagens durante os processos (CORDEIRO e BRITO, 2019).

Efluentes provenientes da indústria de corante ou de processos envolvendo tingimento têxtil, não tratados e lançados em águas naturais, são uma preocupação ecológica emergente. Devido à sua própria natureza, os corantes são altamente detectáveis a olho nu, sendo visíveis em alguns casos mesmo em concentrações tão baixas quanto 1 ppm (1 mg.L^{-1}) (GUARATINI e ZANONI, 2000; PERUZO, 2003).

Os corantes têxteis são compostos químicos, os quais possuem a finalidade de atribuir cor ao substrato a ser aplicado. O processo de fixação dos corantes às fibras têxteis ocorre em meio aquoso, o qual envolve uma gama diversificada de interações como: forças de Van der Waals, ligações iônicas, covalentes e de hidrogênio (KIMURA et al., 1999).

Os corantes reativos estão entre os mais utilizados pelo setor têxtil, por apresentarem uma satisfatória eficiência no processo de tingimento, solidez quanto a cor, estabilidade química e alta solubilidade em água, características as quais conferem uma maior estabilidade da cor no tecido (KUNZ et al., 2002).

Muitas vezes os corantes têxteis estão associados a poluição de corpos hídricos, por apresentarem uma estrutura molecular complexa e em sua maioria origem sintética, as quais os tornam altamente estáveis quimicamente, tendo como consequência uma difícil biodegradabilidade, provocando além da poluição visual, alterações nos ciclos biológicos dos organismos fotossintéticos, fomentando

inúmeros prejuízos aos corpos receptores e aos seres que usufruem desses meios. Estudos demonstram que o coproduto de algumas classes de corantes podem apresentar propriedades carcinogênicas e/ou mutagênicas, demonstrando assim a necessidade da adoção de tecnologias eficazes quanto à sua degradação (FORGACS et al., 2004; KUNZ et al., 2002).

Nas indústrias têxteis, os tratamentos mais utilizados para o efluente líquido gerado, visam a remoção da cor e da matéria orgânica. Os tratamentos mais comumente utilizados são os físico-químicos para a remoção da cor e o tratamento biológico para a remoção da matéria orgânica (MORAIS, 2015; MINAS AMBIENTE, 2002). As principais técnicas disponíveis na literatura para descoloração das águas de rejeito envolvem principalmente processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica e fotoquímica, biodegradação, entre outros (GUARATINI e ZANONI, 2000; PERUZO, 2003).

Dentre a variada gama de tratamentos disponíveis para efluentes têxteis, o que recebe maior destaque em termos de eficiência e baixo custo de investimento é o processo de adsorção (MAGDALENA, FUNGARO e CUNICO, 2011 e CHOY et al., 1999).

A adsorção possui alta eficiência na remoção da cor presente nos efluentes das indústrias têxteis, possuindo alguns fatores intervenientes, os quais tem influência direta na efetividade do processo de adsorção, dentre estes destacam-se: a estrutura molecular ou natureza do adsorvente, a solubilidade do soluto, o pH do meio, a temperatura do processo e o diâmetro molecular do adsorbato (FOUST et al., 1982).

Os trabalhos estudados apresentam uma ampla quantidade de corantes orgânicos e inorgânicos oriundos principalmente da indústria têxtil que são tratados com o processo de adsorção utilizando como adsorvente zeólitas, carvão ativado, biocarvão, bioadsorventes, etc. (DOTTO, 2011; MAGDALENA et al., 2011; DAS e SHARMA, 2020; HUSSAIN et al., 2020; VEDULA e YADAV, 2021; DEB et al., 2022; LIU et al., 2022; RAMUTSHATSHA-MAKHWEDZHA et al., 2022)

No Quadro 5 são apresentados alguns aspectos operacionais e resultados dos trabalhos de alguns autores citados.

Autor	Adsorvente	Tempo de Contato	Temperatura e pH	Adsorbato	Processo de Adsorção	Eficiência de Remoção
DOTTO, 2011	carvão ativado	48 h	25°C pH = 3	Corante Azul Brilhante	Batelada	50%
				Amarelo Crepúsculo		90%
				Amarelo Tartrazina		8%
MAGDALENA <i>et al.</i> , 2011	zeólitas (cinza de carvão)	360 min	25°C pH = 5	Corante Reativo Remazol Vermelho	Batelada	75 a 91%
HUSSAIN <i>et al.</i> , 2020	quartzito	60 min	T = 10-60°C pH = 4	Vermelho congo	Batelada	95,72%
		90 min	pH = 6	Verde Malaquita		95,46%
DAS e SHARMA, 2020	nanocompósito óxido bimetálico, suportado em óxido de grafeno com teores diferentes Gd ₂ O ₃ /Bi ₂ O ₃ @GO	45 min	35°C pH = 6	Laranja de Metila	Batelada	75 a 95%
VEDULA e YADAV, 2021	membranas quitosana-lignina	30 min	35°C pH = 7	Azul de Metileno	Leito Fixo	95%
DEB <i>et al.</i> , 2022	nanomaterial de grafeno poroso	120 min	30°C pH = 7	Azul de Metileno	Batelada	99,69%
LIU <i>et al.</i> , 2022	carvão ativado	30 min	100°C pH = 7	Laranja de Metila	Leito Fluidizado	99,9%
RAMUTSHATSHA-MAKHWEDZHA <i>et al.</i> , 2022	carvão ativado (cascas de laranja e limão)	20 min	25°C pH = 2	Laranja de metila	Batelada	96%
		40 min	pH = 6	Azul de metileno		98%

Quadro 5: Resultados e variáveis de processo obtidos por alguns autores estudados

Fonte: o Autor

FENOL

Entre os poluentes orgânicos mais comuns destacam-se os derivados fenólicos (EPA,2000). Este tipo de poluente aparece nas águas naturais através das descargas de efluentes de diferentes segmentos industriais: de papel e celulose (subprodutos do processo de branqueamento do papel) e de corantes, incluindo indústrias farmacêuticas, alimentícias, petroquímicas, metalúrgicas e de fabricação de pesticidas (SANTANA et al., 2009). Além disso, os compostos fenólicos são geralmente empregados nos processos de produção comercial de uma variedade de resinas, as quais são usadas nas indústrias automobilísticas, de resinas epóxi e adesivos, dentre outras diversas aplicações (NAMANE e HELLAL, 2006).

Fenóis e seus derivados têm sido definidos como poluentes perigosos devido a sua alta toxicidade e persistência no ambiente (ROSATTO et al., 2001).

O grupo dos fenóis possui fórmula molecular C_6H_5OH , e também são conhecidos como ácido carbólico, ácido fênico ou hidroxibenzeno. Os fenóis são compostos orgânicos que caracterizam-se por apresentar em sua estrutura o grupo funcional hidroxila ligado diretamente a um anel benzênico ou aromático. À temperatura ambiente, são sólidos ou líquidos oleosos, pouco solúveis em água, de cheiro forte e característico (BARBOSA, 2000; LEMBO, 2004).

Por se tratar de composto lipofílico, a absorção se dá, principalmente, por difusão passiva de forma não dissociada (LINS et al., 2010 e KISHINO e KOBAYASHI, 1995).

A exposição humana a estes compostos pode ocasionar diversos problemas a saúde, pois o fenol é adsorvido rapidamente pela pele e causa irritação nas mucosas e ainda morte se ingerido ou inalado. Estudos clínicos dermatológicos demonstram que o fenol é extremamente agressivo à pele e que em exposições ocupacionais, o fenol pode levar a irritação e sensibilização cutânea, com o aparecimento de lesões eritematosas e necrose tecidual (PEIXE e NASCIMENTO, 2008).

Os fenóis são tóxicos ao homem e aos organismos aquáticos, e a exposição humana a estes compostos pode acarretar diversos danos à saúde, comprometendo os sistemas respiratório e digestivo, uma vez que são rapidamente absorvidos pela pele e causam irritação nas mucosas.

Em decorrência da sua comprovada toxicidade aos seres vivos e possível acumulação no ambiente, o índice de fenóis constitui-se em padrão de emissão de efluentes diretamente no corpo receptor. Por tais características estes compostos estão presentes na lista de substâncias perigosas e poluentes prioritários da EC (Comissão Européia) e da EPA (Agência de Proteção Ambiental Norte Americana).

A Resolução nº 430 de 2011, do CONAMA que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, estabelece o limite máximo de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de fenóis nos corpos d'água receptores. Além disso, como disposto nesta Resolução, em seu Art. 3º, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências de lançamento (BRASIL, 2011).

Assim, a partir da criação de legislações voltadas prioritariamente para a área ambiental, e diante da crescente pressão e conscientização para os problemas ambientais, tem sido possível ao longo dos anos, avanços significativos no processo de tratamento de efluentes industriais. No caso específico de efluentes contendo compostos fenólicos, o tratamento pode ser realizado por diferentes metodologias, tais como: degradação microbiana, precipitação química, filtração, eletrodeposição, adsorção, filtração por membranas, oxidação e biodegradação (SCHNEIDER, 2008).

A adsorção de fenóis por carvão ativo é o método mais empregado, pois apresentam uma elevada capacidade para adsorver componentes orgânicos de baixo peso molecular, como é o caso dos fenóis. Além disso, o carvão possui uma alta heterogeneidade superficial e grande porosidade. (PODKOSCIELNY et al., 2006)

A porosidade do carvão é em decorrência dos diferentes tamanhos e formas dos poros, assim como a profundidade dos mesmos. A heterogeneidade química está associada a diferentes grupos funcionais na superfície do carvão. (LÁSZLÓ et al., 2005)

A capacidade de adsorção de compostos aromáticos em carvão ativado depende de diversos fatores, como a natureza física do adsorvente e sua estrutura dos poros, a natureza do adsorbato, peso molecular, tamanho e condição da solução (pH, forças iônicas), dentre outros fatores. (HAGHSERESHT et al. 2002)

Em um artigo recente de revisão, Dehmani et al. (2022) a partir de estudos prévios do grupo de pesquisa a adsorção de fenol utilizando como adsorventes óxidos de metais de transição sintetizados (NiO , ZnO , Fe_2O_3) e compararam com outros adsorventes como aluminas, zeólitas de baixa razão de alumínio, outros óxidos, bentonita modificada, outras argilas modificadas e bio-adsorventes. Os autores afirmam que diferentes adsorventes não convencionais podem ser mais econômicos e eficientes para remoção de compostos fenólicos da água, e uma alternativa ao uso do carvão ativado comercial.

A busca por novos adsorventes para adsorção de fenol tem sido intensa, diversos artigos e trabalhos acadêmicos apontam para o uso de zeólitas, biocarvão ativado, óxido de grafeno, nano adsorventes, argilas naturais e até mesmo carvão ativado preparados a partir de tipos resíduos diferentes (BLANCO, 2001; SCHNEIDER, 2008; ZHANG et al., 2020; GREISH et al., 2020; CHAARI et al., 2021; DEHMANI et al., 2021; IHEANACHO et al., 2021; LAWAL et al., 2021; ZHANG et al., 2021; CABEZAS et al., 2022; JAIN et al., 2022).

Alguns artigos pesquisados também buscam a combinação do processo de adsorção com outros processos para otimizar a retirada de fenol de águas residuárias. (FOLMANN, 2017, BENDER et al., 2019; AL-GHOUTI et al., 2022)

De forma geral, os trabalhos usavam processos em batelada ou leito fixo, variavam o tempo de contato do adsorbato com o adsorvente entre 90 e 24 h, a temperatura de adsorção entre 25 e 60°C, pH na faixa entre 6,0-8,0 e eficiências de adsorção de fenol acima de 72,19%, com a grande maioria dos trabalhos uma eficiência de remoção de fenol superiores a 84%.

No Quadro 6 são apresentados alguns aspectos operacionais e resultados dos trabalhos de alguns autores citados.

Autor	Adsorvente	Tempo de Contato	Temperatura e pH	Adsorbato	Processo de Adsorção	Eficiência de Remoção
ZHANG <i>et al.</i> , 2020	biocarvão ativado	--	25°C pH = 8	Fenol	Batelada	--
CHAARI <i>et al.</i> , 2021	Argila natural	90 min	25°C pH = 8	Fenol	Batelada	77,61 a 84,21 %
DEHMANI <i>et al.</i> , 2021	Argila natural	180 min	T = 30 - 60°C pH constante	Fenol	Batelada	90 %
IHEANACHO <i>et al.</i> , 2021	Carvão ativado (espiga de milho)	24 h	25°C pH autógeno	fenol	Leito Fixo	--
LAWAL <i>et al.</i> , 2021	biocarvão	300 min	25°C pH = 6	fenol	Batelada	72,19 %
CABEZAS <i>et al.</i> , 2022	resinas	180 min	30°C pH autógeno	fenol	Batelada	91 %
AL-GHOUT <i>et al.</i> , 2022	Óxido de grafeno	--	35°C pH autógeno	fenol	Batelada	90,82 – 95,95 %

Quadro 6: Resultados e variáveis de processo obtidos por alguns autores estudados**Fonte:** o Autor

POLUENTES FÁRMACOS

Os contaminantes emergentes tratam-se de centenas de compostos que têm sido detectados no solo na água e no ar, sendo eles tanto de ocorrência natural, como de origem antrópica, provindos dos efluentes domésticos, industriais, hospitalares e das atividades agrícola e pecuária. Estes compostos podem apresentar diversos riscos aos ecossistemas, mas mesmo assim, eles não estão incluídos nos programas de monitoramento de rotina, ou seja, não são legislados (MONTAGNER *et al.*, 2017; YANG, 2003).

Apenas mais recentemente é que estudos sobre esses poluentes se tornaram mais comum no país, motivados pelo número crescente da geração desses produtos e consequente descartes ou eliminações no meio ambiente, principalmente nos cursos d'água (MONTAGNER *et al.*, 2017).

Diversas substâncias têm sido consideradas contaminantes emergentes, tais como fármacos, compostos usados em produtos de higiene pessoal, hormônios, drogas ilícitas, adoçantes artificiais,

pesticidas, subprodutos provenientes de processos de desinfecção de águas, dioxinas, nanomateriais, microplásticos entre outros diversos compostos (RICHARDSON et al., 2016; YANG, 2003).

Deve-se ter em mente que diversas substâncias que participam intensamente de nosso cotidiano são consideradas poluentes emergentes. Entre elas destacam-se diversos fármacos, como antibióticos, analgésicos, antiinflamatórios entre outros (YANG, 2003).

No que se refere aos produtos farmacêuticos, são poluentes relatados em níveis vestigiais (geralmente em ng.L^{-1} e $\mu\text{g.L}^{-1}$) em águas superficiais, águas residuais, águas subterrâneas e até água potável (OMS, 2011).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (2011) os produtos farmacêuticos geralmente são melhor caracterizados quimicamente do que outros poluentes ambientais, e são mais comumente encontrados como antibióticos, analgésicos, anti-inflamatórios e hormônios em geral. Eles podem ser absorvidos pelos tecidos de animais e seres humanos, obstruindo os processos metabólicos e inibindo os receptores hormonais.

Apesar de não serem descartados diretamente pela indústria, esses produtos farmacêuticos podem chegar às estações de tratamento de esgoto convencionais, os quais não possuem técnicas adequadas para o tratamento desses produtos, utilizando de técnicas que não são eficazes para remover ou degradar essas espécies pois não foram projetadas especificamente para o manuseio desses poluentes (BACCAR et al., 2012; BAGHERI et al., 2014; YANG, 2003).

Por esse motivo avançados processos de tratamento, incluindo a ozonização, irradiação ultravioleta (UV), cloração, nanofiltração e a osmose reversa, tem sido aplicado para remover fármacos da água. No entanto, estes processos são de elevados custos e de difícil operação para uma eliminação completa dos compostos. Dessa forma, uma opção mais viável para a remoção de fármacos da água, que tem sido estudado nos últimos anos é o processo de adsorção (THUROW, 2012; SILVA, 2015).

Além do carvão ativado, que é o adsorvente usualmente utilizado no tratamento das águas residuárias e de abastecimento público, outros adsorventes podem ser aplicados com o objetivo de remover os compostos farmacológicos e poluentes emergentes, tais como, argilas, sílicas gel, resíduos de produção agroindustrial, entre outros (BACCAR et al., 2012; SILVA, 2015; PAREDES et al., 2016; SARKER, et al., 2018; VIDOVIĆ et al., 2019; POLONIO et al., 2020; SOUZA, et al., 2021).

Autor	Adsorvente	Tempo de Contato	Temperatura e pH	Adsorbato	Processo de Adsorção	Eficiência de Remoção
BACCAR <i>et al.</i> , 2012	carvão ativado (resíduo agrícola)	26 h	25°C pH = 4,1	ibuprofeno	Batelada	70,07 %
				cetoprofeno		88,40 %
				naproxeno		90,45 %
				diclofenaco		--
SILVA, 2015	Argila - Montmorilonit a Dodecil Pirrolidona (Mo-DDP)	150 min	25°C pH = 6	ampicilina	Batelada	65,0 %
				amoxicilina		20,0 %
				cefalexina		50,0 %
				ciprofloxacina		96,5 %
SARKER, <i>et al.</i> , 2018	Compósito (óxido de grafeno/Metal)	12 h	T = 25°C pH = 7	naproxeno e cetoprofen	Batelada	--
VIDOVIX <i>et al.</i> , 2019	Carvão ativado (casca de coco babaçu)	720 min	45°C pH autógeno	Bisfenol A	Batelada	49,61 mg.g ⁻¹
POLONIO <i>et al.</i> , 2020	Carvão ativado	5 h	25°C pH autógeno	acetaminofeno	Batelada	100 %
				cafeína		1,9 %
				ibuprofeno		5,6 %
SOUZA, <i>et al.</i> , 2021	Carvão ativado (casca de soja)	180 min	35°C pH autógeno	diclofenaco de potássio	Batelada	96,88 mg.g ⁻¹

Entre os trabalhos analisados encontraram-se artigos de revisão de literatura que abrangem diversos tipos de adsorventes para o tratamento de muitos poluentes industriais, como metais, corantes, arsênico, poluentes farmacêuticos, fenol, entre outros (SANTOS e AZEVEDO, 2019; FARIAS *et al.*, 2022; FORGACS *et al.*, 2004; MAIA *et al.*, 2021; CHEN *et al.*, 2022; RAJENDRAN *et al.*, 2022; LIU e ZHANG, 2022; SULTANA *et al.*, 2021). Esses trabalhos tentaram aglutinar essas informações em bloco apesar da grande variedade de metodologias de preparação dos adsorventes e diferenças nas variáveis do processo de adsorção (adsorvente, tempo de contato, temperatura, pH, concentração de adsorbato, tipo de reator), variáveis que afetam a eficiência da retirada desses poluentes o que dificulta as conclusões desses estudos, que são voltados mais para a tendência do estudo do processo de adsorção, sempre tentando buscar um adsorvente de custo menos elevado e efetivo para cada poluente, buscando a substituição posterior dos utilizados nos processos industriais.

CONCLUSÕES

A utilização da adsorção para os processos de tratamentos de efluentes vem a cada dia ganhando mais importância devido as suas características operacionais e a crescente preocupação com diversos poluentes, principalmente nos poluentes contidos em efluentes industriais. Essa importância pôde ser verificada no crescimento da quantidade de publicações científicas dos últimos anos utilizando termos com “adsorção” e “efluentes” nas principais plataformas de pesquisas acadêmicas (Figura 1).

A adsorção tem se mostrado um ótimo tratamento auxiliar para a remoção de substancias em níveis vestigiais que persistem em efluentes mesmo após os processos de tratamentos convencionais. Mostra-se importante também na retirada de poluentes de águas para consumo, evitando assim diversos problemas na saúde pública.

Uma importante característica da adsorção é a sua flexibilidade quanto a metodologia do processo de tratamento. Há diversos trabalhos acadêmicos por exemplo, sendo realizado com o objetivo de testar os mais variados materiais, a fim de serem utilizados como adsorventes, reduzindo os custos operacionais ou ainda reutilizando materiais sem mais valor, que seriam descartados, ou trariam algum impacto econômico e ambiental em seu descarte.

Assim como qualquer outro tipo de metodologia para o tratamento de efluentes, há diversos problemas a serem enfrentados pelo método da adsorção, o mais relevante deles é a colmatação dos microporos existentes nos adsorventes, que faz com que haja perda de eficiência no processo de tratamento com o passar do tempo, não permitindo a utilização de todo o potencial do adsorvente. A colmatação pode ser amenizada por variados métodos de desorção e lavagem do adsorvente que vem sendo estudados a fim de otimizar esses processos.

Deve-se ter em mente que em muitos casos, a adsorção é utilizada como um método de tratamento auxiliar, geralmente não sendo utilizado como um tratamento sozinho, e sendo utilizado como um tratamento terciário a fim de melhorar a qualidade da água.

Esse trabalho de revisão bibliográfica salienta que a tendência da evolução do estudo dos processos de adsorção, estão se voltando para a busca de um adsorvente de custo menos elevado e efetivo para cada poluente, buscando a substituição posterior dos utilizados nos processos industriais, para isso o estudo da produção de novos adsorventes a partir de rejeitos tem-se intensificado.

3. REFERÊNCIAS:

ADAMSON, A.W. e GAST, A.P. *Physical Chemistry of Surfaces*, 1997, 784p.

AGUIAR, M.R.M.P.; NOVAES, A.C. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. *Química Nova*, 25, 2002.

AIROLDI, C; FARIAS, R. F. de. O uso de sílica gel organofuncionalizada como agente sequestrante para metais. *Química Nova*, v. 23, n. 4, p. 496-503, 2000.

AL-GHOUTI, M.A.; SAYMA, J.; MUNIRA, N.; MOHAMED, D.; DA'NA, D.A.; QIBLAWEY, H.; ALKHOUSAAM, A. Effective removal of phenol from wastewater using a hybrid process of graphene oxide adsorption and UV-irradiation. *Environmental Technology & Innovation*, v. 27, 2022.

AMUDA, O.; GIWA, A.; BELLO, I. Removal of heavy metal from industrial wastewater using modified activated coconut shell carbon. *Biochem. Eng. J.*, v. 36, pp. 174-181, 2007.

ANA, Governo Federal. Agência Nacional de Águas. Cuidando das águas, soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos, v. 2, p. 3, 2016.

APHA -American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington: American Public Health Association, 2012.

BACCAR, R.; SARRÀ, M.; BOUZID, J.; FEKI, M.; BLÁNQUEZ, P. Removal of pharmaceutical compounds by activated carbon prepared from agricultural by-product. *Chemical engineering journal*, v. 211, p. 310-317, 2012.

BAGHERI, L.; MADADLOU, A.; YARMAND, M.; MOUSAVI, M. E. Spray-dried alginate microparticles carrying caffeine-loaded and potentially bioactive nanoparticles. *Food Research International*, v. 62, p. 1113-1119, 2014.

BARBA, A.; BELTRÁN, V.; FELIU, C.; *Matérias-primas para la Fabrication de Suportes de Baldosas Ceramicas*. Castellón: Instituto de Tecnologia Cerámica – AICE, Cap III e IV, p. 291, 1997.

BARBOSA, A. L. *Dicionário de Química*. Goiânia: AB-Editora, 2000.

BARBOSA, N.M.S.. Filtração granular adsorptiva e peroxidação catalítica para obtenção de água potável. 114f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

BARSI, F.V., MARQUEVISKI, M.R.T., dos SANTOS, A., VANDERLINDE, K.R. Estudo da adsorção de fenol em carvão ativado e zeólita USY. Trabalho apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2018.

BARSI, F.V., dos SANTOS, A., OLIVEIRA, M.P.A. Estudo da adsorção de fenol em zeólita BEA. Trabalho apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC 2019.

BENDER, A.F., SOUZA, J.B., VIDAL, C.M.S., Tecnologias avançadas de tratamento visando à remoção de cor e fenol de efluente de indústria de celulose e papel. *Ciência Florestal*. 2019, 29.

- BENIS, K.Z.; SOKHANSANJ, A.; NORBERTO, J.; McPHEDRAN, K.N.; SOLTAN, J. A binary oxide-biochar composite for adsorption of arsenic from aqueous solutions: Combined microwave pyrolysis and electrochemical modification. *Chemical Engineering Journal*, v. 446, Parte 2, 2022.
- BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—a review. *Chemical engineering journal*, v. 157, n. 2-3, p. 277-296, 2010.
- BLANCO, S. F. M. M. Remoção de fenol em solução aquosa com carvão mineral. 2001. 66 f. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001
- BOHN, H.L.; MCNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. *Soil chemistry*. New York: John Wiley, p329, 1979.
- BONILLA-PETRICIOLET, A.; MENDOZA-CASTILLO, D. I.; REYNEL-ÁVILA, H. E. Adsorption processes for water treatment and purification. Cham (Switzerland): Springer, 2017.
- BOONTHAM, W. Removal of lead from solution by using low cost adsorbents from apiaceae family. 2016. Tese de Doutorado. Thammasat University.
- BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; CAVALCANTI, J. A. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). *Rem: Revista Escola de Minas*, v. 57, n. 1, p. 45-51, 2004.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011.
- BRECK, D. *Zeolite Molecular Sieves, Structure, Chemistry and Use*, 1974, 552p.
- CABEZAS, M.G.; ARÉVALO, C.M.S.; ROCA, J.A.M.; VELA, M.C.V.; BLANCO, S.A. Recovery of phenolic compounds from olive oil washing wastewater by adsorption/desorption process. *Separation and Purification Technology*, v. 298, 2022.
- CABRITA, I. R. Carvões ativados para a remoção de compostos farmacêuticos em meio aquoso. Dissertação de Mestrado em Química tecnológica, FC – UL, 2009.
- CAMPOS, P. R. F. Ativação de carvão em reator de leito fluidizado. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. 1996.
- CASTELLAN, G. W. *Fundamentos de físico-química*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Editora Ltda., 2011.
- CASTILLA, M.C. Eliminacion de Contaminantes Orgánicos de las águas mediante adsorción em materiales de carbón, Granda – Espanha Departamento de Quimica Inorgánica, Facultad de Ciencias, 2004.
- ČEROVIĆ, L. S.; MILONJIĆ, S. K.; TODOROVIĆ, M. B.; TRTANJ, M. I.; POGOZHEV, Y. S.; BLAGOVESCHENSKI, Y.; LEVASHOV, E. A. Point of zero charge of different carbides. *Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 297, n. 1-3, p. 1-6, 2007.
- CHAARI, I.; TOUIL, A.; MEDHIOUB, M. Adsorption-desorption of phenolic compounds from olive mills wastewater using Tunisian natural clay. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, v. 40, p. 287-292, 2021.

- CHAVES, J.A.P. Adsorção de Corantes Têxteis sobre Quitosana. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, 2009.
- CHEN, Q.; ZHANG, Q.; YANG, Y.; WANG, Q.; HE, Y.; DONG, N. Synergetic effect on methylene blue adsorption to biochar with gentian violet in dyeing and printing wastewater under competitive adsorption mechanism. *Case Studies in Thermal Engineering*, v. 28, 2021.
- CHEN, X.; HOSSAIN, M.D.F.; DUAN, C.; LU, J.; TSANG, Y.F.; ISLAM, M.D.S.; ZHOU, Y. Isotherm models for adsorption of heavy metals from water - A review. *Chemosphere*, 2022.
- CHEREMISINOFF, N.P e CHEREMISINOFF, P.N. Filtration equipment for wastewater treatment, 1993, 444p.
- CHOY, K. H.; MCKAY, G.; PORTER, J. F. Sorption of acid dyes from effluents using activated carbon. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 27, p. 57-71, 1999.
- COLLINS, C.H. Chromatographic Adsorption Analysis: Selected Works. *Crell's Chem, Ann.* v. 1, n. 17, 2009.
- COONEY, D. O. Adsorption Design for Wastewater. Treatment. Florida: CRC Press, 1999.
- CORDEIRO, J. L. C.; BRITO, S. M. De O. Prospecção Tecnológica sobre Métodos de Tratamento de Água Contendo Corantes e Pigmentos. *Cadernos de Prospecção*, v. 12, n. 4, p. 907, 2019.
- DEHMANI, Y.; KHALKI, O. E.; MEZOUGANE, H.; ABOUARNADASSE, S. Comparative study on adsorption of cationic dyes and phenol by natural clays. *Chemical Data Collections*, v.33, 2021.
- DABROWSKI, A. Adsorption—from theory to practice. *Advances in colloid and interface science*, v. 93, n. 1-3, p. 135-224, 2001.
- DAS, T.R.; SHARMA, P.K. Bimetal oxide decorated graphene oxide (Gd₂O₃/Bi₂O₃@GO) nanocomposite as an excellent adsorbent in the removal of methyl orange dye. *Materials Science in Semiconductor Processing*, v. 105, 2020.
- DEB, H.; ISLAM, M.D.Z.; AHMED, A.; HASAN, MD.K.; HOSSAIN, MD.K.; HU, H.; CHEN, C.; YANG, S.; ZHANG, Y.; YAO, J. Kinetics & dynamic studies of dye adsorption by porous graphene nano-adsorbent for facile toxic wastewater remediation. *Journal of Water Process Engineering*, v. 30, 2022.
- DEHMANI, Y.; KHALKI, O.E.; MEZOUGANE, H.; ABOUARNADASSE, S. Comparative study on adsorption of cationic dyes and phenol by natural clays. *Chemical Data Collections*, v. 33, 2021.
- DI BERNARDO, A.S. Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada. Tese. Universidade de São Paulo. 2004.
- DOGAN, M.; ALKAN, M.; DEMIRBAS, Ö. Adsorption kinetics of maxilon blue GRL onto sepiolite. *Chemical Engineering Journal*, v. 124, p. 89-101, 2006.
- DOTTO, G. L. Remoção dos Corantes Azul Brilhante, Amarelo Crepúsculo e Amarelo Tartrazina de Soluções Aquosas Utilizando Carvão Ativado, Terra Ativada, Terra Diatomácea, Quitina e Quitosana: Estudos de Equilíbrio e Termodinâmica, *Química Nova*, vol 34, nº 7, 1199, 2011.

DOMINGUES, Valentina Maria Fernandes. Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas. 2005.

DOS SANTOS, C. P. F.; MELO, D. M. A.; MELO, M. A. F.; V SOBRINHO, E.. Caracterização e usos de argilas bentonitas e vermiculitas para adsorção de cobre (II) em solução. *Cerâmica*, v. 48, n. 308, p. 178-182, 2002.

DU, J.; ZHOUA.; LIN, X.; BU, Y. Adsorption mechanism of Pb^{2+} in montmorillonite nanopore under various temperatures and concentrations. *Environmental Research*, v. 209, 2022.

EPA - Environmental Protection Agency, 815-F-00-007, 2000.

EVERETT, D. H. Manual of symbols and terminology for physicochemical quantities and units, appendix II: Definitions, terminology and symbols in colloid and surface chemistry. *Pure and Applied Chemistry*, v. 31, n. 4, p. 585, 1972.

FARIAS, M.B.; PREDIGER, P.; VIEIRA, M.G.A. Conventional and green-synthesized nanomaterials applied for the adsorption and/or degradation of phenol: A recent overview. *Journal of Cleaner Production*, 2022.

FENG, D.; VAN DEVENTER, J. S. J.; ALDRICH, C. Removal of pollutants from acid mine wastewater using metallurgical by-product slags. *Separation and purification technology*, v. 40, n. 1, p. 61-67, 2004.

FLANIGEN, M. *Studies in Surface Science and Catalysis*. Volume 137, 2001, Pages 11-35

FOLLMANN, H. V. D. M. Avaliação da ultrafiltração e da adsorção em carvão ativado no tratamento avançado de efluente de uma indústria de papel e celulose. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2017.

FOO, K. Y.; HAMEED, B. H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical engineering journal*, v. 156, n. 1, p. 2-10, 2010.

FORGACS, E.; CSERHATI, T.; OROS, G. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. *Environment international*, v. 30, n. 7, p. 953-971, 2004.

GERENTE, C.; LEE, V.K.C.; CLOIREC, P.P.; MCKAY, G.A. Application of chitosan for the removal of metals from wastewaters by adsorption—mechanisms and models review. *Critical reviews in environmental science and technology*, v. 37, n. 1, p. 41-127, 2007.

GIANETTO, G.P. Relationship between the Physicochemical Properties of Zeolitic Systems and their low Dimensionality. *Guidelines for Mastering the Properties of Molecular Sieves*, v.221, p.355-363, 1990.

GREISH, A.A.; SOKOLOVSKIY, P.V.; FINASHINA, E.D.; KUSTOV, L.M.; VESENTESEV, A.I.; CHIEN, N.D. Adsorption of phenol and 2,4-dichlorophenol on carbon-containing sorbent produced from sugar cane bagasse. *Mendeleev Communications*, v. 31, p. 121-122, 2021.

GUARATINI, C. C.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. *Química nova*, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

HAGHSERESHT, F.; NOURI, S.; FINNERTY, J.J.; LU, G.Q. J. Effects of surfaces chemistry on aromatic compound adsorption from dilute aqueous solutions by activated carbon. *Journal of Physical Chemistry*, v. 106, n. 42, p. 10935-10943, 2002.

HEGAZI, H. A. Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents. *HBRC journal*, v. 9, n. 3, p. 276-282, 2013.

HOMEM, E. M.; Remoção de Chumbo, Níquel e Zinco em Zeólita Utilizando Sistema de Leito Fixo Fluidizado. Dissertação de Mestrado FEQ / UNICAMP, Campinas – SP, 2001.

HUNTER, R. J. *Introduction to modern colloid science*. New York: Oxford University Press, 338p.1993.

HUSSAIN, S.; AMIN, N.U.; KHAN, S.A. Quartzite an efficient adsorbent for the removal of anionic and cationic dyes from aqueous solutions. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 13, Issue 3, p. 4731-4740, 2020.

IHEANACHO, O.C.; NWABANNE, J.T.; OBI, C.C.; ONU, C.E. Packed bed column adsorption of phenol onto corn cob activated carbon: linear and nonlinear kinetics modeling. *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 36, p.80-93, 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. Relatório Anual Ibá 2019. São Paulo: Studio 113, 2019, 100 p.

IUPAC. *Compendium of Chemical Terminology*, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). Online version (2019-) created by S. J. Chalk. ISBN 0-9678550-9-8.

IZIDORO, J. de C. Estudos sobre a remoção de íons metálicos em água usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão. 2008. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), São Paulo, 2008.

JAIN, M.; KHAN, S.A.; SAHOO, A.; DUBEY, P.; PANT, K.K.; ZIORA, Z.M.; BLASKOVICH, M.A.T. Statistical evaluation of cow-dung derived activated biochar for phenol adsorption: Adsorption isotherms, kinetics, and thermodynamic studies. *Bioresource Technology*, v. 352, 2022.

JIMENEZ, R.S.; BOSCO, S.M.D.; CARVALHO, W.A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolcita – influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. *Química Nova*. 27, 2004.

JORDÃO, M. H. Catalisadores Bimetálicos e Bifuncionais para Isomerização do n-Hexano: Ni-Pt suportados na zeólita HY. Tese de Doutorado, São Carlos, UFSCar, 2001. 237 p.

JUANG, R. S.; WU, F. C.; TSENG, R. L. Characterization and use of activated carbons prepared from bagasses for liquid-phase adsorption. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 201, n. 1, p. 191-199, 2002.

KHALID, M., JOLY, G., RENAUD, A., MAGNOUX, P., Removal of phenol from water by adsorption using zeolites, *Ind. Eng. Chem. Res.* 43, 2004.

KANNAN, N.; SUNDARAM, M. M. Kinetics and mechanism of removal of methylene blue by adsorption on various carbons—a comparative study. *Dyes and pigments*, v. 51, n. 1, p. 25-40, 2001.

KATSOYIANNIS, I.A e ZOUBOULIS, A. Water Sources By Sorption Onto Iron-Oxide-Coated Polymeric Materials. *Water Research*, v. 36, p. 5141-5155, 2002.

KHARRAZI, S.M.; MIRGHAFARI, N.; DASTGERDI, M.M.; SOLEIMANI, M. A novel post-modification of powdered activated carbon prepared from lignocellulosic waste through thermal tension treatment to enhance the porosity and heavy metals adsorption. *Powder Technol.*, v. 366, p. 358-368, 2020.

KIMURA, I. Y.; GONÇALVES, A. C.; STOLBERG, J. Efeito do pH e tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana. *Polímeros: ciência e tecnologia*, p. 51-57, 1999.

KISHINO, Takuo; KOBAYASHI, Kunio. Relation between toxicity and accumulation of chlorophenols at various pH, and their absorption mechanism in fish. *Water Research*, v. 29, n. 2, p. 431-442, 1995.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S.G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LAMIM, A. P. B.; JORDÃO, C. P.; PEREIRA, J. L.; BELLATO, C. R. Caracterização química e física de turfa litorânea e avaliação da adsorção competitiva por cobre e zinco. *Química Nova*, v. 24, n. 1, p. 18-23, 2001.

LAWAL, A.A.; HASSAN, M.A.; FARID, M.A.A.; YASIM-ANUAR, T.A.T.; SAMSUDIN, M.A.; YUSOFF, M.Z.M.; ZAKARIA, M.R.; MOKHTAR, M.N.; SHIRAI, Y. Adsorption mechanism and effectiveness of phenol and tannic acid removal by biochar produced from oil palm frond using steam pyrolysis. *Environmental Pollution*, v. 269, 2021.

LÁZLÓ, K.; PODLOSCIELNY, P.; DABROWSKI, A. Adsorption from aqueous phenol and aniline solutions on activated carbons with different surface chemistry. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 265 p.32-39, 2005.

LEE, H.S.; SHIN, H.S. Competitive adsorption of heavy metals onto modified biochars: Comparison of biochar properties and modification methods. *Journal of Environmental Management*, v. 299, 2021.

LEMBO, A. *Química: realidade e contexto*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2004

LI, H., ZHANG, W., YANG, Y., HUANG, X., WANG, S., QIU, R., Relative distribution of Pb²⁺-sorption mechanisms by sludge-derived biochar. *Water Research*, 46, 854–862 p, 2012.

LIN, S.H.; JUANG, R.S. Adsorption of phenol and its derivatives from water using synthetic resins and low-cost natural adsorbents: A review. *Journal of Environmental Management*, 90, 1336, 2009.

LINS, J.A.P.N.; KIRSCHNIK, P.G.; QUEIROZ, V.S.; CIRIO, S.M. Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, v.8, n.4, p.469-484, 2010.

LIU, L.K.; DAI, C.M.; LIN, Y.H. A Study on the dissolution of ferric oxide in aqueous hydrochloric acid solutions. *Journal of the Chinese Chemical Society*, v. 32, n.2, p.95-97, 1985.

LIU, X.; PINTO, N. G. Ideal adsorbed phase model for adsorption of phenolic compounds on activated carbon, *Carbon*, v. 35, n. 9, p. 1387-1397, 1997.

LIU, W.J.; ZENG, F.X.; JIANG, H.; ZHANG, X.S. Preparation of high adsorption capacity bio-chars from waste biomass. *Bioresource technology*, v. 102, n. 17, p. 8247-8252, 2011.

LIU, X.; CHEN, Z.; DU, W.; LIU, P.; ZHANG, L.; SHI, F. Treatment of wastewater containing methyl orange dye by fluidized three dimensional electrochemical oxidation process integrated with chemical oxidation and adsorption. *Journal of Environmental Management*, v. 1, 2022.

LIU, C.; ZHANG, H.X. Modified-biochar adsorbents (MBAs) for heavy-metal ions adsorption: A critical review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 10, Issue 2, 2022.

MACHADO, N. R. C. F.; MIOTTO-BIGATÃO, D. M. M. Utilização de zeólitas sintetizadas a partir de xisto retornado na remoção de arsênio em águas contaminadas. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p. 1108-1114, 2007.

MAGDALENA, C.P.; FUNGARO, D.A.; CUNICO, P. Adsorção de azo corante reativo utilizando material zeolítico: tempo de contato, pH, temperatura e efeito de sais. *Periódico Tchê Química*, Porto Alegre, v.9, n.17, p. 48-59, 2011.

MAIA, L.C.; SOARES, L.C.; GURGEL, L.V.A. A review on the use of lignocellulosic materials for arsenic adsorption. *Journal of Environmental Management* 2021.

MARTINS, L.; CARDOSO, D. Aplicação catalítica de peneiras moleculares básicas micro e mesoporosas. *Química Nova*, v. 29, n. 2, p. 358, 2006.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. Unit operations of chemical engineering. New York: Ed. McGraw Hill, 1993.

MCKAY, G.; OTTERBURN, M. S.; SWEENEY, A. G. The removal of colour from effluent using various adsorbents – III. Silica: rate processes. *Water Research*. v. 14, p. 15-20, 1980.

MEDYKOWSKA, M.; WIŚNIEWSKA, M.; SZEWCZUK-KARPISZ, K.; PANEK, R. Interaction mechanism of heavy metal ions with the nanostructured zeolites surface – Adsorption, electrokinetic and XPS studies. *Journal of Molecular Liquids*, v. 357, 2022.,

MINAS AMBIENTE/CETEC. Controle Ambiental na Indústria Têxtil: Acabamento de malhas. Belo Horizonte, 2002.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. *Química Nova*, v. 40, n. 9, p. 1094-1110, 2017.

MORAIS, I. L. H. Controle da Poluição nos Processos Industriais. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, 2015.

MOUNI, L.; MERABET, D.; ROBERT, D.; BOUZAZA, A. Batch studies for the investigation of the sorption of the heavy metals Pb²⁺ and Zn²⁺ onto Amizour soil (Algeria). *Geoderma*, v. 154, n. 1-2, p. 30-35, 2009.

MOURA, M. D. F. V. D. Utilização de sílica gel organofuncionalizada para adsorção de íons metálicos em solução aquosa. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2

MUMPTON, F.A., 1985, Using Zeolites in Agriculture. In: Innovative Biological Technologies for Lesser Developed Countries— Workshop Proceedings. Washington, DC: U.S. Congress, Office of Technology Assessment, OTA-13PF-29, July 1985.

NAMANE, A.; HELLAL, A. The dynamic adsorption characteristics of phenol by granular activated carbon, *Journal of Hazardous Materials*, v. 137, n. 01, 2006.

NAUJOKAS, M. F.; ANDERSON, B.; AHSAN, H. APOSHIAN, H. V., GRAZIANO, J. H.; THOMPSON, C.; SUK, W. A. The broad scope of health effects from chronic arsenic exposure: update on a worldwide public health problem. *Environmental health perspectives*, v. 121, n. 3, p. 295-302, 2013.

NASCIMENTO, R. F. D.; LIMA, A. C. A. D.; VIDAL, C. B.; MELO, D. D. Q.; RAULINO, G. S. C. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

NÓBREGA, G. A. S. Determinação do teor de umidade do gás natural usando um dispositivo com adsorção. 2011. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

OLIVEIRA, L. B.; ANGÉLICA, R. S.; NECES, R. F.; FIGUEIREDO, B. R. Avaliação de adsorção de íon As (V) em solução sobre alumina ativada, Rejeitos de caulim e SUS produtos de transformação. Workshop Internacional em geologia médica, 2005.

ORTIZ, N. Estudo da utilização de magnetita como material adsorvedor dos metais Cu²⁺, Pb²⁺, Ni²⁺ e Cd²⁺, em solução. Tese. São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, 2000.

ÖZACAR, M.; ŞENGİL, İ. A. Adsorption of reactive dyes on calcined alunite from aqueous solutions. *Journal of hazardous materials*, v. 98, n. 1-3, p. 211-224, 2003.

PAREDES, L.; FERNANDEZ-FONTAINA, E.; LEMA, J.M.; OMIL, F.; CARBALLA, M. Understanding the fate of organic micropollutants in sand and granular activated carbon biofiltration systems. *Science of the Total Environment*, v. 551-552, p. 640-648., 2016.

PEIXE, T. S., NASCIMENTO, E. de S. - Análise de fenol em amostras de urina de trabalhadores e no ar de fundição de metais. *Revista Brasileira de Toxicologia*. nº 2, 2008.

PEREIRA, S. D. F. P.; FERREIRA, S. L. C.; COSTA, A. C. S.; SARAIVA, A. C. F.; SILVA, A. K. F. Determinação espectrofotométrica do arsênio em cabelo usando o método do dietilditiocarbamato de prata (SDDC) e trietanolamina/CHCl₃ como solvente. *Eclética Química*, v. 27, p. 00-00, 2002.

PERGHER, S.B.C.; CAOVIALLA, M.; DETONI, C.; MACHADO, N.R.C.F. Remoção de Cu²⁺ de soluções aquosas em zeólita Nax. *Efeito da granulometria*. *Química Nova*. 28, 2005.

PERUZZO, L. C. Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PICÓN, D.; TORASSO, N.; BAUDRIT, J.R.V.; CERVENY, S.; GOYANES, S. Bio-inspired membranes for adsorption of arsenic via immobilized L-Cysteine in highly hydrophilic electrospun nanofibers. *Chemical Engineering Research and Design*, 2022.

PODKOSCIELNY, P.; NIESZPOREK, K.; SZABELSKI, P. *Colloids and Surfaces A: Physicochem, Eng. Aspects*, v.277, p.52-58, 2006.

POLONIO, E.F.; NAVARRO, J. F.; CLAR, M.I.I.; MIRANDA, M.I.A.; ROCA, J.A.M. Removal of pharmaceutical compounds commonly-found in wastewater through a hybrid biological and adsorption process. *Journal of Environmental Management*, v. 263, 2020.

QUEIROZ, L.S.; SOUZA, L.K. de; THOMAZ, K.T.C.; LIMA, E.T.L.; ROCHA FILHO, G.N. da; NASCIMENTO, L.A.S. do; PIRES, L.H. de O.; FAIAL, K. de C.F.; COSTA, C.E. da. Activated carbon obtained from amazonian biomass tailings (açai seed): modification, characterization, and use for removal of metal ions from water. *J. Environ. Manag.*, v. 270, p. 110868, 2020.

RAJENDRAN,S.; PRIYA, A.K.; KUMAR, P.S.; HOANG, T.K.A.; CHONG, K.Y.; KHOO, K.S.; SUAN, H.N.G.; SHOW, P.L.A critical and recent developments on adsorption technique for removal of heavy metals from wastewater-A review. *Chemosphere*, v. 303, Parte 2, 2022.

RAMUTSHATSHA-MAKHWEDZHA, D.; MAVHUNGU, A.; MOROPENG, M.L.; MBAYA. R. Activated carbon derived from waste orange and lemon peels for the adsorption of methyl orange and methylene blue dyes from wastewater. *Heliyon* Available online, v. 10, 2022.

RICHARDSON, S. D.; KIMURA, S. Y. Water analysis: emerging contaminants and current issues. *Analytical chemistry*, v. 88, n. 1, p. 546-582, 2016.

ROBENS, E.; JAYAWEERA, S. A. A. Early History of Adsorption Measurements. *Adsorption Science & Technology*, v. 32, n. 6, p. 425-442, 2014.

RODRIGUEZ-REINOSO, F.; MOLINA-SABIO, M. Role of chemical activation in the development of carbon porosity. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 241, n. 1-3, p. 15-25, 2004.

ROOSTEI, N.; TEZEL, F.H.; Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption. *Journal of Environmental Management*, v.70 p.157–164, 2003.

ROSATTO, S.S.; FREIRE, R.S.; DURÁN, N.; KUBOTA,L.T. Biossensores amperométricos para determinação de compostos fenólicos em amostras de interesse ambiental. *Química Nova*, v. 24, n. 1, p. 77-86, 2001.

SANTANA, C.M.; FERRERA, Z.S.; PADRÓN, M.E.T.; RODRIGUEZ, J.J.S. Methodologies for the extraction of phenolic compounds from environmental samples: New approaches. *Molecules*, 14, 298, 2009.

SANTOS, L.J.C.M. dos; AZEVEDO, G.N. Uso de Adsorventes como Alternativa no Tratamento de Contaminantes Orgânicos em Águas e Efluentes Líquidos. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, Essentia Editora IFFluminense, Campo dos Goytacazes-RJ, v. 13, n. 1, p. 68-78, 2019.

SALAM, O.E.A.; REIAD, N.A.; ELSHAFEI, M.M.A study of the removal characteristics of heavy metals from wastewater by low-cost adsorbents. *Journal of Advanced Research*, v. 2, n. 4, p. 297-303, 2011.

SARKER, M.; SONG, J.Y.; JHUNG, S.H. Adsorptive removal of anti-inflammatory drugs from water using graphene oxide/metal-organic framework composites. *Chemical Engineering Journal*, v. 335, p. 74-81, 2018.

SCHNEIDER, E. L. Adsorção de Compostos Fenólicos Sobre Carvão Ativado. *Dissertação*. UNIOESTE, Toledo-PR. 2008.

SCHWARZENBACH, R. P.; EGLI, T.; HOFSTETTER, T. B.; VON GUNTEN, U.; WEHRLI, B. Global water pollution and human health. *Annual review of environment and resources*, v. 35, p. 109-136, 2010.

SEKAR, M.; SAKTHI, V.; RENGARAJ, S. Kinetics and equilibrium adsorption study of lead (II) onto activated carbon prepared from coconut shell. *Journal of colloid and interface science*, v. 279, n. 2, p. 307-313, 2004.

SHAW, D. J. *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*. 4th edition. London: Butterworth-Heinemann, 1994. 306p.

SILVA, A.T. da. Influência da temperatura na adsorção do corante azul de metileno utilizando serragem de *Pinus elliottii* como um adsorvente alternativo: um modelo para o tratamento de efluentes têxteis. 2005.

SILVA, L.A. da. Desenvolvimento do processo de obtenção da bentonita organofílica de Moçambique: síntese e caracterização. 2013.

SILVA, N. C. da. Adsorção de antibióticos em meio aquoso utilizando diferentes adsorventes. Tese, 169 f. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2015..

SMART, L.; MOORE, Elaine A. *Solid State Chemistry: An Introduction*, 2005.

SOBRINHO, E.V. Preparação e Caracterização da Zeólita Y com Alto Teor de Silício Obtida por Desaluminização em Série. Tese, 1993. 146 f.

SOMUNE, A; GHATE R. Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 2004, 167, 55

SOUZA, M. A.; MELO, M. J.; DANTAS, D. M.; ARAÚJO, M. Clarificação de Efluentes da Indústria Têxtil utilizando Vermiculita Ativada como Adsorvente: Estudo Cinético e Termodinâmico, *Anais do II Encontro Brasileiro sobre Adsorção 1 (2000)* 365. 2000.

SOUZA, R.M.; QUESADA, H.B.; CUSIOLI, L.F.; FAGUNDES-KLEN, M.R.; BERGAMASCO, R.. Adsorption of non-steroidal anti-inflammatory drug (NSAID) by agro-industrial by-product with chemical and thermal modification: adsorption studies and mechanism. *Industrial Crops And Products*, [S.L.], v. 161, p. 113200, 2021.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M.; *Química Ambiental*; 2ª ed., Pearson: São Paulo, 2008.

SULTANA, M.; HASAN, M.; SABRIN, R.M.; RAHAMAN, M.D.H.; ALAM, S.M.N. A review on experimental chemically modified activated carbon to enhance dye and heavy metals adsorption. *Journal of Environmental Management*, v. 299, 2021.

SULTANA, S.; ISLAM, K.; HASAN, M.D.A.; KHAN, H.M.J.; AZIZUR, M.; KHAN, R.; DEB, A.; AL RAIHAN, M.D.; RAHMAN, M.D.W. Adsorption of crystal violet dye by coconut husk powder: Isotherm, kinetics and thermodynamics perspectives. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, v. 17, 2022.

THUROW, E. P. Estudo do processo de adsorção de amoxicilina utilizando carvão ativado como sólido sorvente. 2015.

TREACY, M.M.J.; NEWSAM, J.M., *Nature*, vol.332, 1988, 249.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, v.22, n.63, p.7-16, 2008.

UNGUREANU, G.; SANTOS, S.; BOAVENTURA, R.; BOTELHO, C. Arsenic and antimony in water and wastewater: overview of removal techniques with special reference to latest advances in adsorption. *Journal of Environmental Management*, v. 151, p. 326-342, 2015.

URSINI, O.; LILLA, E.; MONTANARI, R. The investigation on cationic exchange capacity of zeolites: The use as selective ion trappers in the electrokinetic soil technique. *Journal of hazardous materials*, v. 137, n. 2, p. 1079-1088, 2006.

VACLAVIK, F.D. Avaliação e Otimização do uso de Zeolitas no tratamento terciário de efluentes líquidos industriais. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Química, 72p, p. 18 - 30. 2010.

VEDULA, S.S.; YADAV, G.D. Wastewater treatment containing methylene blue dye as pollutant using adsorption by chitosan lignin membrane: Development of membrane, characterization and kinetics of adsorption. *Journal of the Indian Chemical Society*, v. 17, 2021.

VIDOVIX, T.B.; JANUÁRIO, E.F.D.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A.M.S. Bisfenol A adsorption using a low-cost adsorbent prepared from residues of babassu coconut peels. *Environmental Technology (United Kingdom)*, v. 42, n. 15, p. 2372–2384, 2019.

XIAO, W.; JIANG, X.; LIU, X.; ZHOU, W.; GARBA, Z.N.; LAWAN, I.; WANG, L.; YUAN, Z. Adsorption of organic dyes from wastewater by metal-doped porous carbon materials. *Journal of Cleaner Production*, v. 22, 2020.

XU, Y.; XIA, H.; ZHANG, Q.; JIANG, G.; CAI, W.; HU, W. Adsorption of cadmium(II) in wastewater by magnesium oxide modified biochar. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 15, Issue 9, 2022.

WEBER, W. J. *Physicochemical processes for water quality control*. New York: John Wiley & Sons, 1972.

YANG, Ralph T. *Adsorbents: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons, 2003.

YANG, X.; ZOU, R.; HUO, F.; CAI, D.; XIAO, D. Preparation and characterization of Ti/SnO₂–Sb₂O₃–Nb₂O₅/PbO₂ thin film as electrode material for the degradation of phenol. *Journal of Hazardous materials*, v. 164, n. 1, p. 367-373, 2009.

ZAMBRANO, G.B; DE ALMEIDA, O.N.; DUARTE, D.S.; VELASCO, F.G.; LUZARDO, F.H.M.; NIETO-GONZÁLEZ, L. Adsorption of arsenic anions in water using modified lignocellulosic adsorbents. *Results in Engineering*, v. 13, 2022.

ZHANG, F.; ZHANG, S.; CHEN, L.; LIU, Z.; QIN, J.. Utilization of bark waste of *Acacia mangium*: The preparation of activated carbon and adsorption of phenolic wastewater. *Industrial Crops and Products*, v. 160, 2020.

ZHANG, J.; QIN, L.; YANG, Y.; LIU, X. Porous carbon nanospheres aerogel based molecularly imprinted polymer for efficient phenol adsorption and removal from wastewater. *Separation and Purification Technology*, v. 274, n. 1, 2021.

Capítulo 2



10.37423/220706304

PROTAGONISMO JUVENIL EM AÇÕES AMBIENTAIS NO PURAQUEQUARA

Lidia Rochedo Ferraz

Universidade Federal do Amazonas

Maria Anete Leite Rubim

Universidade Federal do Amazonas



Resumo: O Programa Puraquequara é uma atividade extensionista, que tem como eixo principal a prática da educação para a sustentabilidade. Objetiva a disseminação dos conceitos, princípios e diretrizes da Educação Ambiental no bairro Puraquequara, fortalecendo o desenvolvimento de competências, valores, habilidades e atitudes que estimulem o envolvimento e comprometimento nas questões de sustentabilidade socioambiental. Suas ações do acontecem junto às escolas e buscam estimular a participação social de jovens moradores, compartilhando conhecimentos acerca da bacia hidrográfica, e contribuindo para sensibilizar moradores para as demandas ambientais locais \ globais. Objetiva também estimular o protagonismo de estudantes universitários, residentes neste bairro, nos processos de intervenção socioambiental. Toma por referencial a perspectiva histórico-cultural e os princípios metodológicos da pesquisa-ação-participante, em que todos assumem o protagonismo na definição, execução e avaliação das ações propostas. Fundamenta-se nos princípios da educação ambiental, enfatizando a necessidade de cuidar de sua gente, de seu lugar. Resultados iniciais evidenciam o quanto a participação nos projetos marca o diferencial no desenvolvimento do protagonismo e no envolvimento ambiental. Jovens moradores, em contato com outros jovens universitários, podem trocar experiências, criar vínculos afetivos, perceber-se como parte integrante e atuante dos processos de transformação social. Cabe ressaltar, por fim, a contribuição da educação ambiental para o protagonismo juvenil, e vice-versa, assim como a necessidade de investimentos das universidades na garantia de permanência dos estudantes até a conclusão de seu curso de graduação, e o envolvimento dos mesmos em programas de educação ambiental.

Palavras chave: educação ambiental, protagonismo juvenil, Puraquequara.

INTRODUÇÃO

Ações de extensão na região da Bacia do Puraquequara foram desenvolvidas, como projetos ou atividades curriculares, objetivando compartilhar com os moradores do bairro informações sobre pesquisas e trabalhos acadêmicos produzidos por professores e alunos de diferentes unidades acadêmicas da UFAM, envolvendo saúde, pesca, qualidade da água, atividades educacionais, organização comunitária, dentre outros.

No decorrer desse processo, enfatizou-se a necessidade de sensibilizar moradores para diferentes demandas socioambientais e para o desenvolvimento de práticas de educação ambiental.

O Puraquequara é uma região de especial importância para a cidade de Manaus, e necessita atenção e cuidado. Destinado à ampliação da área portuária da cidade, tem experimentado significativas mudanças, sobretudo em relação aos impactos socioambientais, seja nas relações de trabalho e vizinhança, nos espaços de moradia e na desarticulação das formas tradicionais de enfrentamento dos problemas cotidianos.

Compreendendo que a educação ambiental requer o envolvimento de todos, e nos convida a mobilizações coletivas, propôs-se a consolidação de um Programa de Extensão, em parceria com escolas e a comunidade local. Nosso desejo foi promover o encontro daqueles agentes universitários, procurando unificar e, conseqüentemente, fortalecer e ampliar as ações, numa perspectiva inter e transdisciplinar.

O Programa propõe integrar ações desenvolvidas na localidade, em conjunto com as escolas e comunidades do Puraquequara, de modo a informar e formar jovens, adultos e crianças sobre questões relevantes a respeito da relação ser humano e ambiente. Visa o fortalecimento de competências, valores, habilidades e atitudes que estimulem o envolvimento e comprometimento nas questões de sustentabilidade socioambiental. Procurando enfatizar o protagonismo de jovens moradores do bairro, propõe o engajamento ambiental enquanto um caminho de politização dos jovens e de busca de novas formas de organizar o laço coletivo.

O Programa é composto por 03 eixos, interligados: pesquisa-intervenção, formação, e práticas socioambientais. Este trabalho compõe o levantamento de informações acerca da Bacia do Puraquequara e objetiva conhecer o perfil básico e acompanhar o desenvolvimento de estudantes universitários residentes na localidade. Visa criar uma base de dados para auxiliar na construção de referenciais que subsidiem suas ações.

O PROTAGONISMO JUVENIL

Os estudos sobre juventude vêm se configurando numa importante preocupação entre pesquisadores e profissionais de várias áreas, uma vez que apontam para questões de âmbito sociocultural, educacional e econômico.

Em se tratando do protagonismo juvenil, juventude e ambiente são dois temas transversais, profundamente interligados e que guardam em si o gérmen da transformação social (CINTRA, 2007). Os jovens são sensíveis às ações coletivas, e a questão ambiental, ainda que no delicado contexto de crises político-sociais, mantém-se como uma causa com grande potencial de identificação e nova oportunidade para o engajamento social e político da juventude, quer nos microambientes, locais, ou em âmbito global. Os jovens moradores das cidades têm muitas possibilidades de transformar velhas precariedades da infraestrutura urbana em demandas “ambientais” e ações concretas. Os jovens rurais experimentam outras tantas possibilidades ambientais.

A juventude, como construção social tem sido vista como uma "fase da vida". Fase marcada pela instabilidade e incertezas que são relacionadas a "problemas sociais", frequentemente associados aos jovens do universo urbano, mas também do universo rural. Nosso modo predominante de ser jovem envolve a busca por melhorias constantes, a força do descontentamento, e de busca por respostas para os problemas que lhe instigam. A busca de ideias inovadoras, a inquietude e desejo de transformação pessoal e social, e as vivências relacionadas à auto aceitação também constituem o corpus deste momento. De modo geral, ser jovem é ser proativo, é ansiar a mudança.

Atualmente, há que se considerar nesta construção, as imbricações e tensões locais/globais, os apelos do consumo, o imediatismo, as invisibilidades e profundos sentimentos de desconexão. O mercado de trabalho impacta a juventude, com o acelerado ritmo de mudanças tecnológicas e relações profissionais, com a desestruturação/precarização das relações de trabalho, o agravamento das desigualdades sociais (DEBONI; MELO, 2006).

Por outro lado, emergem outros aspectos destas novas gerações. Vivemos em um mundo conectado, um mundo de velocidade, de muitas paisagens e informações, de grande fluidez, em que as lutas por melhorias, principalmente a luta ecológica constitui um marco geracional. Esta juventude nasceu em um ambiente povoado por ideários ambientalistas, e discursos de sustentabilidade.

O Protagonismo Juvenil é entendido como “a criação de espaços e condições capazes de possibilitar aos jovens envolver-se em atividades direcionadas à solução de problemas reais, atuando como fonte de iniciativa, liberdade e compromisso” (COSTA, 2010; 2000).

O protagonismo juvenil objetiva a produção da autonomia e compromisso social, tornando o jovem o elemento central da prática educativa, capaz de edificar a autoria e de se solidarizar com o outro. Os alunos que participam das ações acabam desenvolvendo um papel importante de liderança, mobilizando outros alunos a reconhecerem os problemas enfrentados e propostas de melhoria.

O debate sobre protagonismo pode ser vinculado aos princípios da sustentabilidade, haja vista que esta pressupõe um pensamento alternativo frente à realidade existente, em suas múltiplas dimensões. E isto tem sido tão evidenciado que, tanto organizações e movimentos sociais como órgãos governamentais vem incentivando ações neste sentido.

Como rápido exemplo, podemos destacar os fóruns de juventude para o meio ambiente, realizados em vários estados, reunindo jovens e fomentando coletivos, como um chamado à participação da juventude na construção coletiva. A Política Nacional de Educação Ambiental – PNEA proporcionou a realização das Conferências Nacionais pelo Meio Ambiente, nas suas versões adulto e infanto-juvenil (CNMA e CNIJMA). E, desde 2003, o Ministério do Meio Ambiente, em parceria com o Ministério da Educação, vem promovendo a Conferência Infanto-Juvenil do Meio Ambiente, um programa governamental para estimular processos participativos em todo o país, envolvendo escolas de ensino fundamental. A realização da Conferência consiste em um processo participativo, em que se discutem problemas socioambientais sob a temática *Vamos Cuidar do Brasil* (BRASIL, 2006; 2016).

Caminhando com este delineamento, o Programa Puraquequara tem procurado estimular o protagonismo juvenil no bairro, incentivando sua participação nas ações ambientais, e com especial atenção, apoiar estudantes universitários que residem na localidade, contribuindo para assegurar sua permanência até a conclusão do curso de graduação.

METODOLOGIA

A experiência destacada é parte de um conjunto de atividades de pesquisa e intervenção do Programa Puraquequara, em que se privilegia o protagonismo dos jovens, e a participação integral no processo. Atenta para cuidar da permanência destes jovens no ensino superior, e estimular sua participação enquanto agentes sociais que atuem e intervenham em sua realidade cotidiana.

A realização das ações tem como base os princípios metodológicos da pesquisa-ação-participante, em que todos assumem o protagonismo na definição e desenvolvimento de conteúdos, formas e etapas do trabalho, tanto na sua concepção e planejamento, quanto na sua execução e avaliação. Considera-se o processo contínuo de formação, num movimento permanente de apropriação e reelaboração de saberes, a partir do encontro de conhecimentos, saberes e experiência. Também considera que a efetiva participação dos atores sociais envolvidos no processo, vivenciando, percebendo, ressignificando conhecimentos e valores, é fundamental para situá-los e contextualizá-los no centro do processo de transformação e tomada de decisão. Neste sentido, a equipe não leva para as escolas e comunidades um “pacote fechado” de conhecimentos e de atividades a realizar, mas, ao contrário, estará construindo gradativamente cada ação, obedecendo a ritmos, espaços, critérios, prioridades e formas próprias da cultura local. Como salienta Paulo Freire (1992), uma teoria molhada que emerge da prática.

São utilizadas técnicas de psicologia social comunitária como estratégia de sensibilização da coletividade para os problemas socioambientais, de modo a construir planos de ação, visando melhoria das condições de vida e das condições ambientais gerais da comunidade. Do mesmo modo, técnicas que auxiliem o protagonismo dos estudantes universitários.

CAMINHOS DE INTERVENÇÃO

Os estudantes universitários são convidados a promover ações educativas junto às escolas, com a utilização da técnica de grupos de encontro e dos ateliês ambientais, com temas voltados à saúde e qualidade de vida, e à conservação do ambiente, em especial, os recursos hídricos, as florestas e a sócio/biodiversidade na região da Bacia Hidrográfica do Puraquequara. Para realização das ações, a estratégia envolve também o processo de formação da equipe.

Os grupos de encontro são momentos privilegiados de debate. Possibilitam a construção de conhecimentos, informações e esclarecimentos a respeito de questões que atravessam o grupo, e a vivência de situações que favoreçam a intervenção psicossocial, a troca de experiências e o crescimento pessoal. É constituído por jovens moradoras, que se sentiram impulsionadas a buscar alternativas de renda, organizando-se através da economia solidária. Para iniciar o processo, convidaram moradoras que sabiam realizar alguma produção, e que gostaria de compartilhar. Assim, iniciaram os cursos de pintura em tecido, produção de vassouras, e ornamentações. O próximo passo foi a definição de uma atividade produtiva, a fim de concentrar esforços e recursos.

Os ateliês envolvem a produção de espaços itinerantes de educação ambiental e aprendizagens coletivas, com atividades de sensibilização para conservação da água, da biodiversidade, e outros temas, conforme demandas das escolas. Os temas abordados referem-se às demandas ambientais, em articulação com conteúdos trabalhados pelos professores. Nos ateliês, os alunos são convidados a ouvir, ver, conversar, desenhar, serem autores de suas histórias. As atividades envolvem o uso de vídeos, animações, painéis, experimentos, concurso de desenhos e circuito em torno da escola; atividades que estimulem a memória e ampliem vocabulário e percepção de realidade.

No decorrer das atividades, constatou-se a existência de alunos com distorção idade-série e que, apesar de matriculados em séries mais avançadas, ainda não sabiam ler, e realizar cálculos simples. Constataram-se situações de violência, de abandono, de exclusão. A partir desta constatação, uma inquietação percorreu a equipe, principalmente os jovens protagonistas. Como é difícil falar de qualidade de vida e do ambiente sem imergir em uma realidade social tão farta de perplexidades.

Cabe destaque ao processo de formação dos membros da equipe, momento fundamental para a consolidação do Programa na comunidade. A formação é elemento básico e privilegia a troca de ideias, leitura e discussão de textos, planejamento e avaliação das atividades desenvolvidas, além do fortalecimento dos laços entre membros da equipe, constituída por professores e estudantes de diferentes cursos de graduação: engenharia de pesca, psicologia, biblioteconomia, pedagogia, biologia, licenciatura em matemática, educação física e ciências naturais.

O processo de formação desses jovens toma por princípio as diretrizes propostas para a educação ambiental: sensibilização para tomada de consciência; aquisição de conhecimentos para compreensão básica do ambiente em sua totalidade; aquisição de valores sociais e interesse; aptidões necessárias para resolver os problemas ambientais; capacidade de avaliação; estímulo à participação coletiva, com sentido de responsabilidade socioambiental (UNESCO, PNUMA, 1975).

Esta proposta pressupõe uma concepção de educação voltada para a transformação da sociedade e não para a manutenção das condições vigentes. Propõe oferecer possibilidades concretas para que o jovem exercite sua cidadania, sendo um agente ativo de transformação, sujeito de sua própria história, podendo intervir criticamente na sociedade e no meio em que vive, desenvolvendo sua autonomia.

Mas para o estudante do Puraquequara, a participação em projetos é algo novo, e pouco acessível, e o protagonismo, um caminho a ser percorrido.

A expansão e democratização da educação básica e superior ainda não superaram as assimetrias e desigualdades regionais, que historicamente têm marcado os processos educacionais. Para quem nasce e mora no Puraquequara, estar na universidade representa uma conquista alcançada por poucos, e com dificuldade. O processo é árduo, as condições de permanência são restritas.

Em decorrência de sua precária escolarização, muitos estudantes não têm condições de enfrentar o processo seletivo e acabam desistindo de ingressar em uma universidade pública. Os poucos que conseguem são vistos como verdadeiros guerreiros, pois venceram uma das grandes batalhas da vida escolar: passar no processo seletivo. É notória nas verbalizações, a representação de que estes “guerreiros” estão muito acima, em relação ao ato de estudar, dos que não conseguem ingressar na universidade.

Conforme salientam os autores (OLIVEIRA; DIAS, 2014; SOUZA E SILVA, 2013), o ingresso ao ensino superior apresenta-se como um dos momentos mais marcantes na vida das pessoas que frequentam esse nível educacional. É nessa ocasião que o indivíduo, independentemente da faixa etária, ao definir qual curso e instituição irá cursar, confere uma nova direção ao seu próprio projeto de vida. Esse momento se caracteriza por ser um processo de transição complexo e multidimensional, pleno de novos desafios que são determinantes para o seu sucesso e permanência. Não se trata apenas de desafios acadêmicos e cognitivos, mas de verdadeiras provocações para o desenvolvimento do estudante também em termos afetivos, pessoais e sociais. A vida universitária envolve mudanças de ambiente, de hábitos de estudo e da vida cotidiana dos estudantes, bem com do modo como refletem sobre a sociedade e sobre si mesmos.

Se o acesso não é um processo simples, a permanência torna-se mais desafiadora. As políticas de acesso devem articular-se às políticas afirmativas e de permanência na educação básica e superior, garantindo que os segmentos menos favorecidos da sociedade possam realizar e concluir a formação com êxito e com alto padrão de qualidade. Não basta, portanto, assegurar-lhes o acesso: é preciso considerar que o compromisso efetivo do estado com a democratização do ensino superior pressupõe a criação de condições concretas de permanência de todos os estudantes na universidade, até a conclusão do curso escolhido.

A permanência pressupõe também a participação global do estudante, inserindo-se em diferentes possibilidades do tripé universitário. Para muitos estudantes oriundos de espaços populares, a vida universitária restringe-se apenas aos conteúdos de sala de aula.

Os estudantes que participam das atividades do Programa Puraquequara verbalizam que queriam ter mais contato com a universidade pública, com atividades de pesquisa e extensão. Esta oportunidade é muitas vezes dificultada, pois a necessidade de trabalhar, as inseguranças quanto a seu desempenho, o critério meritocrático, medido através do coeficiente de rendimento são, geralmente, fatores engessantes. Mas não impeditivos.

Há que se cultivar nos jovens esse papel de protagonista da história. É preciso favorecer ações coletivas, troca de experiências entre os diferentes cursos, espaços de diálogos, em que *o jovem pode atuar aprendendo, e aprender atuando*. As experiências demonstram a importância de ações práticas que possam fortalecer a (co)responsabilidade e autonomia dos jovens (CINTRA, 2007).

Sua atuação junto a grupos e comunidades facilita o alcance de outros jovens, pois a comunicação acontece de modo mais horizontal. Possuem mais facilidade com as novas tecnologias de informação e comunicação, podendo utilizá-las como suporte para a disseminação de informações, como estratégia didático-pedagógica.

Observa-se uma dificuldade inicial em protagonizar ações, que pode ser rapidamente superada, se minimizadas as barreiras, se o que se ensina dentro dos muros acadêmicos estiver conectado ao que se vive fora deles.

A educação ambiental é referência e instrumento para aproximar e ampliar diálogos, para fundamentar práticas que minimizem desigualdades e diferenças sociais. É, portanto, campo profícuo para o empoderamento e fortalecimento do protagonismo juvenil.

TECENDO CONSIDERAÇÕES

Não há nada de novo quando se trata de protagonismo juvenil. Há resgate de proposições há muito propaladas e ao mesmo tempo impedidas. Muitos são os momentos historicamente registrados em que a juventude investe, reorganiza, quebra barreiras, protagoniza.

Protagonismo é ação cotidiana e atual, pois a criança, o jovem, o adulto e o idoso, somos todos agentes do presente, intervindo no presente, e permanecendo no tempo futuro que cabe a cada um. Somos juntos e fazemos juntos o momento. E isto requer do processo educacional a possibilidade de experimentar, co-participar, construir maturidade e capacidade de realizar, agir, produzir, fazer acontecer. Nesse contexto, a juventude tem uma inserção fundamental, por seu potencial inovador, capaz de encaminhar processos de transformação socioambiental.

Há um conjunto de políticas voltadas para a juventude, mas na prática há muitos desafios a serem superados. Em relação à educação, ainda que constatemos avanços legais, o panorama brasileiro continua apresentando desigualdades no acesso, qualidade e permanência de estudantes, em todos os níveis, etapas e modalidades.

A universidade como um espaço de produção de saberes, que desenvolve e solidifica conhecimentos, aprimora capacidades, descobre e aperfeiçoa competências e estimula inteligências, tem o papel de investigar, ensinar, formar, articular, comprometer-se com a transformação da sociedade, e com a edificação de espaços em que o protagonismo juvenil possa ser evidenciado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTUNES, C. Vygotsky, quem diria?!: em minha sala de aula. 4 ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2002. Fascículo 12.
- BERTE, M. L. Juventude e meio ambiente. Revista do Ministério do Meio Ambiente. Brasília, N.2, Dez. 2015.
- BRASIL. Órgão Gestor da Política Nacional de Educação Ambiental. Juventude, cidadania e meio ambiente: subsídios para elaboração de políticas públicas. Brasília: UNESCO, 2006.
- CALADO, K. A. Protagonismo juvenil e educação ambiental: estudo do Programa Pró-jovem adolescente do município de Borborema-PB. Dissertação. João Pessoa, 2014.
- CINTRA, M. A. M. U. Educação ambiental e o protagonismo jovem. Salvador, UFBA, 2007.
- COSTA, A. C. G. Protagonismo Juvenil: o que é e como praticá-lo, 2010, disponível em www.escola2000.org.br.
- DEBONI, F. MELLO, S. Panorama da juventude ambientalista. Em: Brasil. Órgão Gestor da Política Nacional de Educação Ambiental. Juventude, cidadania e meio ambiente: subsídios para elaboração de políticas públicas. Brasília: Unesco, 2006.
- ESPÍRITO SANTO, A. C. A trajetória acadêmica e o perfil dos estudantes da Universidade Federal da Bahia, nos cursos de alta demanda, pós-sistema de cotas / Ana Cristina do Espírito Santo. – Salvador: UFBA, 2013.
- FREIRE, P. Pedagogia da Esperança: um reencontro com a Pedagogia do Oprimido. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1992.
- OLIVEIRA, C. T. DIAS, A. C. G. Dificuldades na Trajetória Universitária e Rede de Apoio de Calouros e Formandos. Psico. v. 45, n. 2, pp. 187-197, abr.-jun. 2014.
- SANTANA, Gildo Rafael de Almeida. SANTOS, José Ulisses dos. O protagonismo juvenil na conservação da Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais. Revbea, São Paulo, V. 11, No 1: 327-334, 2016.
- SANTOS, R. Educação ambiental e protagonismo juvenil na escola: desafios e perspectivas. Anais do VII CBG – ISBN: 978-85-98539-02-1. Vitória, Agosto, 2014.
- SOUZA e SILVA, J. “Por que uns e não outros?": caminhada de jovens pobres para a universidade. Rio de Janeiro: 7 Letras, 2013.
- UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura -PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. A Carta de Belgrado: uma estrutura global para a educação ambiental. Belgrado: UNESCO/PNUMA, 1975 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/sdi/ea/ded/s/pdfs/crt_belgrado.pdf>. Acesso em: 10/mai/2021.

Capítulo 3



10.37423/220706323

ANÁLISE DE PONTOS ESTRATÉGICOS PARA RECEBIMENTO DE PNEUS INSERVÍVEIS POR SISTEMAS DE LOGÍSTICA REVERSA NO CEARÁ ATRAVÉS DE SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING

Sarah Maia Pianowski

*INCICLO SOLUCOES SUSTENTAVEIS
LTDA*

Gabriel Ferdinando Moreira Pesente

Funcap - Programa Cientista Chefe

Magda Marinho Braga

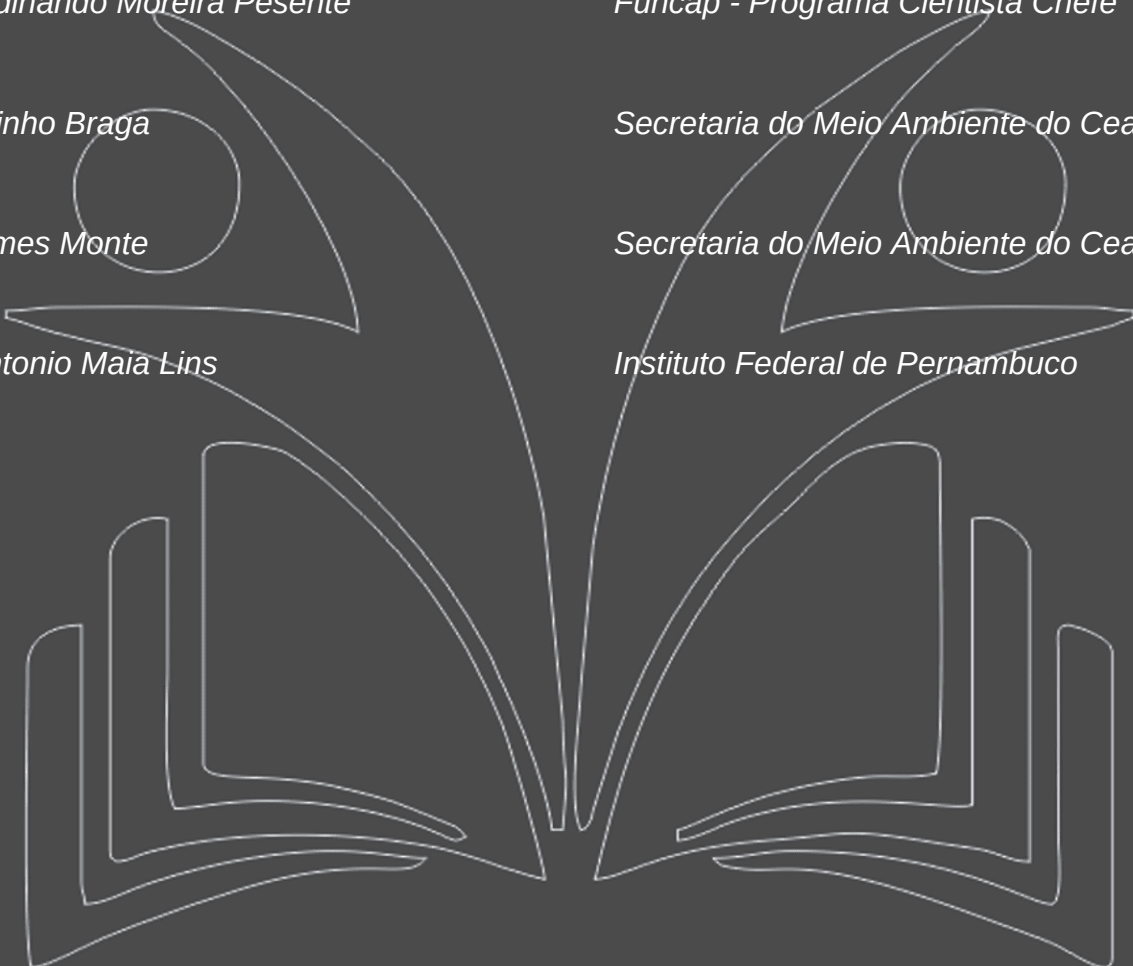
Secretaria do Meio Ambiente do Ceará

Viviane Gomes Monte

Secretaria do Meio Ambiente do Ceará

Eduardo Antonio Maia Lins

Instituto Federal de Pernambuco



Resumo: A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) possibilitou uma visão mais integrada da cadeia de resíduos, abordando a logística reversa, a responsabilidade compartilhada e o correto gerenciamento dos resíduos. Segundo o Relatório Pneumáticos 2020 do IBAMA, em 2019, apenas 15 municípios cearenses possuíam pontos de recebimento de pneus inservíveis. Frente a isso, o Governo do Ceará abriu o Edital de Chamamento nº 02/2020 para a implantação de sistemas de logística reversa de pneus inservíveis. Devido ao fato do serviço atender todos os municípios simultaneamente ser inviável financeiramente para o Estado, torna-se necessária a escolha de localidades estratégicas que consigam receber o maior número possível de pneumáticos e que possibilitem a efetividade do sistema. Diante disso, o presente trabalho objetiva verificar quais municípios são mais estratégicos para a implantação dos "Pontos de Coleta Centrais", considerando-se como parâmetros a frota de veículos, o número de habitantes e o tamanho da Central Municipal de Resíduos (CMR). Utilizou-se a ferramenta Simple Additive Weighting (SAW) com auxílio do software Excel para a verificação dos municípios preferíveis. Como resultado das avaliações, verificou-se quais os 3 municípios mais viáveis para servirem como "Pontos de Coleta Centrais" nos consórcios municipais de gestão de resíduos selecionados, utilizando atributos com os seguintes pesos: 40% para a frota de veículos, 20% para o número de habitantes e 40% para o tamanho da CMR. Constatou-se que os resultados obtidos podem servir como base para direcionar o Governo Estadual ao definir os municípios que possuirão Pontos de Coleta Centrais no sistema de logística reversa de pneus.

Palavras-chave: Logística Reversa, Resíduos Sólidos, Pneus, Simple Additive Weighting, Consórcio Municipal.

INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos é uma atividade ininterrupta, inerente à existência da vida humana. Fato que pôde ser observado em situação extrema de paralisação de atividades diárias de grande parte das pessoas durante a pandemia provocada pelo COVID-19. O Governo do Estado do Ceará, visando a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e da sua Política Estadual de Resíduos Sólidos, tem criado diversos instrumentos legais, programas e projetos voltados para a solução desse problema.

No tocante à responsabilidade compartilhada, trazida pela PNRS, foram elaborados planos e projetos executivos de gestão e manejo de resíduos sólidos. Já para a implantação da logística reversa, especificamente para a cadeia de pneus inservíveis, foi aberto o Edital de Chamamento nº 02/2020. Nele, foram convocadas as empresas responsáveis e outras interessadas a apresentar propostas de sistemas de logística reversa que indicassem ações, procedimentos e meios para viabilizar a coleta e a destinação final ambientalmente adequada de pneus inservíveis no Ceará.

Conforme apresentado no Relatório Pneumáticos 2020 do IBAMA, no Ceará, foram recolhidas cerca de 1.800 toneladas em 2019, referente a 0,30% do total destinado no Brasil, onde existiam 46 pontos de recebimento, atendendo a população de apenas 15 municípios: Acopiara, Boa Viagem, Brejo Santo, Caucaia, Crato, Eusébio, Fortaleza, Horizonte, Iguatu, Itapipoca, Juazeiro do Norte, Maracanaú, Maranguape, Sobral e Tauá. No mesmo documento, identificou-se a presença de duas unidades de destinação final no território, cimenteiras que realizam o coprocessamento de pneus, nos municípios de Sobral e Quixeré.

O estado conta com 184 municípios e uma população maior que 9 milhões de habitantes. Mediante a inviabilidade financeira do atendimento de todos os municípios simultaneamente, se faz necessária a definição de locais estratégicos e prioritários, que possam receber e acumular a maior quantidade possível de pneus, garantindo a sustentabilidade dos sistemas. Para isso, alguns parâmetros de seleção devem ser estabelecidos.

A infraestrutura usualmente é um dos fatores limitantes em critérios de seleção. Sobre isso, é importante mencionar que o Estado do Ceará vem implementando, desde 2018, os Planos de Coletas Seletivas Múltiplas para todos os seus municípios. Os planos representam uma ferramenta chave para a implantação da "Política pré-aterro", fomentada pelo Governo, a qual prevê redução gradual da disposição de resíduos orgânicos e recicláveis em aterros sanitários ou lixões (SEMA, 2018). Neles há

projetos executivos de infraestrutura para o manejo dos resíduos recicláveis e orgânicos, chamada Central Municipal de Resíduos (CMR).

Os municípios foram separados por região, consolidando-os em consórcios públicos de gestão integrada de resíduos, no intuito de ratear os custos da gestão de resíduos e de proporcionar melhor suporte e diretrizes estaduais. Todo o complexo estrutural a ser construído, juntamente às políticas públicas, induzem a cooperação mútua dos gestores municipais, dos consórcios de resíduos e de associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis, com a formação de parcerias entre sociedade civil, poder público e iniciativa privada.

OBJETIVOS

O presente trabalho busca analisar quais municípios de determinadas regiões são mais estratégicos para possuírem os denominados "Pontos de Coleta Centrais"; espaços para acumulação, transbordo e coleta de pneus inservíveis, visto que há apenas duas unidades de destinação final no território cearense e que é de suma importância um sistema de logística reversa eficiente. Além disso, objetiva-se verificar brevemente se há influência direta e proporcional do número de habitantes na frota de veículos dos municípios selecionados.

METODOLOGIA

A ferramenta utilizada para a verificação dos municípios mais estratégicos, conforme o estabelecimento de alguns parâmetros, foi a Simple Additive Weighting (SAW), com o auxílio do software Excel. Tal estudo foi realizado em algumas regiões do estado que atualmente não são atendidas pelo sistema de logística reversa pré existente.

O Simple Additive Weighting (SAW) é um método frequentemente utilizado em decisões técnicas considerando atributos múltiplos. Uma pontuação é calculada para cada alternativa, considerando o valor escalado dado para cada atributo, os pesos de importância relativa atribuídos pelo tomador de decisão à cada variável e a soma dos produtos para todos os critérios. A vantagem deste método é que há uma transformação linear proporcional dos dados brutos, logo a ordem de grandeza relativa das pontuações padronizadas permanece igual (AFSHAR; MOJAHED; YUSUFF, 2010).

Foram consideradas como variáveis de avaliação a frota de veículos, o número de habitantes e o tamanho da Central Municipal de Resíduos (CMR) de cada município, com a atribuição dos pesos respectivos de 40%, 20% e 40%.

Foram avaliados os municípios das regiões: Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos da Região Litoral Norte, Consórcio de Manejo de Resíduos Sólidos da Região da Chapada da Ibiapaba, Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos da Região Sertão de Crateús, Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos da Região Sertão de Crateús 2, Consórcio Público de Manejo de Resíduos Sólidos do Sertão de Inhamuns, Consórcio Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – Comares Crato, Consórcio Regional de Resíduos do Alto Jaguaribe, Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos da Região Sertão Centro Sul, Consórcio de Desenvolvimento da Região do Sertão Central Sul e Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos da Região do Sertão Central. Para demonstrar os cálculos das preferências, foi utilizado como exemplo o Consórcio Público de Manejo de Resíduos Sólidos do Sertão de Inhamuns, apresentados na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Parâmetros considerados e seus respectivos valores por município da região.

Consórcio Público de Manejo de Resíduos Sólidos do Sertão de Inhamuns	População	Frota de veículos	CMR (m ²)
Aiuaba	17.584	3.233	7.500
Arneiroz	7.848	1.992	7.500
Parambu	31.391	11.379	10.000
Quiterianópolis	21.246	7.509	7.500
Tauá	59.259	25.925	12.000

Fonte: IBGE, 2020; SENATRAN, 2020; SEMA, 2021.

Para cada parâmetro (População, Frota de veículos e CMR) foi calculada uma nota normalizada, tendo como referência a sua ordem de grandeza e o seu valor em relação aos outros do mesmo atributo. Utilizou-se esse método para permitir a comparação entre os municípios da mesma região.

$$\text{Nota Normalizada} = (\text{Valor correspondente} / \text{Valor mais favorável}) \quad \text{equação (1)}$$

A equação 1 demonstra a fórmula para se calcular a nota normalizada para os parâmetros avaliados, que são critérios positivos. Por exemplo, na Tabela 1, na coluna “Frota de Veículos”, o valor mais favorável para a escolha do local para ser um “Ponto de Coleta Central” de pneus é o de Tauá, com 25.925 veículos, pois quanto mais pneus houver no município, maior será a demanda por um ponto de coleta. Logo, após a normalização, todos os outros valores desse parâmetro ficaram em função desse valor. A Tabela 2 demonstra as notas de cada variável após o processo normativo.

Tabela 2. Notas normalizadas considerando os parâmetros avaliados

Consórcio Público de Manejo de Resíduos Sólidos do Sertão de Inhamuns	População	Frota de Veículos	CMR (m²)
Aiuaba	0,297	0,125	0,625
Arneiroz	0,132	0,077	0,625
Parambú	0,530	0,439	0,833
Quiterianópolis	0,359	0,290	0,625
Tauá	1,000	1,000	1,000

Fonte: Autores do Trabalho, 2022.

$$\text{Preferência} = ((\text{Nota Normalizada População} * 0,2) + (\text{Nota Normalizada Frota de Veículos} * 0,4) + (\text{Nota Normalizada CMR} * 0,4)) \quad \text{equação (1)}$$

Por fim, utilizou-se a equação 2 para calcular a preferência de cada município para se tornar um “Ponto de Coleta Central” de pneus, considerando todos os parâmetros avaliados e o respectivo peso de cada um. É possível visualizar, na Tabela 3, os valores e as ordens de preferências de cada localidade.

Tabela 3. Preferências calculadas dos municípios considerando os parâmetros avaliados.

Consórcio Público de Manejo de Resíduos Sólidos do Sertão de Inhamuns	Valor da Preferência	Ordem de preferência
Aiuaba	0,359	4º
Arneiroz	0,307	5º
Parambú	0,615	2º
Quiterianópolis	0,438	3º
Tauá	1,000	1º

Fonte: Autores do Trabalho, 2022

Portanto, a partir dos cálculos realizados, pode-se verificar que os 3 municípios preferíveis para a implantação de um Ponto de Coleta Central são, em ordem decrescente, Tauá, Parambu e Quiterianópolis, na região do Consórcio Público de Manejo de Resíduos Sólidos do Sertão de Inhamuns.

RESULTADOS

Conforme objetivou o presente trabalho, obtiveram-se resultados satisfatórios, dos quais foram eleitos os 3 municípios mais estratégicos por região para implantar-se um “Ponto de Coleta Central” de pneus. A Tabela 4, abaixo, nos mostra os resultados com as ordens e valores de preferência dos municípios da mesma região. Os municípios preferíveis para se instalar um “Ponto de Coleta Central” são: Camocim, São Benedito, Ipu, Crateús, Juazeiro do Norte, Tauá, Iguatu, Icó, Acopiara e Quixadá.

Tabela 4. Resultados obtidos

Consórcio Litoral Norte		Consórcio da Chapada da Ibiapaba	
1º Camocim	1,000	1º São Benedito	0,955
2º Acaraú	0,945	2º Viçosa do Ceará	0,915
3º Granja	0,713	3º Guaraciaba do Norte	0,825
Consórcio do Sertão de Crateús		Consórcio do Sertão de Crateús 2	
1º Ipu	0,993	1º Crateús	1,000
2º Santa Quitéria	0,989	2º Novo Oriente	0,486
3º Ipueiras	0,888	3º Independência	0,464
Consórcio do Crato		Consórcio do Sertão de Inhamuns	
1º Juazeiro do Norte	1,000	1º Tauá	1,000
2º Crato	0,670	2º Parambu	0,615
3º Barbalha	0,415	3º Quiterianópolis	0,438
Consórcio do Alto Jaguaribe		Consórcio do Sertão Centro Sul	
1º Iguatu	1,000	1º Icó	1,000
2º Jucás	0,302	2º Várzea Alegre	0,617
3º Quixelô	0,224	3º Lavras da Mangabeira	0,448
Consórcio do Sertão Central Sul		Consórcio do Sertão Central	
1º Acopiara	1,000	1º Quixadá	1,000
2º Pedra Branca	0,917	2º Quixeramobim	0,819
3º Mombaça	0,797	3º Banabuiú	0,244

Fonte: Autores do Trabalho, 2022.

Verificou-se também, a partir da compilação dos resultados obtidos, que a interação entre população e frota de veículos nem sempre se deu de forma diretamente proporcional, reforçando a escolha dos pesos diferentes a serem atribuídos aos parâmetros avaliados.

custos e a otimização de recursos ambientais, além da redução de focos de vetores de doenças e do descarte irregular de pneus a céu aberto. Também se espera que, após o firmamento dos Termos de Compromisso com as empresas concorrentes ao Edital nº 02/2020, haja um aumento da quantidade de pneus enviados para reciclagem, seja ela física ou energética.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se a introdução de mais parâmetros no processo avaliativo, como melhor rota, distância entre as cidades e pontos de destinação final e também a existência e/ou condição das estradas. Desse modo, é possível obter resultados que consideram mais fatores importantes para um sistema de logística reversa eficiente e que traduzem de maneira mais fidedigna as condições reais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alireza Afshari, Majid Mojahed and Rosnah Mohd Yusuff, "Simple Additive Weighting approach to Personnel Selection problem," *International Journal of Innovation, Management and Technology* vol. 1,no.5,pp.511515,2010.Disponível em:https://www.researchgate.net/publication/285828294_Simple_Additive_Weighting_Approach_to_Personnel_Selection_Problem. Acesso em: abril de 2022.
2. BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Frota de veículos - 2020. Governo Federal, 2020. Disponível em:<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frotadeveiculos-2020>. Acesso em março de 2022.
3. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 416, de 30 de setembro de 2009. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada.
4. BRASIL. Lei 12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 ago. 2010.
5. Secretaria do Meio Ambiente - SEMA. 2018. Planos de Coleta Seletiva Múltiplas. Disponível em:<https://www.sema.ce.gov.br/residuos-solidos/projeto-de-implementacao-das-coletas-seletivas-multiplas>. Acesso em: março de 2022
6. IBGE. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2020. IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados> Acesso em: março de 2022.
7. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, RELATÓRIO PNEUMÁTICOS 2020 RESOLUÇÃO CONAMA Nº 416/09, 2020. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/p_hocadownload/pneus/relatoriopneumaticos/20210303%20IbamaRelatorio_Pneumaticos_2020_completo_com_capa___terceira_versao.pdf. Acesso em: março de 2022.
8. Putra, Dede & Punggara, Adrian. (2018). Comparison Analysis of Simple Additive Weighting (SAW) and Weighed Product (WP) In Decision Support Systems. *MATEC Web of Conferences*. 215. 01003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328329838_Comparison_Analysis_of_Simple_Additive_Weighting_SAW_and_Weighed_Product_WP_In_Decision_Support_Systems. Acesso em: abril de 2022.

Capítulo 4



10.37423/220706327

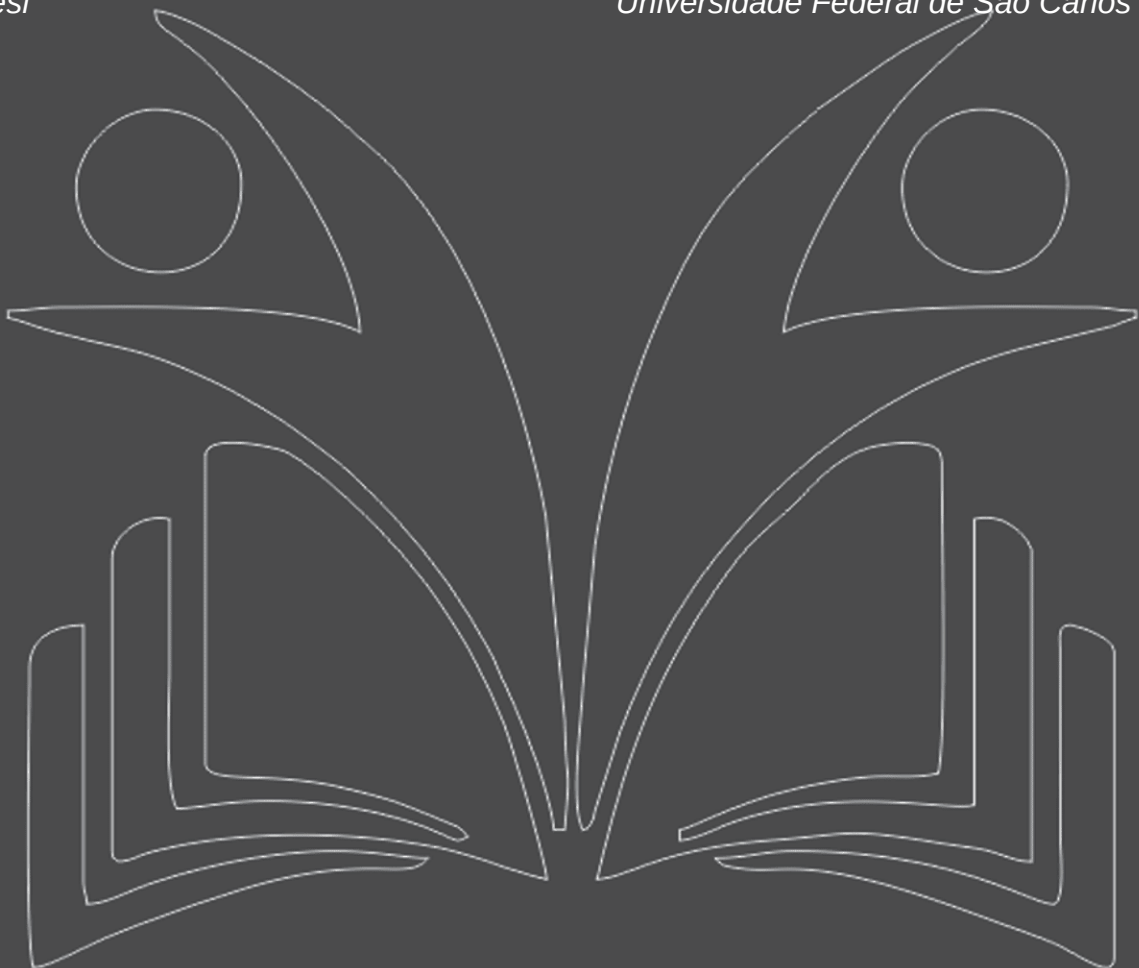
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR MEIO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Renata Cereda

Universidade Federal de São Carlos

Érica Pugliesi

Universidade Federal de São Carlos



Resumo: A técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA) permite analisar o panorama atual da gestão resíduos sólidos, tanto para um município específico, como para uma bacia hidrográfica, um estado ou até mesmo para todos os estados da federação. Essa pesquisa objetiva analisar a capacidade de evitar desperdício de recursos e tempo de um dos instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): o plano de resíduos sólidos. DEA é uma técnica não-paramétrica que utiliza a programação linear para calcular e comparar as eficiências de diferentes sistemas produtivos, por meio da construção de uma fronteira de eficiência. Será utilizado como implementação computacional o Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD) que permitirá analisar a eficiência das Unidades Tomadoras de Decisão (Decision Making Unit – DMU). Serão mensuradas a relação das saídas pelas entradas, cujo objetivo é de estabelecer um sistema de monitoramento com indicadores que contribuam para redução da poluição, para a preservação dos recursos naturais, redução da quantidade de resíduos em aterros e promova ações sobre a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos Sólidos, Planos de Resíduos Sólidos, Análise Envoltória de Dados, Sistema Integrado de Apoio à Decisão.

INTRODUÇÃO

Há mais de 10 anos de sancionada a Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentada por meio do Decreto nº 7.404/2010. O desenvolvimento econômico e tecnológico ante o crescimento da produção contribui para o aumento da quantidade e diversidade de resíduos sólidos.

Em meio a pandemia Covid-19, na qual historicamente estamos presenciando, os resíduos sólidos tem sido um bem econômico, de valor social, gerador de trabalho e renda. O gerenciamento desses resíduos torna-se parte fundamental na cadeia de recuperação de recursos (FIDELIS E COLMENERO, 2017).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispõe de princípios, objetivos e instrumentos, bem como diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos. De acordo com a PNRS deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

O que incumbe ao Distrito Federal e aos municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados em seus respectivos territórios. Um dos instrumentos da PNRS são os planos de resíduos sólidos que assegura ampla publicidade ao conteúdo, bem como controle social em sua formulação, implementação e operacionalização (BRASIL, 2010).

Para analisar o enfrentamento dessa questão de Resíduos Sólidos, essa pesquisa abordará uma técnica de Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis - DEA) que mede a eficiência das Unidades Tomadoras de Decisão (Decision Making Unit – DMU) ou seja será atribuído um score para cada DMU (VIEIRA, 2019).

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma técnica não-paramétrica que utiliza a programação linear para calcular e comparar as eficiências de diferentes sistemas produtivos, seja de bens ou de serviços, através da construção de uma fronteira de eficiência (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

A técnica de programação linear é utilizada para calcular o peso que cada variável exerce sobre o resultado. O peso estimado irá maximizar a eficiência das unidades (DMU) analisadas (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

A eficiência pode ser determinada pela capacidade de evitar desperdício de recursos e tempo, para que seja produzido um resultado determinado. Matematicamente, trata-se da mensuração da relação das saídas ou outputs (aquilo que deveria ser produzido ou objetivo a ser atingido) pelas entradas ou

inputs (recursos utilizados para atingir os objetivos especificados). O que permitirá identificar nas organizações tanto públicas como privadas, suas principais dificuldades e propor metas para que a DMU avaliada atinja a fronteira de eficiência (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

Como implementação computacional para a Análise Envoltória de Dados será utilizado um software SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão que permite inserir até 100 DMU's e 20 variáveis, entre inputs e outputs (MELLO et al, 2003).

OBJETIVOS

OBJETIVOS GERAIS

Esta pesquisa tem por objetivo geral avaliar os serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), fazendo uso da técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA) que determina a eficiência de Unidades Tomadoras de Decisão (DMU) atribuindo um score para cada unidade avaliada. A princípio o objeto de análise será o Município de Araraquara – SP, podendo se estender a mais Municípios da região ou da mesma Bacia Hidrográfica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir quais DMU's serão analisadas;
- Determinar quais os pesos dos inputs e outputs relevantes as DMU's selecionadas;
- Aplicação da técnica DEA para o cálculo de eficiência por meio da utilização de um software de Sistema Integrado de Apoio à Decisão – SIAD;
- Analisar os resultados obtidos e avaliar como está a situação atual da aplicação e as barreiras da legislação vigente quanto à gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

LEGISLAÇÃO E RESÍDUOS SÓLIDOS

A PNRS torna-se um marco regulatório no setor, integrando a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal nº 6938/1981), articulando-se com a Lei Federal de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/07), com desdobramentos nas Leis Federais de Consórcios Públicos (Lei nº 11.107/05); de Parceria Público-Privada (Lei nº 11.079/04); do Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/01), e da Lei de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/99), entre outras afins (ARARAQUARA,2013).

Os resíduos sólidos também são aplicados às normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO) (BRASIL, 2010).

Neste contexto, a PNRS dispõe de princípios, objetivos e instrumentos, bem como diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos. Com destaque especial para o princípio da responsabilidade compartilhada, que deverá, conforme previsto em lei, adotar a prática da logística reversa e proceder à análise do ciclo de vida de seus produtos, desde a extração dos insumos para gerar os artefatos, passando pelo consumo, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição, com o devido controle social (ARARAQUARA, 2014).

Estão sujeitos à observância desta Lei, as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

De acordo com a PNRS os resíduos sólidos são definidos como:

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 técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Um dos instrumentos da PNRS são os planos de resíduos sólidos que têm como principal objetivo subsidiar o planejamento e a gestão de resíduos sólidos nas esferas Federal, Estadual e Municipal. Sendo considerados condição fundamental para Estados e Municípios terem acesso a recursos da União, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade, bem como a recursos do Fundo Estadual de Prevenção e Controle da Poluição (BRASIL, 2010).

Serão priorizados no acesso aos recursos da União os Municípios que optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão de resíduos sólidos, implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (BRASIL, 2010).

São planos de resíduos sólidos:

- a) O Plano Nacional de Resíduos Sólidos;
- b) Os planos estaduais de resíduos sólidos;
- c) Os planos microrregionais de resíduos sólidos e os planos de resíduos sólidos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas;
- d) Os planos intermunicipais de resíduos sólidos;
- e) Os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos;
- f) Os planos de gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

A existência de um PMGIRS não exime o município ao licenciamento ambiental de aterros sanitários e de outras infraestruturas e instalações operacionais integrantes ao serviço público de limpeza e manejo de resíduos sólidos. O PMGIRS será disponibilizado para o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos (SINIR), na forma de regulamento (BRASIL, 2010).

ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS - DEA

A Análise Envoltória de Dados surgiu a partir do trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes (1978), quando eles tentavam comparar a eficiência de escolas americanas que se distinguiam por ter ou não aderido a um programa de acompanhamento discente criado por Rhodes. A dificuldade do trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes eram a de estabelecer pesos adequados a cada uma das variáveis do meio escolar (número de professores, notas dos alunos, saúde mental dos discentes, número de laboratórios, horas/aula etc.), essa inserção de pesos com base apenas no julgamento do decisor poderia comprometer toda a confiabilidade dos resultados (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

Diante de tal fato, Rhodes começou a pesquisar formas de calcular a eficiência destas instituições de ensino de forma que seus resultados obtivessem maior grau de confiabilidade e aceitação. Em suas pesquisas Rhodes deparou-se com a pesquisa de Farrel (1957) que estabelecia os pressupostos básicos para calcular a eficiência através da criação de uma fronteira (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) baseando-se na pesquisa de Farrel (1957) atribuirão novos aspectos ao modelo e então surgiu a Análise Envoltória de Dados, do inglês Data Envelopment Analysis conhecida por DEA (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

A Análise Envoltória de Dados trata-se de um conjunto de operações matemáticas que utiliza a programação linear, não paramétrica para calcular e comparar as eficiências de diferentes sistemas produtivos, seja de bens ou de serviços, através da construção de uma fronteira de eficiência. Essa técnica de programação linear, estima peso às variáveis que maximizam as eficiências das unidades

analisadas, que na DEA são chamadas de DMU (Decision Making Units). Portanto, cada DMU, tem a sua eficiência maximizada (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018)

Para compreender o que é eficiência e quais os modelos DEA existentes. Os subitens a seguir apresentará alguns conceitos fundamentais.

CONCEITO DE EFICÁCIA

Eficácia segundo o dicionário de português pode ser entendida como capacidade de desenvolver tarefas ou objetivos de modo competente. Mello et al. (2005) diz que a eficácia está ligada apenas ao que é produzido, sem levar em conta os recursos usados para produção, ou seja eficácia é a capacidade de uma unidade produtiva atingir a produção.

CONCEITO DE PRODUTIVIDADE

Produtividade pode ser compreendida pela razão entre o que foi produzido em quantidade (outputs) e o que foi gasto para produzir (inputs) (MELLO et al., 2005).

CONCEITO DE EFICIÊNCIA

Eficiência segundo o dicionário de português é a capacidade de realizar tarefas ou trabalhos de modo eficaz e com o mínimo de desperdício. Mello et al. (2005) diz que eficiência é um conceito relativo, pois compara o que foi produzido (outputs) com os recursos disponíveis (inputs) com o que poderia ser produzido (outputs) dada a mesma quantidade de recursos (inputs).

Para compreender como os conceitos de eficácia, produtividade e eficiência estão correlacionados, a abordagem DEA apresenta uma técnica para a comparação de eficiências.

A Figura 1 representa, três unidades produtivas (A, B e C) e suas respectivas eficiências (inputs/outputs), o gráfico demonstra o quanto de insumos foram utilizados para produzir as saídas. A Curva S é denominada de fronteira de eficiência (VIEIRA, 2019).

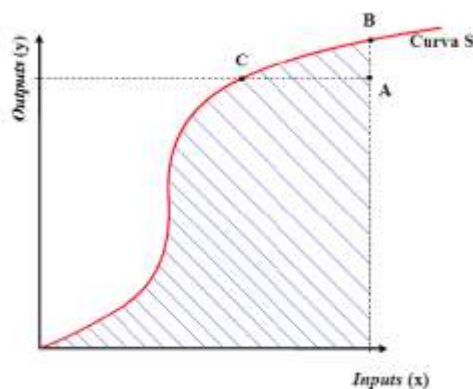


Figura 1 - Representação da Fronteira de Eficiência. Fonte: Vieira (2019).

Nota-se, que as unidades produtivas B e C são unidades consideradas eficientes, pois estão localizadas na Curva S (Fronteira da Eficiência) e a região abaixo desta curva é denominada de ineficientes (MELLO et al., 2005).

A Figura 2 compara os coeficientes angulares das três unidades produtivas entre a origem O e os pontos A, B e C, observa-se que apenas a unidade C é a mais produtiva por possuir o maior coeficiente angular possível. Na técnica DEA as unidades produtivas são denominadas de Unidades Tomadoras de Decisão (MELLO et al., 2005).

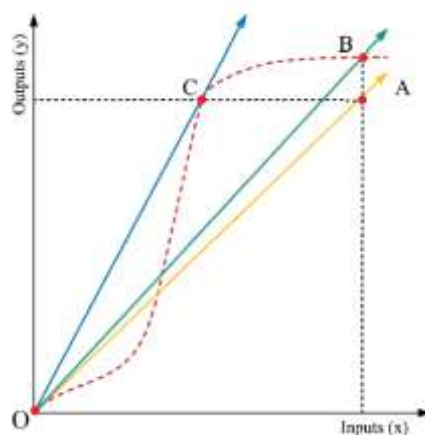


Figura 2 - Relação entre os conceitos de Produtividade e Eficiência. Fonte: Mello et al. (2005).

Para que uma unidade (DMU) ineficiente alcance a fronteira de eficiência, existem duas formas:

1. a redução de recursos (Inputs);
2. o aumento dos produtos (Outputs).

Na Figura 3 a unidade P precisa reduzir os Inputs para se obter uma eficiência igual da unidade B. Ou, se preferir podem aumentar os Outputs para se obter uma eficiência igual da unidade D (MELLO et al., 2005).

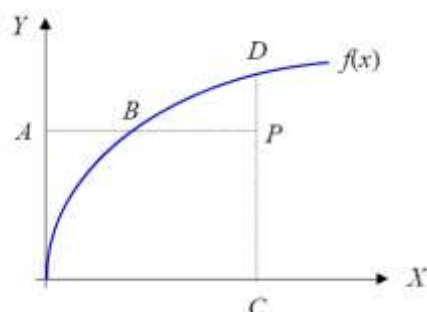


Figura 3 – Alcance da Fronteira de Eficiência. Fonte: Mello et al. (2005).

Utilizando-se a Analise Envoltória de Dados como economia de um recurso e de um produto, a Figura 4 aborda um caso particular em que a Fronteira da Eficiência é uma reta que passa pela origem e de declividade igual a produtividade (MELLO et al., 2005).

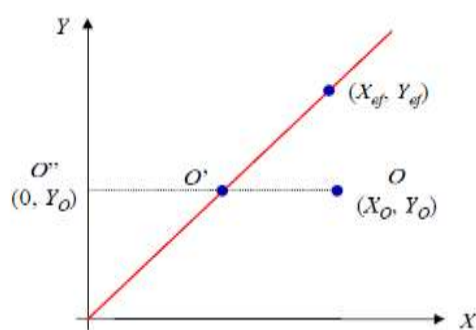


Figura 4 – Exemplo com input e output únicos. Fonte: Mello et al. (2005).

De acordo com Barbosa e Fuchigami (2018) a DMU eficiente é representada pelo ponto de coordenada (X_{ef}, Y_{ef}) , o ponto O é uma DMU ineficiente, e que para atingir a eficiência precisa reduzir seus inputs mantendo os outputs ou, mantendo-se os inputs, aumentar seus outputs.

MODELOS DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS - DEA

Os modelos DEA compartilham entre si algumas propriedades, como:

- a) em qualquer modelo DEA, cada DMU determina seu respectivo conjunto de pesos, de modo que a torne a melhor opção viável dentre as demais, é possível que cada DMU possua um conjunto de pesos distintos;
- b) os modelos DEA não variam com a escala de medida utilizada, independente da unidade utilizada seu resultado não será modificado, por exemplo, usar m^2 ou km^2 para uma área;

c) independente do modelo, a DMU que representar o melhor resultado entre os inputs e outputs será sempre considerada como eficiente;

d) a seleção prévia das variáveis a serem utilizadas na abordagem DEA independem da escolha do modelo (VIEIRA, 2019).

MODELO CCR (CRS)

O modelo de Retorno Constante (CRS) tem como propriedade principal a proporcionalidade entre inputs e outputs na fronteira, ou seja, o aumento na quantidade dos inputs, provocará acréscimo proporcional no valor dos outputs. Esse modelo permite que cada DMU escolha os pesos para cada variável (entrada ou saída), porém os pesos aplicados às outras DMU's devem gerar uma razão inferior a 1 (MELLO et al., 2005).

MODELO BBC (VRS)

O modelo de Retorno de Escala Variável (VRS) significa que quando há um aumento das entradas espera-se que resulte em um aumento desproporcional nos outputs. Sua aplicação pode significar uma correlação significativa entre o tamanho da DMU e sua eficiência em um conjunto grande de DMU's (VIEIRA, 2019).

Mello et al. (2005) diz que o modelo BCC permite que DMU's que operam com baixos valores de inputs tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala.

SISTEMA INTEGRADO DE APOIO À DECISÃO – SIAD

O Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD) foi desenvolvido por (Angulo Meza et al., 2004), o objetivo desse sistema é de calcular as eficiências de cada DMU. Este software estabelece as unidades benchmarks (ineficientes), também as folgas de cada DMU e retorna uma tabela com os pesos que foram atribuídos a cada uma das variáveis.

Nessa pesquisa utilizaremos uma versão do software disponibilizada através do site <http://www.professores.uff.br/joaocsmello/>, o sistema foi desenvolvido em Delphi 7.0 e deve ser usado em uma plataforma Windows, ele permite inserir até 100 DMU's e 20 variáveis, entre inputs e outputs. A Figura 5 apresenta a tela inicial do Software SIAD v3.0.

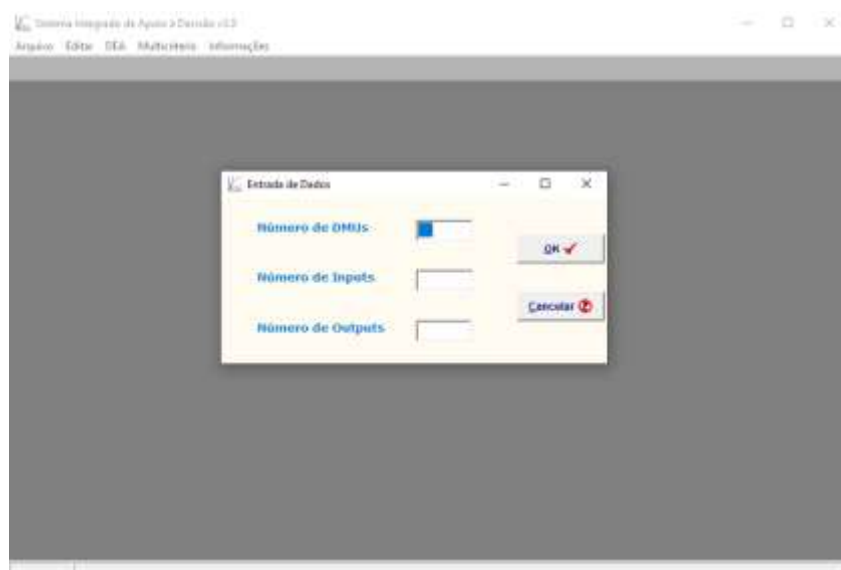


Figura 5 – Tela inicial SIAD v3.0. Fonte: Autora do trabalho

METODOLOGIA

DEFINIÇÃO DAS DMU'S A SEREM UTILIZADAS

Para determinar o conjunto de DMU's que serão utilizadas, elas devem possuir o mesmo objetivo, trabalhar nas mesmas condições de mercado e ter autonomia na tomada de decisão.

DETERMINAÇÃO DOS PESOS DOS INPUTS E OUTPUTS

A determinação das variáveis de entrada e saída deve ser feita a partir do PMGIRS do município de Araraquara. Os inputs e outputs selecionados podem ser variáveis contínuas, ordinais ou categóricas, como também podem ser medidas em diferentes unidades como por exemplo: monetária, temporal e dimensional (VIEIRA,2019).

APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DEA POR MEIO DO SOFTWARE SIAD

Após a definição das DMU's a serem utilizadas e a determinação dos pesos para cada DMU iremos inserir os dados no software SIAD. A inserção será realizada de forma manual e por meio de registros obtidos de dados sobre Resíduos Sólidos do município de Araraquara.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Espera-se com essa pesquisa obter resultados que possibilitem os gestores verificar a eficiência das Unidades selecionadas, na questão de Resíduos Sólidos.

A Análise Envoltória de Dados colabora na tomada de decisões, pois a aplicação dessa técnica atribuindo pesos às variáveis resultam em dados mais próximo possível da realidade - o que traz uma confiabilidade a esse método.

CONCLUSÃO

Serão analisados os resultados da aplicação do modelo DEA selecionado, dos métodos para a gestão dos resíduos sólidos urbanos, a aplicação do método para este contexto, as limitações do método, quais os benefícios e as dificuldades encontradas, como está a situação dos Resíduos Sólidos no âmbito municipal, se o município está atendendo às normas e legislação vigente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARARAQUARA. Plano Municipal de Saneamento Básico. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - Departamento Autônomo de Água e Esgotos. Araraquara, SP, 2013.
2. ARARAQUARA. Plano Municipal de Saneamento Básico. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - Departamento Autônomo de Água e Esgotos. Araraquara, SP, 2014.
3. BARBOSA, F.C., FUCHIGAMI, H.Y. Análise Envoltória de Dados: Teoria e Aplicações práticas. 1ªed. Itumbiara. Goiás, 2018.
4. BRASIL. Decreto nº 7.404, de 02 de agosto de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305. Brasília, Brasil. D.O.U. DE 23/12/2010.
5. BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, Brasil. D.O.U. DE 03/08/2010.
6. FIDELIS, R., COLMENERO, J.C. Avaliar o desempenho das cooperativas de reciclagem em suas atividades operacionais na cadeia de reciclagem. Londrina, Brasil, 2017.
7. MELLO, J.C.C.B.S. et al. SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão: Uma implementação computacional de modelos de Análise de Envoltória de Dados. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/256373425_SIAD_Sistema_Integrado_de_Apoio_a_Decisao_uma_implementacao_computacional_de_modelos_de_analise_de_envoltoria_de_dados. Acesso em 05 de agosto de 2021.
8. SISTEMA INTEGRADO DE APOIO A DECISÃO (SIAD) – Software v3.0. Disponível em: <http://www.professores.uff.br/joaocsmello/>. Acesso: 09 de agosto de 2021.
9. VIEIRA, K.S. Análise da Eficiência do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. Caruaru PE, 2019. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/34082/1/DISSERTA%20Keilane%20dos%20Santos%20Vieira.pdf>. Acesso em 30/07/2021.

Capítulo 5



10.37423/220706331

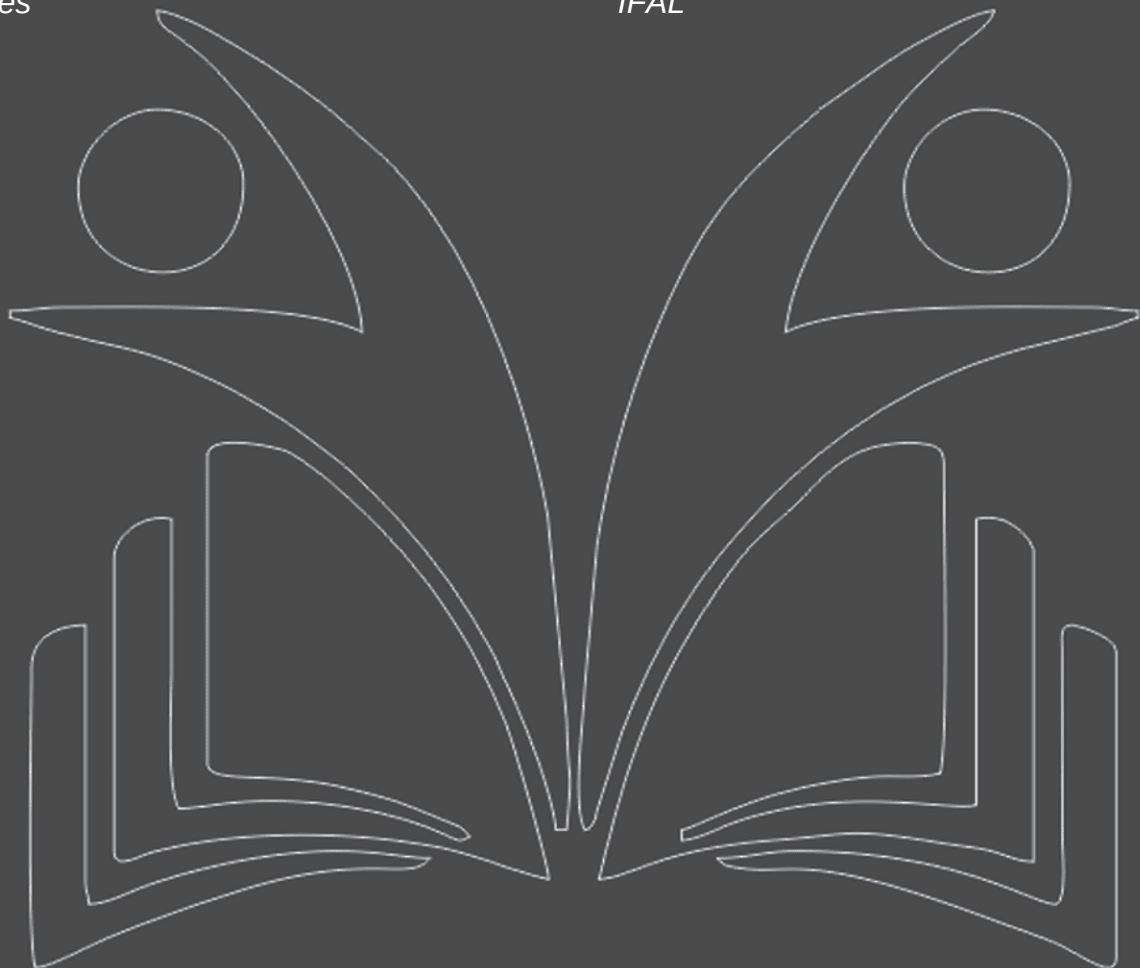
A CIDADANIA SUSTENTÁVEL EMBASADA NA ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Leonides Mello

IFAL; UNCISAL

Vagna Torres

IFAL



Resumo: Este artigo apresenta resultados de uma pesquisa etnográfica realizada no centro da cidade de Maceió, Alagoas, que teve como objetivo levantar dados sobre catadores de lixo – especificamente papelão –, seus problemas e anseios. Em um segundo momento, tem-se como finalidade apresentar estratégias para melhorar a qualidade de vida desses catadores de lixo, por meio de um programa de Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT), inspirado em CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade, que tem como eixos norteadores a cidadania, a sustentabilidade e o sistema de logística reversa. O artigo, aqui apresentado, encontra-se fundamentado em teóricos da ACT, CTS e sustentabilidade, bem como em uma pesquisa etnográfica realizada com os catadores, no centro de Maceió. Com base nos dados teóricos e na pesquisa in loco, foi possível elaborar um programa de ACT, voltado às necessidades do grupo em estudo, por meio de uma educação não formal, onde a cidadania e a sustentabilidade estarão presentes, nas aulas e palestras a serem ministradas, considerando a sua importância para o grupo pesquisado. **Palavras-chave:** alfabetização científica e tecnológica, qualidade de vida, sistema de logística reversa, sustentabilidade.

1. Introdução O artigo aqui apresentado é parte de um projeto de extensão do Instituto Federal de Alagoas - IFAL, na cidade de Maceió, ainda em fase de desenvolvimento, mas com alguns resultados consistentes aqui relatados. Trata-se de uma investigação qualitativa, de caráter etnográfico, realizado junto a um grupo de catadores de lixo, especificamente papelão, no centro da cidade de Maceió. Procurou-se conhecer e analisar a realidade destes catadores tendo em vista: a) desenvolver com eles um Programa de ACT visando o exercício da cidadania; b) estabelecer um diálogo entre o trabalho do grupo pesquisado e a educação em ciências de inspiração CTS. O foco deste Programa será a sustentabilidade como meio de exercício da cidadania, utilizando como ferramenta a ACT de cunho CTS. Nesta perspectiva, a escola passa a ser entendida não como um espaço de transmissão de saberes alheios aqueles catadores de papelão, mas sim como potencializadora dos saberes/poderes daquele grupo. Para se traçar um perfil individual e coletivo dos catadores, foram realizadas entrevistas abertas com 6 (seis) catadores – perfaz 60% do grupo –, com os quais foi possível, mediante as análises, buscar respostas para a pergunta norteadora da pesquisa: como a Alfabetização Científica e Tecnológica oferece possibilidades de exercício da cidadania a um grupo de catadores de lixo, levando em consideração os aspectos que envolvem a relação entre sustentabilidade, trabalho e conhecimentos científicos e tecnológicos? A Alfabetização Científica, segundo Chassot (2003), é o conjunto de conhecimentos que não apenas ajuda homens e mulheres a fazerem uma leitura do mundo onde vivem mas, também, a entenderem a necessidade de transformá-lo em uma sociedade melhor. Foi considerando esta perspectiva que se acreditou na possibilidade de desenvolver um Programa de ACT junto ao grupo de catadores de lixo. Desse modo,

então, pode-se aliar a riqueza cultural dos saberes adquiridos (populares) ao conhecimento científico e tecnológico, apresentando possibilidades para o exercício da cidadania. O Estado de Alagoas é um espaço privilegiado pela natureza e valorizado por seus habitantes, no entanto, é esquecido pelos poderes públicos. Essa realidade tem gerado imensa desigualdade econômica proveniente dos grandes latifúndios nas mãos de pouquíssimas famílias. Segundo Carvalho (1982), Alagoas possui recursos hidrográficos bastante favoráveis, aliados a um solo fértil, relevo ISBN 978-85-62830-10-5 VII CONNEPI©2012 propício, clima quente e úmido na maior parte do ano, com menor semi-aridez que o predominante nos demais estados nordestinos. Para esse mesmo autor, essas condições fazem desse Estado excelente local para moradia, transformando-o em um dos Estados brasileiros de maior concentração demográfica. Todavia, contrariando quaisquer expectativas de desenvolvimento em um Estado tão promissor, um diagnóstico, elaborado pelo Instituto de Estudos do Trabalho e Sociedade - IETS (2005) constatou que “Alagoas é o Estado mais pobre desta nação, possui a menor renda real média e a maior proporção de pobres” (URANI, 2005, p. 2) de toda região brasileira. Ficou também comprovado que seus indicadores educacionais apontam para um crescimento inexpressivo nas últimas décadas e sua possibilidade de crescimento e melhoria na área da Educação está longe de atingir o patamar desejado. Tomando como referência os Resultados Preliminares do Universo do Censo Demográfico 2010 (BRASIL, 2010, p. 1), Alagoas possui 44,2% de sua população com idades entre 20 a 60 anos na condição de alfabetizados. Dessa forma, 55,8% da população, nessa faixa etária, não se encontram alfabetizados. Outro ponto que merece atenção e cuidados é o mercado de trabalho da região, que se encontra “extremamente desestruturado e vulnerável a choques de todos os tipos” e, ainda, sem vislumbrar perspectivas de expansão, pois não existem possibilidades de crescimento para um estado onde a educação não representa prioridade e o analfabetismo decresce a ritmos imperceptíveis (URANI, 2005, p. 2). Ainda, no mesmo relatório, encontramos informações de que as taxas percentuais de acesso a água encanada e esgotamento sanitário, em relação ao número de domicílios, reduzem-se a menos da metade, situação calamitosa para a saúde pública. Tem-se, aí, uma razão para se compreender o crescente aumento da mortalidade infantil, aliada a uma das menores expectativas de vida do país. Enfim, os indicadores de qualidade de vida – nível de escolaridade e acesso a água canalizada e a esgotamento sanitário – despencaram no Estado, pela irresponsabilidade de governantes inescrupulosos, descompromissados com a população alagoana, incapazes de adotar medidas saneadoras e implementar políticas públicas capazes de minimizar esse quadro. Índices desastrosos, como os apontados acima, fazem do alagoano um grupo de excluídos socioeconômico e profissionalmente, devido aos mais baixos índices de Desenvolvimento Humano (IDH) vigentes no país

(URANI, 2005). Lembramos que o IDH representa a medida comparativa que engloba três dimensões: renda, taxa de alfabetização e longevidade de uma população. A sujeição a qual alguns grupos de excluídos são submetidos, seja por meio da vontade de terceiros ou de membros do próprio grupo, atualmente tendem a encontrar resistências, considerandose a tomada de consciência que começa a surgir. Por meio da conscientização surgem formas de resistência à discriminação, à exclusão, à violência e, conseqüentemente, novas conquistas são alcançadas favorecendo aquele grupo que trabalha em busca de sua autonomia e valorização. Na busca por oferecer meios, a este grupo de catadores, para reduzir a discriminação a que estão sujeitos os seus membros, foi que nos disponibilizamos a realizar um trabalho de inserção, utilizando como ferramenta a ACT, enfatizando a cidadania intermediada pela sustentabilidade da logística reversa.

2. Material e métodos A metodologia adotada para esta pesquisa foi de caráter qualitativo, com abordagem etnográfica, definida por Lüdke e André (1986, p. 13) como aquela que envolve a obtenção de dados descritivos, no contato direto do pesquisador com a situação estudada e que enfatiza mais o processo do que o produto, preocupando-se em retratar a perspectiva dos participantes. Inicialmente, lançamos mão da observação sistemática de alguns catadores de lixo no centro de Maceió, durante o mês de abril/2012. Dando continuidade ao trabalho de pesquisa e tendo como finalidade conhecer melhor a realidade do grupo em análise, foram realizadas entrevistas individuais, não estruturadas. Utilizou-se como estratégia a informalidade dos questionamentos para motivar um relato espontâneo sobre a formação do grupo, os motivos que levaram aquele grupo a escolher aquele trabalho e a relação que cada um estabeleceu com a escola e a educação formal. As entrevistas foram realizadas in loco – no centro da cidade – com 6 (seis) catadores de papelão, nos meses de abril, maio e junho/2012, com o objetivo de conhecer melhor a realidade de cada um. O critério utilizado para as entrevistas foi que participassem do grupo de catadores de papelão no centro de Maceió. Por meio da observação sistemática e das entrevistas não estruturadas, foram conhecidos alguns aspectos daquele grupo, de grande relevância para este trabalho, pois estas técnicas de pesquisa têm como princípio possibilitar que as questões vão surgindo ao longo das conversas, encorajando e orientando a participação do entrevistado, permitindo ao entrevistador a percepção das individualidades e mudanças do grupo. Cabe ressaltar que todas as informações aqui colocadas foram autorizadas pelos catadores de papelão, ouvidos pelas autoras. Alguns resultados da pesquisa estão aqui explicitados: a) todos os entrevistados são analfabetos (o grupo entrevistado encontra-se composto por 2 mulheres e 4 homens) – fator que, além de ratificar a pesquisa explicitada no início deste trabalho, deixa claro que as possibilidades de crescimento profissional e pessoal deste grupo são escassas e raras, caso não seja desenvolvido,

urgentemente, um Programa de inserção deste grupo visando melhorias nas dimensões que envolvem o saber, a qualidade de vida e a sustentabilidade; b) possuem idades que variam entre 25 a 50 anos, ou seja, alguns ainda jovens e com grandes possibilidades de crescimento intelectual e pessoal, outros, no entanto, já com necessidades de maiores cuidados no item saúde; c) todos têm filhos e/ou netos menores de idade sob sua tutela, o que se traduz em necessidade de uma profissionalização com a finalidade de melhorias financeiras e científicas na busca pelo sustento de sua prole, bem como de sua própria vida; d) moram em uma favela localizada nas proximidades da lagoa – fator que implica diretamente nas questões que envolvem a falta de segurança e saúde da família; e) vivem do que arrecadam com a venda do papelão recolhido na cidade, ou seja, numa situação de grande miséria. De posse das informações coletadas percebeu-se que aquele grupo, de catadores de papelão, não divergia da maioria do grande percentual de discriminados da cidade de Maceió. Faz-se necessário, então, um trabalho de conscientização visando a inserção, também deste grupo, nos índices de usuários de Programas públicos e/ou privados na busca pela cidadania. Considerando que o Estado de Alagoas carece de tais Programas dentro de suas políticas educacionais, deve-se procurar em outras esferas. Um Programa de ACT de cunho CTS para esse grupo de catadores de papelão deverá ser capaz de estabelecer a relação entre saberes populares e conhecimentos científicos (CHASSOT, 2003). A Alfabetização Científica, de acordo com Fourez (1997), designa saberes e competências que visam à autonomia do indivíduo. Uma vez em posse dessa autonomia lhe será possível atuar e se comunicar adequadamente com o mundo em que vive, pois esse mundo exige que o cidadão seja capacitado para participar ativamente na construção da sua própria história, em prol de uma comunidade justa e igualitária. Uma das ambições do movimento CTS é levar a alfabetização científica e tecnológica a todas as pessoas para que, sem limite de etnia, idade ou condição social, tenham acesso às novas formas que esse saber viabiliza e, ao mesmo tempo, sejam capazes de reavaliar, em relação à ciência e a tecnologia, a sociedade em que vivem, sua inserção e sua participação cidadã e pessoal. Por outro lado, atualmente, existe amplo consenso sobre a necessidade de uma alfabetização científica e tecnológica voltada à preparação de cidadãs e cidadãos para a tomada de decisões (VILCHES et al., 2007). Essa tomada de decisões, embasada em uma formação em ACT e em princípios éticos e democráticos, exige-lhes conhecimentos sobre o assunto em discussão, caso contrário poderão adotar postura incorreta e/ou não condizente com a situação por desconhecimento das circunstâncias e da problemática envolvida (GIL-PÉREZ; VILCHES, 2005). A conquista de uma comunidade justa e igualitária para a sociedade brasileira ainda é um grande desafio. As desigualdades sociais e econômicas têm aumentado a cada dia. Esse quadro leva as famílias mais carentes a retirarem suas

crianças da escola e as colocarem em um emprego para reforçar a renda familiar (BRASIL, 2009). Tal realidade vem agravar a situação de escolarização dos jovens e futuros adultos no Brasil. **3. Resultados e discussão** Uma das questões que se propõe na alfabetização científica é que os sujeitos se tornem críticos, que saibam buscar aquilo que lhes é de direito sem, no entanto, perderem a noção de respeito com os outros. Para oferecer um trabalho focado nesse prisma, se faz necessário questionar: será que estamos preparados – professores e comunidade em geral – para enfrentar um desafio desse porte, especificamente em um estado nordestino em que as desigualdades socioeconômicas e culturais são imensas e têm deixado um grande fosso para essa população? Portanto, foi objetivo desta pesquisa estudar possibilidades e limites na implementação de Programa de ACT, de cunho CTS no espaço de trabalho desse grupo de catadores e/ou localidade de fácil acesso, essencialmente voltado para adultos que se afastaram da escola prematuramente, cujo foco está centrado no apropriar-se de conhecimentos e na mudança de atitudes que contribuam para sua formação cidadã e a tomada de decisões conscientes. A ACT deverá ter como um de seus eixos a questão ambiental e de sustentabilidade, pois esses catadores trabalham com a logística reversa, ou seja, no caso em estudo, consiste no reaproveitamento de embalagens de papelão na busca pela sustentabilidade do planeta, mas será que eles sabem exatamente a importância do seu trabalho? Ou o fazem com um sub trabalho apenas como fonte de sustento? O método etnográfico foi utilizado como ferramenta de trabalho e teve papel de grande relevância para que pudéssemos atingir os resultados aqui apresentados. Por meio da pesquisa etnográfica, desvendamos o mundo vivenciado pelos catadores, sua cultura, seus costumes e necessidades, pois um programa de ACT deve ser desenvolvido a partir de temas ou de situações problema que digam respeito às relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e possibilitem a contextualização dos conteúdos. Pode-se discutir temas de interesse da sociedade e também da comunidade local que envolvam, por exemplo, saúde e ambiente, sustentabilidade, dentre outros. Entende-se que a educação deve ser um processo social para promover a inserção das mais diversas comunidades e grupos no meio onde vivem e produzem. Ela tem como objetivo fortalecer a cidadania por meio de métodos e técnicas que impulsionem e transformem conhecimentos, atitudes e valores e, ainda, promover de forma ampla e democrática o diálogo intercultural. É essa a educação que se busca implementar junto àqueles catadores de papelão. Cabe aos pesquisadores encontrar formas de agilizar e proporcionar a concretização de uma educação de qualidade, não apenas para o grupo aqui representado, mas para qualquer um que procure a sua contribuição; à medida que o pesquisador se envolve com uma pesquisa, ele, tanto quanto os pesquisados, adquire muitos conhecimentos; o crescimento é mútuo. Passa a ser um dever continuar oferecendo apoio e colaboração aos sujeitos

pesquisados, mesmo após o término da pesquisa, também para continuar avaliando o impacto das ações desenvolvidas e saber se as mudanças permaneceram, ou não. Na realidade, esse retorno faz parte dos princípios éticos que devemos ter em relação aos cidadãos que dedicaram um tempo de suas vidas a nossa pesquisa. Segundo (BRANDÃO, 2006, p. 9), em geral, os pesquisadores comprometidos na busca por uma sociedade mais justa e igualitária, costumam perguntar-se: Para o quê serve o conhecimento social que a minha ciência acumula com a participação do meu trabalho? Para quem, afinal? Para que usos e em nome de quem, de que poderes sobre mim e sobre aqueles a respeito de quem, o que eu conheço, diz alguma coisa? (BRANDÃO, 2006, p. 10 – grifos no original). Quando um pesquisador se utiliza do conhecimento científico para fazer das pessoas, dos grupos e das classes populares o seu objeto de pesquisa, deve respeitar os pesquisados e ser fidedigno em suas análises e conclusões, de modo que permita que os dados obtidos estejam sempre voltados ao bem comum. Para Brandão (2006), a pesquisa participante – modalidade que se pretende adotar em um segundo momento deste trabalho – deve oportunizar aos grupos observados o conhecimento da sua realidade e ser ferramenta para uma reconquista popular. Assim, ao pesquisador cabe enfrentar os desafios de uma experiência permeada pelas situações do dia a dia e cercada de contradições e mudanças inerentes aos caminhos que a vida nos apresenta. Nisso consiste uma pesquisa participante que visa à construção de uma cidadania crítica, seja ela realizada em uma comunidade, em uma vila ou em uma grande cidade, como apontava Freire ao refletir sobre questões com as quais nos defrontamos no dia a dia, como pesquisadores e/ou educadores. Segundo Freire: Um destes problemas com que primeiro nos confrontamos quando nos obrigamos a conhecer uma dada realidade, seja a de uma área rural, ou a de uma área urbana, enquanto nela atuamos ou para nela atuar, é saber em que realmente consiste a realidade concreta (FREIRE, 2006, p. 34 – grifos no original). Para esse mesmo autor (2006), essa realidade concreta vai muito além dos dados materiais. Ela consiste, também, na percepção de como tais dados e fatos são vivenciados pelos envolvidos. Não é possível dizer que se realizou uma pesquisa participante, em determinada área, se não forem considerados: a) o interesse e a compreensão dos envolvidos com a pesquisa; b) a sabedoria popular ali existente. Freire (2006, p. 35) afirma também: “não posso reduzir os grupos populares a meros objetos de minha pesquisa. Simplesmente, não posso conhecer a realidade de que participam a não ser com eles como sujeitos também deste conhecimento”. Portanto, para esse educador, o pesquisado não será mero objeto de pesquisa, mas um crítico atuante e sedento para atuar na sua própria história, visando a transformações construtivas em prol da comunidade da qual ele participa. Temos a obrigação de não apenas apresentar os resultados, mas de contribuir para que eles se solidifiquem e,

aquilo que se iniciou como pesquisa, se torne algo definitivo e rotineiro na vida desses indivíduos. As competências que, segundo Fourez (1997), mostram que uma pessoa pode ser considerada científica e tecnologicamente alfabetizada são a autonomia, a capacidade de comunicação e a responsabilidade frente a situações concretas.

6. Conclusões A pesquisa etnográfica revelou distintas facetas das situações vivenciadas por aquele grupo de catadores de papelão, no centro de Maceió, que nos permitem concluir sobre a viabilidade e necessidade de um Programa de ACT de cunho CTS que possa contribuir para a construção da cidadania embasada sob os pilares da sustentabilidade, logística reversa e qualidade de vida. Uma das possibilidades que vislumbro é a criação de um programa de ACT, com a mediação do IFAL através da Pró-Reitoria de Extensão, como continuidade de um trabalho já iniciado, voltado ao desenvolvimento sustentável da região e uma qualidade de vida digna para a população alagoana. Trata-se de uma tentativa de alfabetizar, inicialmente, este pequeno grupo, que poderá, talvez, futuramente, disseminar este trabalho entre outros grupos. Fourez (2003) chama atenção para um aspecto fundamental da Alfabetização Científica: sua dimensão coletiva e não apenas individual. Os processos de formação fora do espaço escolar permitem perceber o quanto é fundamental levar-se em conta esta dimensão tanto na educação escolar como na educação em espaços comunitários. A educação em ciências deve relacionar-se com a realidade do educando e ser trabalhada de forma contextualizada e interdisciplinar, não mais fragmentando conteúdos como se fossem partes que não se encaixam. Considerando que a ACT deve ser um conhecimento contínuo que perpassa a vida de todas as pessoas, deverá acontecer nas escolas, comunidades, meios de comunicação, museus, ambiente de trabalho, enfim, em todos os espaços de educação formal e não formal nos quais pessoas estão presentes e atuantes. A educação não ocorre, exclusivamente, em salas de aula tradicionais. Ela não está restrita apenas a esse espaço. Embora ele seja um componente importante, outros espaços complementam e contribuem para o crescimento dos cidadãos e cidadãs. Esse é o principal foco da ACT: formar cidadãos conscientes e capazes de tomarem as melhores decisões para embasar suas ações em qualquer espaço de atuação, pautados na ciência e tecnologia.

REFERÊNCIAS

BRANDÃO, C. R. Pesquisar-participar. In: BRANDÃO, C. R. (Org.). Pesquisa participante. São Paulo: Brasiliense, 2006.

BRASIL. Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. PROEJA – Programa Nacional de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica na Modalidade de Educação de Jovens e Adultos. Documento Base. Brasília, 2009

_____. Dados sobre o Estado de Alagoas. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=al>>. Acesso em: 17 jul. 2010.

CARVALHO, C. P. Formação histórica de Alagoas. Maceió: Grafitex, 1982.

CHASSOT, A. Alfabetização científica: questões e desafios para a educação. 3. ed. Ijuí: Ed. unijuí, 2003.

FOUREZ, G. Alfabetización científica e tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de la ciencia. Trad. Elsa Sarria. Buenos Aires: Ediciones Colihue, 1997.

_____. Crise no ensino de ciências? Investigações em Ensino de Ciências, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID99/v8_n2_a2003.pdf>. Acesso em: 04 maio 2010.

FREIRE, P. Criando métodos de pesquisa alternativa: aprendendo a fazê-la melhor através da ação. In: BRANDÃO, Carlos Rodrigues (Org.). Pesquisa participante. São Paulo: Brasiliense, 2006.

GIL-PÉREZ, D.; Vilches, A. Inmersión en la cultura científica para la toma de decisiones ¿necesidad o mito? Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, v. 2, n. 3, p. 302-329, 2005.

LACERDA, L. LOGÍSTICA REVERSA: Uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais. SARGAS: competência em logística, 2009.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

URANI, A. Um diagnóstico socioeconômico do Estado de Alagoas a partir de uma leitura dos dados da pesquisa nacional por amostra de domicílios do IBGE (1992 – 2004). Instituto de Estudos do Trabalho e Sociedade, 2005. Disponível em: <http://www.iets.org.br/biblioteca/Um_diagnostico_socioeconomico_do_Estado_de_Alagoas.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2010.

VILCHES, A. et al. Da necessidade de uma formação científica para uma educação para a cidadania. In: I SIMPÓSIO DE PESQUISA EM ENSINO DE HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA; III SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE ENSINO DE GEOLOGIA NO BRASIL, p. 421-426, 2007. Anais... Disponível em: <<http://www.ige.unicamp.br/simposioensino/artigos/003.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2010.

Capítulo 6



10.37423/220706347

PROSPECÇÃO GEOFÍSICA EM OCORRÊNCIA DE ESTANHO ASSOCIADA AO GRANITO SÃO SEPÉ, RIO GRANDE DO SUL (RS): UM ESTUDO DE CASO

Marly Aparecida da Silva

*Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho*

Shaiely Fernandes dos Santos

Universidade Federal do Paraná

Karolliny Borssatto

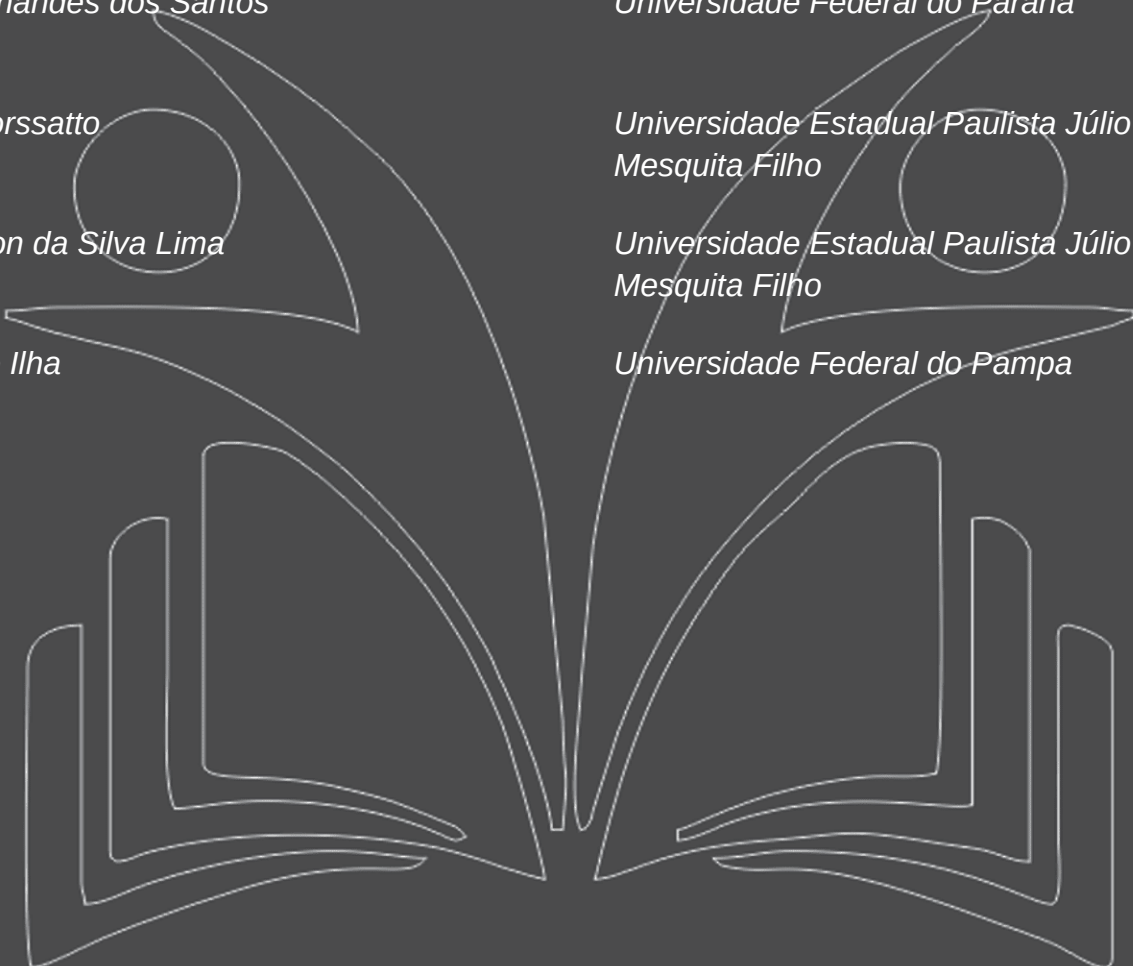
*Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho*

Antônio Elton da Silva Lima

*Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho*

Lenon Melo Ilha

Universidade Federal do Pampa



Resumo: Este trabalho apresenta e discute os resultados gerados através de levantamentos geofísicos terrestres de Eletrorresistividade e da Polarização Induzida (IP) utilizados na investigação de uma ocorrência de estanho (cassiterita) associada a hidrotermalito do tipo greisen, localizada na borda oeste do Granito São Sepé. A área de estudo está localizada na porção central do Escudo Sul-Riograndense, município de São Sepé (RS). A ocorrência mineral está associada a veios de quartzo inseridos nos quartzos xistos do Complexo Metamórfico Vacacaí. Foram realizadas 6 linhas de tomografia elétrica dispostas paralelamente na direção N30W. Os dados foram processados no software Res2Dinv e os modelos de inversão 2D foram gerados para os parâmetros de resistividade e cargabilidade. Os modelos de inversão 2D indicaram áreas de alta cargabilidade interpretadas como as prováveis zonas de concentração da cassiterita. Os dados de resistividade não foram suficientes para a definição das zonas mineralizadas, uma vez que a rocha encaixante (quartzo xistos) e os veios mineralizados apresentam valores de resistividade parecidos. Desse modo, foram exportados para o software Geosoft, somente os dados de IP para gerar os modelos de visualização 3D de cargabilidade, os quais permitiram determinar a morfologia e a continuidade da provável zona de ocorrência da cassiterita. Os resultados dos modelos de visualização 3D mostraram que na área de estudo ocorrem pequenos corpos sulfetados, individualizados e não um único corpo alongado na direção N/S como mostram os trabalhos preliminares realizados pela CPRM na década de 80.

Palavras-chave: pesquisa mineral, cassiterita, resistividade, cargabilidade

1. INTRODUÇÃO

As reservas mundiais de estanho associada à cassiterita eram, em 2013, de aproximadamente 4,4 milhões de toneladas. Segundo dados do Serviço Geológico Americano – USGS, a China é o principal produtor de minério e detém as maiores reservas de cassiterita. Em 2013 foi responsável por mais de 42% da produção mundial, seguida pela Indonésia, Peru, Bolívia, Mianmar e Austrália.

No ano de 2015, os minerais metálicos representaram cerca de 76% do total da produção mineral comercializada pelo Brasil. Dentre essas substâncias, 8 corresponderem a 98,5% da produção, as quais são: alumínio, cobre, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel e ouro. O valor comercializado dessas substâncias totalizou 67,5 bilhões de reais, com destaque para a expressiva participação do ferro nesse montante (DNPM, 2015). Na última década o consumo de estanho no Brasil apresentou média de 3 a 4 mil t/ano. A demanda interna por Sn é composta por cinco seguimentos: indústria siderúrgica (folhas de flandres), indústria de soldas, indústria química, objetos de *pewter* e bronze.

Nesse contexto, a pesquisa mineral é responsável pelo planejamento e execução dos trabalhos que levam à descoberta de novos depósitos minerais através da pesquisa sistemática em uma região com potencial para exploração (Licht, 1998). Desse modo, a prospecção mineral constitui a primeira etapa de estudos na descoberta de novos recursos minerais e na reavaliação de ocorrências minerais já conhecidas. Nesta fase, diversas técnicas de investigações geológicas são aplicadas com o objetivo de detalhar os condicionantes geológicos e quantificar os teores de uma jazida (Moon et al., 2006).

A localização de depósitos minerais em subsuperfície via métodos geofísicos pode ser direta, ou seja, quando a resposta provém do bem mineral prospectado ou indireta, quando o depósito possui quantidades insuficientes do mineral procurado. Nesse caso, o depósito poderá ser detectado somente caso a substância mineral esteja associada a outros minerais de propriedades físicas contrastantes (Dentith & Mudge, 2014). Os métodos geofísicos são eficazes na localização de jazidas subaflorantes, uma vez que dependem basicamente do contraste entre as propriedades físicas do depósito e das rochas encaixantes.

Os indícios das mineralizações de estanho, objeto de estudo desta pesquisa, ocorrem na zona periférica do Granito São Sepé e estão inseridas nas rochas do Complexo Metamórfico Vacacaí. Nas proximidades da área de estudo, foram reconhecidos mais de 80 corpos de hidrotermalitos tipo *greisen* e filões de quartzo aos quais estão associadas mineralizações de ouro e estanho registrados pela CPRM (1995).

Nas anomalias geoquímicas de sedimentos de correntes foram identificados também Mo (5ppm) e As (13ppm). Desse modo, os indícios das mineralizações e o contexto geológico da área são compatíveis com modelos de mineralizações de Sn ($\pm$ Mo $\pm$ Bi) em *endo* e *exo-greisens* de corpos filonianos associados a intrusões graníticas (CPRM, 1995).

2. ÁREA DE ESTUDO

A ocorrência mineral estudada está localizada na porção SW do município de São Sepé, Rio Grande do Sul (RS), distante cerca de 270 km da capital Porto Alegre. O acesso à área pode ser feito via BR-290 e, após percorrer 13 km do cruzamento com a BR-390, deve-se acessar a estrada Rincão da Juliana, até a ponte sobre o Rio São Sepé (Figura 1).



Figura 1: Mapa de localização da área de estudos. Modificado do Google Earth.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO: O ESCUDO SUL-RIOGRANDENSE

O Escudo Sul-Rio-grandense (ESRG) está localizado na porção central do estado do Rio Grande do Sul e constitui uma associação de rochas geradas durante as orogenias Transamazônica (2,26 – 2,00 Ga) e Brasiliana (900 – 535 Ma) (Hartmann et al., 2007). Sua configuração final, correspondente ao Cinturão Dom Feliciano, é o resultado de diversos processos de geração, deformação e retrabalhamento crustal (Chemale Jr., 2000).

O Cinturão Dom Feliciano, estabelecido durante o Neoproterozóico, é um orógeno localizado no Gondwana Sul-ocidental que marcou o evento Brasileiro na região sul do país (Borba, 2006). Se

estende de Santa Catarina até o Uruguai, numa faixa alongada de orientação NE-SW. Possui 800 km de comprimento e largura de 150 km; e é composto essencialmente por granitóides, rochas metamórficas e alguns plútons (Chemale Jr., 2000).

Os principais eventos tectônicos do Ciclo Brasileiro responsáveis pela construção do Cinturão Dom Feliciano são: início da atividade de subducção, marcada pelo metadiorito Passinho; a orogênese São Gabriel, com desenvolvimento do arco magmático do Terreno São Gabriel (753 – 680 Ma); e o último evento correspondente à Orogênese Dom Feliciano (650 – 500 Ma), representada pela fusão dos remanescentes crustais antigos presentes no Batólito Pelotas, seguido da intrusão de granitos tardi a pós-colisionais (Hartmann et al., 1999, 2000).

3.1 A COMPARTIMENTAÇÃO DO ESRG

Vários autores propõem modelos evolutivos para a compartimentação geotectônica do ESRG, em especial os trabalhos realizados por Hasui et al. (1978), Fragoso-Cesar (1980) e Jost e Hartmann (1984). Posteriormente Hartmann; Chemale JR e Philipp (2007) apresentaram uma organização para o ESRG que foi adotada neste trabalho.

Com base nas características estruturais, petroectônicas e isotópicas distintas, estes autores dividem o ESRG nas seguintes unidades geotectônicas: Terreno Taquarembó, Terreno Tijucas, Terreno São Gabriel, Batólito Pelotas e Bacias Sedimentares pós-orogênicas; limitados entre si por estruturas alinhadas na direção NE-SW (Figura 2).

O Terreno Taquarembó está situado no extremo sudoeste do ESRG, limitado ao norte pela zona de cisalhamento Ibaré e ao sul e oeste é recoberto pelos sedimentos da Bacia do Paraná. Possui as unidades geológicas mais antigas do ESRG, representado pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico, de idade Paleoproterozóica (2,3 Ga). Estas rochas granulíticas são intrudidos por pequenos stocks graníticos gerados entre 600 e 550 Ma, e recobertas por rochas sedimentares geradas durante o ciclo Brasileiro (Hartmann et al. 2007).

O Terreno Tijucas está localizado na porção central do ESRG e constitui uma faixa alongada com direção N20 – 30°E. Possui largura de 30 a 50 km e cerca de 170 km de comprimento. É limitado a leste pelas zonas de cisalhamento Dorsal de Canguçu e Passo do Marinheiro (Hartmann et al., 1999, 2000). A oeste é recoberto pelos sedimentos da Bacia do Camaquã e a sul e norte pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná. É composto predominantemente pelas rochas dos Complexos Encantadas (2,2 a 2,0 Ga) e Porongos (800 a 700 Ma). Os gnaisses do Complexo Encantadas possuem

composição tonalítica a dioríticas com presença de injeções tabulares de corpos graníticos. No Complexo Metamórfico Porongos, predominam metassedimentos com ocorrências subordinadas de rochas metavulcânicas (Chemale Jr., 2000). É intrudido por quatro estruturas antiformes, a ser: Antiforme Capané, Domo de Santana da Boa Vista, Antiforme Serra dos Pedrosa e Antiforme do Godinho.

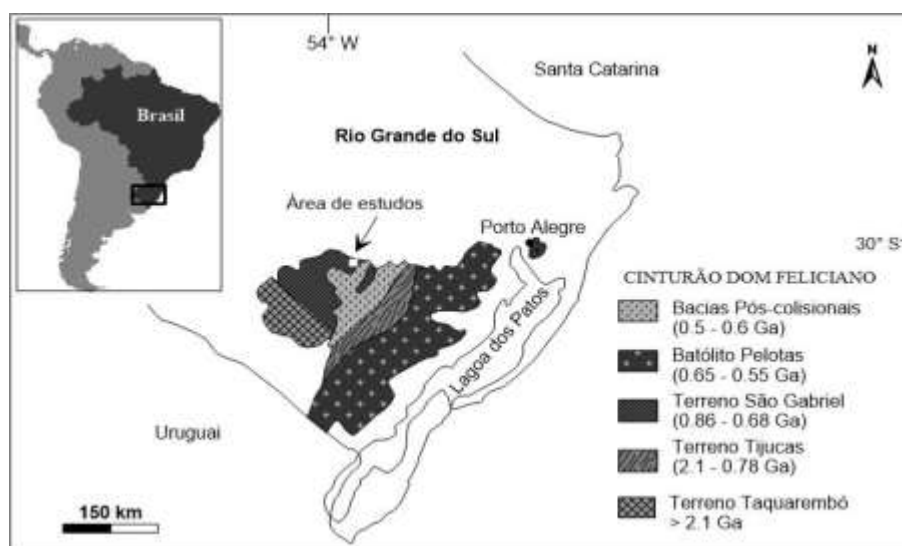


Figura 2: Mapa geológico do ESRG com as principais unidades tectono-estratigráficas. Modificado de Hartmann; Chemale JR e Philipp (2007).

O Terreno São Gabriel, local onde está inserida a área de estudo, é limitado a sul pela Zona de Cisalhamento Ibaré, a leste por falhamentos de direção NE – SW e a oeste e a norte é recoberto pelos sedimentos da Bacia do Paraná. Constitui um prisma acrecionários gerado durante o Neoproterozóico, com associações petrotectônicas de ambientes de margem passiva e retroarco, ofiolitos, arcos magmáticos vulcano-sedimentares e plutônicos (Chemalle Jr., 2000). O Terreno São Gabriel possui gnaisses cálcio-alcalinos juvenis cortados por metagranitóides, ambos englobados no Complexo Cambaí, intrusivo nas sequências vulcano-sedimentares dos Complexos Palma/Bossoroca (Babinski et al., 1996).

O Batólito Pelotas ocupa a porção leste do Escudo numa faixa alongada na direção N45°E. Possui aproximadamente 370 km de comprimento e largura média de 90 km. É limitado a oeste pelas zonas de cisalhamento Dorsal de Canguçu e Passo do Marinheiro e a leste é recoberto pelos sedimentos da planície costeira (Hartmann et al., 2000). O Batólito é composto por um complexo granítico e por sete

suítes de rochas granitóides com composição granodiorítica a sienogranítica. Subordinadamente ocorrem sienitos, dioritos, microdioritos, hornblenditos e gabros (Hartmann et al., 2007).

As Bacias Sedimentares pós-orogênicas ocupam as porções central e oeste do ESRG. A Bacia Sedimentar do Camaquã, principal representante destas bacias, possui forma alongada na direção N30°E com cerca de 100 Km de comprimento por 100 km de largura (TEIXEIRA et al., 2004). O contexto dinâmico de preenchimento envolveu processos sedimentares, ígneos e deformacionais que geraram um complexo padrão de preenchimento e formaram uma série de unidades estratigráficas. Com base neste padrão de preenchimento, Paim, Chemale Jr e Lopes (2000) propõem que a sucessão completa da Bacia do Camaquã seja incluída no Supergrupo Camaquã, individualizado nos seguintes Grupos: Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas.

3.2 GEOLOGIA LOCAL

3.2.1 O COMPLEXO METAMÓRFICO VACACAÍ

Esta unidade geológica engloba várias associações de rochas vulcano-sedimentares deformadas e metamorfizadas nas fácies xisto verde a anfibolito inferior (Chemale Jr., 2000). É composto pelos Complexos Passo Feio, Palma/Bossoroca e Cambaí, que correspondem às rochas encaixantes de vários Complexos Graníticos, incluindo os Granitos São Sepé, Caçapava e Cerro da Cria (Hartmann et al., 2007).

O **Complexo Cambaí** é composto por rochas cálcio-alcálinas médio a alto K (gnaisses tonalíticos e dioríticos, metadioritos, metatonalitos, dioritos, tonalitos e granodioritos) com idades de zircão em torno de 735 – 680 Ma. e assinalam o desenvolvimento de um arco magmático de margem continental – Orogênese São Gabriel (Hartmann et al., 2000). O **Complexo Bossoroca** representa a parte superior da associação meta-vulcano-sedimentar e engloba as Sequências Arroio Lajeado, formada por xistos ultramáficos, serpentinitos, metabasaltos, BIF's, rochas metassedimentares e Campestre que engloba as associações de rochas metavulcanoclásticas (metatufos finos e grosseiros, metatufos lapilíticos, metacherts e metavulcânicas), rochas epiclásticas (metarenitos, metargilitos, metaconglomerados associados a rochas metavulcanoclásticas) e rochas químicas (Koppe, 1990). O **Complexo Palma**, de idade Neoproterozóica (~1,3 – 0,6 Ga), compõe a porção inferior das Sequências Arroio Lajeado e Campestre. É composto por rochas metavulcânicas máficas e ultramáficas intercaladas com xistos paragneisses pelíticos e quartzíticos (Hartmann et al., 2007).

A ocorrência de cassiterita estudada está alojada nos xistos-quartzosos do Complexo Bossoroca, intrudida pela rocha granítica, fonte da mineralização. Em campo, são raros os afloramentos com boa exposição destas rochas. Em geral, toda a área ocorre coberta por espessa camada de solo. Em corte de estrada, afloram alguns veios de quartzo leitoso, bastante fraturados, com até 10 cm de largura e direção N70E com mergulho para NW (Figura 3). Os xistos apresentam coloração cinza, granulometria fina e xistosidade dada pela orientação dos minerais micáceos e cristais de quartzo deformados. Quando alterados, formam uma camada de solo argilo-arenoso de cor avermelhada.



Figura 3: Afloramento em corte de estrada com veios de quartzo inseridos nos xistos-quartzosos muito alterados. As medidas estruturais são referentes às direções dos veios de quartzo, com mergulho para SW.

3.2.2 O COMPLEXO GRANÍTICO SÃO SEPÉ

O Complexo está localizado a SW da cidade de São Sepé. Possui forma alongada na direção NNE – SSW e dimensão de 27 km x 17,5 km. Sobrepe a oeste e a norte as rochas da Formação Rio Bonito, envolve a SSW o corpo estratiforme das Pedras Pretas, e é intrusivo no Complexo Metamórfico Vacacaí a SSW e no Grupo Maricá e na Formação Hilário a leste (Gastal & Ferreira, 2013).

A intrusão granítica desenvolveu auréola de metamorfismo termal de baixo a médio grau nas rochas do Complexo Metamórfico Vacacaí e acompanha o contorno do *pluton* numa faixa a SSW (Matos et

al., 2004). Os cornubianitos foram afetados durante a evolução do granito por evento hidrotermal, o qual foi responsável também pela geração de greisens associados a filões auríferos (Porcher et al., 1995).

O *pluton* consiste de granitos texturalmente isotrópicos, com anfibólio-biotita monzonitos no centro e biotita sienitos na borda. O contato entre eles é brusco, orientado na direção N-S, e próximo ao contato interno ambos são seccionados por diques de aplitos e microgranitos. Intrusões menores de microgranitos, riolitos e riodacitos, ocorrem como apófises e diques nas encaixantes ou nas bordas do sienito (Gastal & Ferreira, 2013; Figura 4).

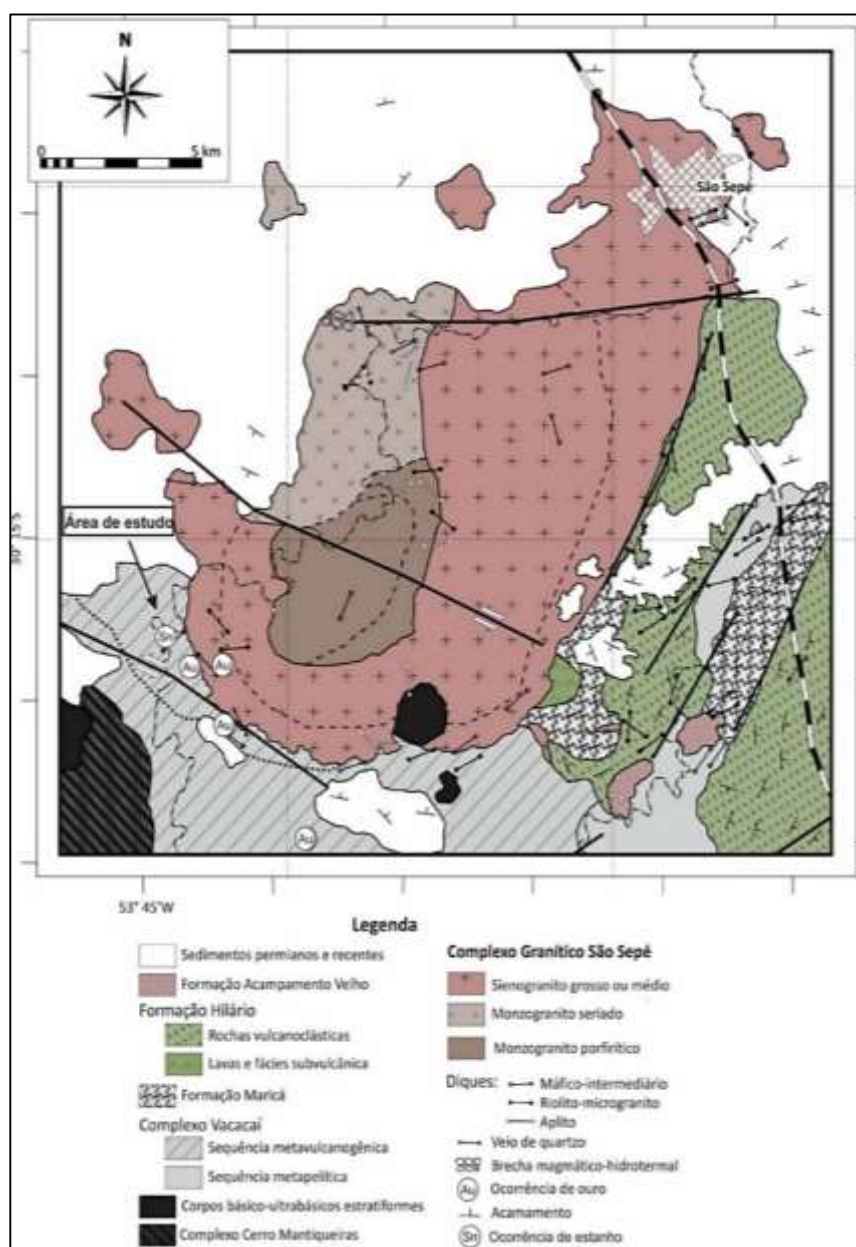


Figura 4: Mapa geológico do Granito São Sepé. Linhas pretas: tracejada para contato gradativo; pontilhada para zona afetada pelo metamorfismo termal, cheia e grossa para zonas de falhas.

Modificado de Gastal & Ferreira (2013).

Próximo às bordas do Granito São Sepé ocorrem falhas de direção N55 – 60°E, N40°E e N50 – 65°W, onde os dois últimos são relacionados às zonas de falhas regionais que condicionam os contatos leste e SSW do *pluton*. Aqueles de direção N60 – 70°E ocorrem em unidades do arco magmático e parte da Formação Hilário. Já na porção central e oeste do Granito predominam as direções N50 – 55°E. Fraturamentos mais intensos ao longo da borda do *pluton* são mais expressivos nas direções N40 – 25°E e N50 – 65°W. O sistema N50 – 65°W é representado pelas Zonas de Falhas Arroio do Engenho a sul e outra no centro-sul do Complexo.

Diversos trabalhos de datação foram realizados nas rochas do Granito São Sepé afim de determinar as idades da intrusão. Datações de U-Pb sugerem ciclos intrusivos a 568 – 566 Ma e 550 – 544 Ma. (Gastal et al., 2010). Esses mesmos autores obtêm uma idade preliminar U-Pb de $539,1 \pm 6,5$ Ma. em zircões de uma amostra do sienogranito. Em virtude da interpretação de que as idades U-Pb mais jovens (< 550 Ma) são decorrentes da remobilização do zircão em evento hidrotermal tardio, Gastal & Ferreira (2013) atribuem a idade de 567 Ma. para a cristalização do Granito São Sepé.

4. SÍNTESE DOS TRABALHOS DE PROSPECÇÃO MINERAL NA REGIÃO

O ESRG possui uma zonação de metais com predomínio de ouro no Terreno São Gabriel; metais básicos, principalmente cobre, na região central; e chumbo no extremo leste, onde ocorrem depósitos de estanho e vanádio. O panorama mineral desta região envolve ouro, cobre, carvão mineral, calcário, cromita, estanho, entre outros. Entretanto, as principais ocorrências minerais estão associadas a depósitos hidrotermais magmáticos gerados durante três períodos distintos do ciclo Brasileiro: 700, 594 e 562 Ma (Remus, 1999).

Vários depósitos sulfetados de pequeno porte ocorrem ao longo do Arco Vulcânico Bossoroca, tais como: Bossoroca, Cerrito do Ouro, Guardinha, Passo da Juliana, etc.; onde a pesquisa e exploração de rochas encaixantes com maior competência e reatividade devem ser priorizadas, uma vez que os fluidos mineralizantes destes depósitos são de origem profunda (Remus, 1999). Segundo esse autor, a gênese da mineralização aurífera é atribuída à remobilização hidrotermal das rochas encaixantes, portadoras de jazidas e ocorrências de ouro localizadas próximo à área de estudo (Figura 5).

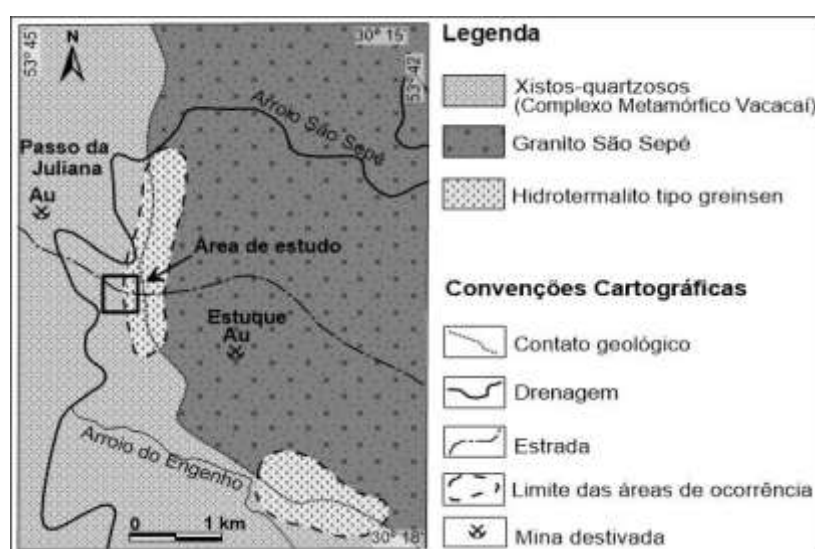


Figura 5: Ocorrência de hidrotermalito tipo greisen com destaque para as ocorrências minerais que ocorrem próximo à área de estudos. Modificado de CPRM (1995).

A região central do ESRG possui várias ocorrências minerais mapeadas que confirmam o potencial da região para detalhamento e exploração de novos recursos minerais. Os trabalhos de prospecção nesta região foram realizados pela CPRM resultaram na identificação de diversos prospectos com potencial para estudos em detalhe. As principais ocorrências minerais em torno da área de estudo envolvem, principalmente: cobre, ouro, estanho e cromita. (Figura 6).

Posteriormente, diversos estudos científicos foram realizados na região de Caçapava do Sul e São Sepé com enfoque no detalhamento destas ocorrências. Estes trabalhos utilizaram os métodos geofísicos que, associados ao mapeamento geológico-estrutural, apresentaram bons resultados no detalhamento das ocorrências.

Andriotti (1999) utilizou dados geoquímicos e sensoriamento remoto na pesquisa de metais-base no ESRG que forneceram resultados satisfatórios. Através de mapas geoquímicos, limites litológicos, feições estruturais e zonações metalogenéticas foram indicadas novas áreas alvo para prospecção mineral.

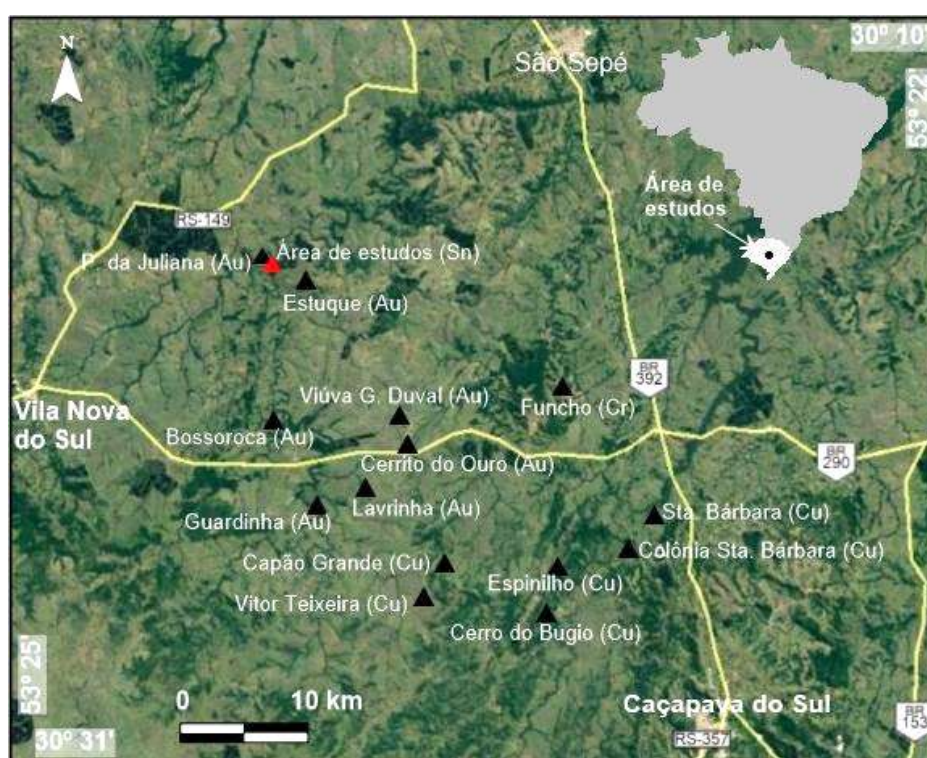


Figura 6: Mapa das ocorrências minerais próximas à área de estudo. Modificado do Google Earth.

Andriotti (1999) utilizou dados geoquímicos e sensoriamento remoto na pesquisa de metais-base no ESRG que forneceram resultados satisfatórios. Através de mapas geoquímicos, limites litológicos,

feições estruturais e zonações metalogenéticas foram indicadas novas áreas alvo para prospecção mineral.

Os trabalhos realizados por Moreira et al., (2016), Moreira, et al. (2014), Moreira et al., (2012) e Moreira e Ilha (2011) apresentam os resultados dos métodos da Eletrorresistividade e da Polarização Induzida aplicados no detalhamento de ocorrências de ouro e cobre associadas a sulfetos. Nestes trabalhos, os autores indicaram zonas potencialmente mineralizadas, controladas estruturalmente por redes de fraturas e comprovam a eficácia dos métodos geofísicos aplicados na prospecção de depósitos minerais em subsuperfície.

O método da Eletrorresistividade integrado ao mapeamento geológico-estrutural foi utilizado por Côrtes et al. (2016) no detalhamento de uma ocorrência de cobre associada a sulfetos, localizada na borda norte da Bacia do Camaquã (RS). A ocorrência mineral está alojada em metarenito silicificado e fraturado, caracterizada pela presença de malaquita e azurita, disseminados ou impregnados nos planos de fratura. Neste trabalho, a autora definiu as zonas mineralizadas e estéril da ocorrência.

Em sua dissertação de mestrado, Carneiro (2016) utilizou os métodos geofísicos integrado a dados geológico-estruturais na definição da morfologia de uma ocorrência mineral de cobre inserida em xistos-quartzosos. Nesse trabalho, o autor definiu a continuidade lateral, a dimensão e a direção da zona mineralizada. Santos (2017) e Paes (2016) utilizaram os métodos geoeletricos associados ao mapeamento geológico-estrutural, no detalhamento de duas ocorrências de cobre localizada no município de Caçapava do Sul - RS. A integração dos dados geofísicos, geológicos-estruturais e metalogenéticos permitiu a delimitação de zonas promissoras e prioritárias à amostragem direta via sondagem. O trabalho de Santos (2017) demonstrou também a aplicabilidade dos métodos geofísicos no estudo de mineralizações inseridas em terrenos metamórficos com grande complexidade estrutural.

5. O MODELO GENÉTICO DAS MINERALIZAÇÃO DE CASSITERITA

A cassiterita é o mineral-minério de estanho e ocorre em variados tipos de depósitos. O modelo genético que se assemelha à ocorrência estudada é similar àquele proposto por Reed (1987), onde os greisens podem ter qualquer forma e ocorrem hospedados acima da cúpula granítica. São constituídos por uma parte maciça, enraizada ao *pluton*, e outra parte filoniana, denominada de filões de greisen, posicionada acima da parte maciça e encaixada nas rochas circundantes ao *pluton*. Stockworks são

comuns na região dos filões e, com frequência, ocorrem associações de aplitos, pegmatitos e veios de quartzo (Biondi, 2003; Figura 7).

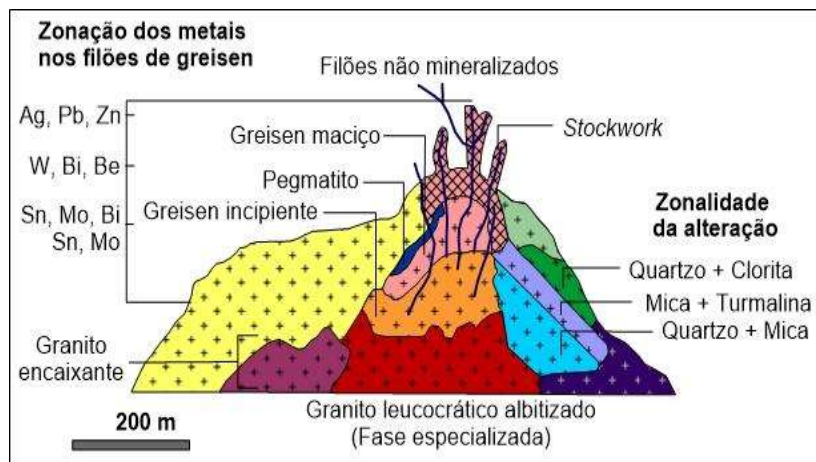


Figura 7: Esquema com as repartições da mineralização e da alteração hidrotermal em depósitos de *greisen*, mineralizados em Sn e W. Modificado de Reed (1987).

As alterações hidrotermais do greisen não mostram uma distribuição zonada e constante em todos os depósitos. Embora as zonações hidrotermais estejam sempre presentes, cada depósito possui suas características. Estas zonações são complexas e foram agrupadas em nove tipos principais:

- a) *Greisenização* se desenvolve nas zonas de maior permeabilidade dos granitos, conferida pelas redes de fraturas (Biondi, 2003). Corresponde, sobretudo, à neoformação da muscovita e quartzo (+ albita). Origina o greisen típico composto por 60% de quartzo e 40% de mica branca (Pirajno, 2009).
- b) *Filitização* é muito menos frequente que a greisenização e engloba a cloritização, a muscovitização, a seritização e a biotitização (Biondi, 2003).
- c) *Feldspatização* com presença de albita, microclínio, adularia e amazonita. A albitização é mais frequente que a microclinização e pode ser acompanhada por enriquecimento de lítio. Embora quase sempre ocorram juntas, normalmente a feldspatização é mais antiga que a greisenização e parece menos influenciada pelas fraturas e fissuras (Biondi, 2003).
- d) *Argilização* é um processo de alteração que ocorre junto aos depósitos de estanho, não modifica a estrutura das rochas, mas diminui a densidade das rochas, principalmente dos granitos. Essa perda de densidade é justificada pela perda, quase total, dos feldspatos e, aproximadamente, dois terços da sílica (Robb, 2004).
- e) *Turmalinização* pode ser intensa e corresponde a um forte aporte do boro para a rocha, geralmente associada às fases hidrotermais tardias, portadoras do Sn. No entanto, a turmalinização parece ser um

processo que ocorre sob temperatura menor que a greisenização e a feldspatização, e frequentemente, ocorre nas redes de fraturas (PIRAJNO, 2009).

f) *Topozificação*, g) *Hematitização*, h) *Fluoritização* e i) *Silicificação* são alterações que ocorrem em proporções variadas em quase todos os greisens. Geralmente, o núcleo do *greisen* é de quartzo maciço (Biondi, 2003).

Nos depósitos apicais disseminados de Sn e W, modelo mais próximo ao depósito estudado, as alterações são acumuladas em vários tipos e, raramente, desenvolvem-se isoladamente. A greisenização é a alteração mais comum e junto à feldspatização, à argilização e à turmalinização alteram as rochas encaixantes do depósito. As demais alterações são mais limitadas às proximidades da mineralização ou das fraturas e veios tardios (Robb, 2004).

A variação do tipo de alteração hidrotermal dos *greisens* depende também das encaixantes do pluton. As rochas alumino-silicatadas, por exemplo, são as encaixantes mais comuns e formam os maiores volumes de alteração, com desenvolvimento de todos os tipos de alterações mencionados. Nos casos mais raros, onde as encaixantes são rochas básicas ou ultrabásicas, as alterações são menos desenvolvidas e a filitização é a alteração hipogênica dominante. Nas encaixantes carbonatadas podem ocorrer mineralizações de greisens com fluorita, topázio e turmalina (Shcherba, 1970 A e B; Figura 8).

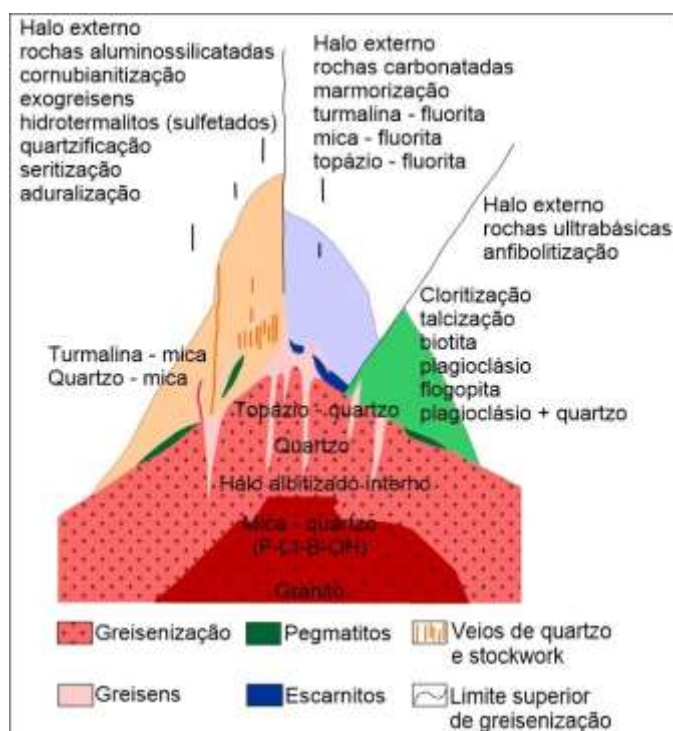


Figura 8: Relação entre a composição das rochas encaixantes e os tipos de alterações hidrotermais associadas aos greisens, que condicionam também a dimensão das zonas de alteração e a presença dos filões de greisen. Modificado de Biondi (2003).

O modelo genético proposto para a mineralização discutido acima admite que a mineralização ocorre na cúpula granítica. No caso estudado, entretanto, a mineralização está associada aos veios de quartzo encaixados nas laterais do Granito São Sepé. Nesse contexto, a contração da intrusiva gerou espaços que foram ocupados pelos líquidos hidrotermais enriquecidos em estanho e outros elementos, provenientes das fases finais de cristalização.

6. AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Os trabalhos de campo foram iniciados com o reconhecimento e levantamento geológico-estrutural da área. Foram identificados quatro veios de quartzo inseridos nos xistos do Complexo Metamórfico Vacacaí. As medidas estruturais foram coletadas através de uma bússola Brunton, com notação azimutal. Além dos indícios de mineralização descritos pela CPRM (1995), foi considerado também a orientação dos veios de quartzo para o posicionamento das linhas de aquisição.

O levantamento geofísico consistiu na aplicação dos métodos da Eletrorresistividade e da Polarização Induzida, selecionados devido ao histórico de aplicações em depósitos com sulfetos disseminados e ao contraste entre as propriedades físicas da rocha hospedeira e da zona sulfetada. Foram realizados

6 perfis de imageamento elétrico dispostos em arranjo dipolo-dipolo, posicionadas de forma perpendicular aos veios de quartzo, direção N30W (Figura 9).



Figura 9: Imagem de detalhe da área de estudos com a configuração das linhas de aquisição.

As linhas de aquisição possuem comprimento de 210 m (2 cabos de 21 eletrodos), com pequenas variações em decorrência da topografia. O relevo é relativamente plano, com um pequeno declive na porção NW da área. Todavia, as diferenças de cotas nos pontos de leitura não ultrapassam 10 m. As linhas 1 e 2 foram espaçadas em 6,5 m entre si e as demais em 12,0 m. O espaçamento entre os eletrodos foi de 5,0 m (Figuras 10 A e B), estabelecidos com base nas dimensões dos veios de quartzo que afloram no corte de estrada. Realizou-se leituras de resistividade elétrica e cargabilidade em 23 níveis de profundidade. Na aquisição dos dados foi utilizado o *resistímetro Terrameter LS* fabricado pela ABEM *Instrument*, pertencente ao laboratório de Geofísica do Departamento Geociências da Universidade Estadual Paulista – UNESP, campus Rio Claro (Figura 10 D). Utilizou-se eletrodos cerâmicos não polarizáveis preenchidos com solução supersaturada em CuSO_4 , composto por uma base porosa e haste de cobre em seu interior (Figura 10 C). Esta configuração permite a percolação da solução e infiltração no solo, de modo a reduzir a resistência do contato e anular a geração de correntes parasíticas geradas pelo uso de eletrodos metálicos.

Após a disposição dos cabos foram feitas pequenas covas no solo para retirada da cobertura vegetal. Os eletrodos foram preenchidos pela solução de CuSO_4 e colocados dentro das covas com a base em contato com o solo. Posteriormente, cada eletrodo foi conectado ao cabo para aquisição dos dados, conforme a calibração adotada: tempo de envio de corrente de 1 s, corrente mínima de 100 mA e

máxima de 500 mA, 2 janelas de leituras fixas e consecutivas de 0,1 s e início da janela de leitura após o corte de corrente (*delay time*) de 0,2 s.



Figura 10: A) Configuração dos eletrodos em campo. B) Eletrodos posicionados para aquisição de dados da L2. C) Eletrodo não-polarizável preenchido por solução de CuSO_4 . D) Resistivímetro Terrameter LS utilizado na aquisição dos dados.

Os dados foram armazenados na memória interna do equipamento em um arquivo de extensão .dat, que pode ser aberto e editado por meio de um editor de texto. A modelagem dos dados para obtenção dos modelos 2D de inversão, com profundidades estimadas, é realizada com uso do programa *Res2dinv*, desenvolvido pela *Geotomo Software* e disponibilizado juntamente com o equipamento.

Antes do procedimento de inversão, foram inseridos os dados topográficos de cada linha para o ajuste da superfície topográfica no modelo através de dados extraídos da Folha Passo do Salsinho (SH-22-Y-A-I-4). Posteriormente, os dados foram modelados no programa *Res2dinv*, com base nos parâmetros de inversão sugeridos pelo programa para a modelagem de corpos sulfetados. O resultado dessa modelagem é apresentado na forma de pseudo-seções de resistividade e cargabilidade, com profundidade ajustada pela topografia.

Inicialmente, os resultados são apresentados em pseudo-seções de resistividade e cargabilidade, onde cada ponto investigado em subsuperfície possui uma posição e uma profundidade teórica específica, que varia conforme a configuração dos eletrodos em campo (Musset & Khan; 2000). Dessa forma, é necessário utilizar várias técnicas numéricas que tornem possível a interpretação qualitativa e que se

aproxime dos dados reais. O programa *Res2dinv*, permite o processamento de grandes conjuntos de dados em duas dimensões e determinar um modelo 2D de resistividade e cargabilidade. Assim, a inversão procura obter um modelo de distribuição dos parâmetros medidos em subsuperfície, similares aos valores medidos em campo.

O processo de inversão consiste na superposição de um grande número de blocos retangulares, dispostos a partir da distribuição dos pontos dos dados na pseudo-seção (Musset & Khan; 2000). A distribuição e o tamanho destes blocos são gerados automaticamente pelo programa, por meio da distribuição dos pontos de dados. A profundidade da linha inferior de blocos é ajustada de modo a ser aproximadamente igual à profundidade média de investigação dos pontos de dados com o maior espaçamento entre eletrodos (Edwards, 1977).

Os tipos de inversão mais utilizados na interpretação de dados de resistividade e cargabilidade são a inversão por blocos ou polígonos (*block inversion*) e a inversão por suavização (*smooth inversion*). O método da inversão por suavização, aplicado neste trabalho, utiliza o método matemático dos mínimos quadrados, que minimiza a soma dos quadrados dos erros entre a resposta do modelo e as observações. Através deste modelo, o software *Res2dinv* reconhece a subsuperfície terrestre como blocos retangulares que possuem valores constantes para o parâmetro investigado (Degroot-Hedlin & Constable, 1990).

Os dados gerados após a inversão 2D foram reunidos em um único arquivo, posteriormente utilizado na geração dos modelos de visualização 3D. Nesta fase, os arquivos de inversão das linhas foram reunidos e colocados em sequência e uma nova coluna que corresponde aos valores do eixo y foi adicionada para definir a posição de cada seção no espaço.

Posteriormente, o arquivo foi carregado no *Oasis Montaj* para gerar os modelos de visualização 3D. Os dados foram interpolados por meio do método da mínima curvatura, seguida da aplicação do método estatístico de mínima curvatura com objetivo de suavizar os valores centrais em relação às extremidades. Foram selecionados intervalos com valores específicos de cargabilidade com o objetivo de avaliar a morfologia das zonas sulfetadas.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram estabelecidos padrões únicos de escala de cores e valores para que as pseudo-seções de resistividade e cargabilidade sejam comparadas. Via de regra, cores quentes representam zonas de

alta resistividade e alta cargabilidade e cores frias representam zonas de baixa resistividade e baixa cargabilidade.

Os dados de resistividade processados mostram intervalos de valores que variam entre 20 $\Omega.m$ e 6.000 $\Omega.m$, com predomínio de baixos valores de resistividade no topo das seções e aumento destes valores com o aumento da profundidade (Figura 11). Essa zona de transição dos valores de baixa para alta resistividade ocorre, em geral, a partir de 20 m de profundidade e culmina em zonas representadas por valores de resistividade superiores a 1176 $\Omega.m$.

Nesse contexto, estas zonas são bem expressivas, geralmente horizontalizadas com um padrão caótico no topo. Além disso, todos os modelos de inversão para a variável resistividade apresentam, com maior ou menor intensidade, zonas de alta resistividade posicionadas no centro ou nas extremidades das seções.

Os dados das linhas 1, 2 e 4 apresentaram resultados similares com zonas resistivas pouco expressivas nas extremidades das seções. Estas linhas apresentam entre as distâncias de 95,0 e 100,0 m pequenas zonas com valores de resistividade em torno de 1100 $\Omega.m$. Na linha 1, esta zona resistiva está posicionada sobre os veios de quartzo que afloram no corte de estrada.

Nas distâncias de 0,0 a 100,0 m essa mudança ocorre abaixo de 20 m. A partir da posição 100 m até o fim destas linhas ocorre um aumento na espessura da zona com baixa resistividade. Em campo, a distância de 210,0 m representa a posição final de cada linha, onde o relevo é um pouco mais elevado em relação ao início das linhas.

Outra feição identificada nas pseudo-seções é a presença de zonas resistivas com valores entre 1176 $\Omega.m$ e 6000 $\Omega.m$, localizadas na posição 50,0 e 130,0 m, nas profundidades entre 15,0 e 25,0 m, respectivamente. Embora de pouca proporção, essas zonas possuem valores de resistividade expressivos.

O topo da linha 3 é marcado pela presença de uma zona horizontal com valores de resistividade inferiores a 100 $\Omega.m$. A partir de 5,0 m de profundidade, os valores para resistividade aumentam abruptamente e marcam o início de uma zona resistiva, com valores superiores a 1176 $\Omega.m$. Na posição 40,0 m, ocorre uma zona circular, altamente resistiva, delineada por uma zona com valores moderados.

As linhas 5 e 6 apresentam duas zonas elípticas alongadas com valores de resistividade superiores a 2656 $\Omega.m$. Estes intervalos delineiam, nas duas pseudo-seções, zonas altamente resistivas que,

aparentemente, possuem continuidade abaixo de 105,0 m de profundidade. Entre as duas zonas resistivas da linha 5, há uma zona de baixa resistividade com valores inferiores a 500 Ω .m.

A linha 6 possui também uma zona verticalizada posicionada na distância de 95,0 m. Entretanto, os valores de resistividade para esta linha são mais elevados em comparação aos valores de resistividade apresentados na linha 5. Particularmente, esta linha apresenta na distância de 110,0 m uma zona altamente resistiva, com valores acima de 6000 Ω .m.

De modo geral, os resultados geofísicos de cargabilidade apresentaram valores acima de 1,5 mV/V. As linhas 1, 2, 4 e 5 apresentam os maiores contrastes de cargabilidade, caracterizadas pela presença de áreas com alta cargabilidade ($> 5,0$ mV/V), localizadas entre as posições 100,0 m e 170,0 m (Figura 12). O topo destas linhas, até as profundidades de 15 m, é caracterizado por zonas com valores de cargabilidade abaixo de 2,6 mV/V.

Na linha 3 são encontradas pequenas anomalias de formato circulares subaflorantes de alta cargabilidade, ($\pm 5,0$ mV/V), localizadas no centro da seção entre as posições de 50,0 e 130,0 m. Em subsuperfície, as zonas com altos valores de cargabilidade são contínuas da base até o topo enquanto nas extremidades ocorrem pequenas zonas contrastantes com valores de cargabilidade inferiores a 2,6 mV/V.

Em compartida, a linha 6 exibe os menores contrastes de cargabilidade com valores abaixo de 1,9 mV/V. Nesta seção predominam zonas com formato inclinado com valores de cargabilidade que aumentam gradativamente para a porção SE desta linha.

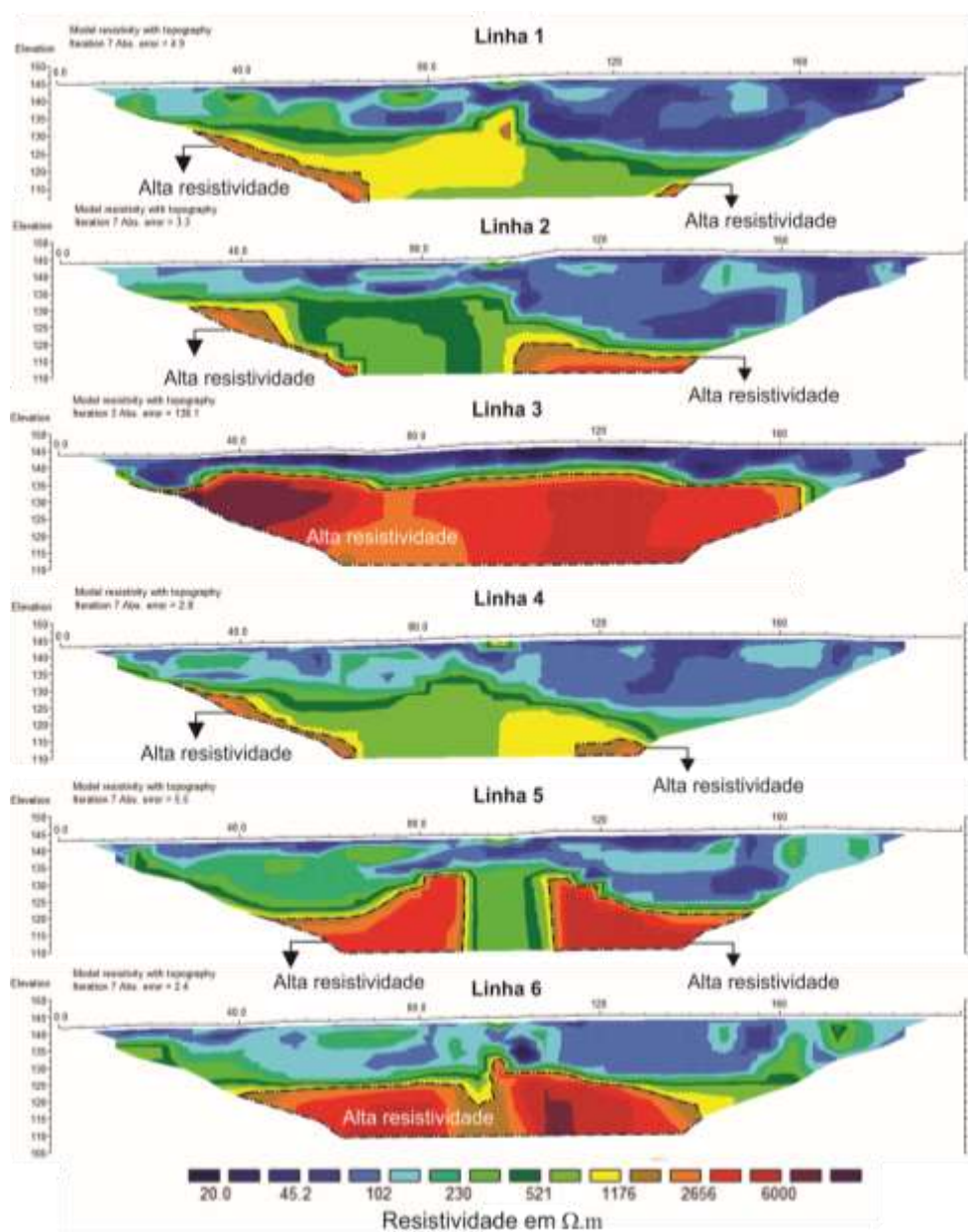


Figura 11: Seções 2D de resistividade para as linhas de aquisição elétrica.

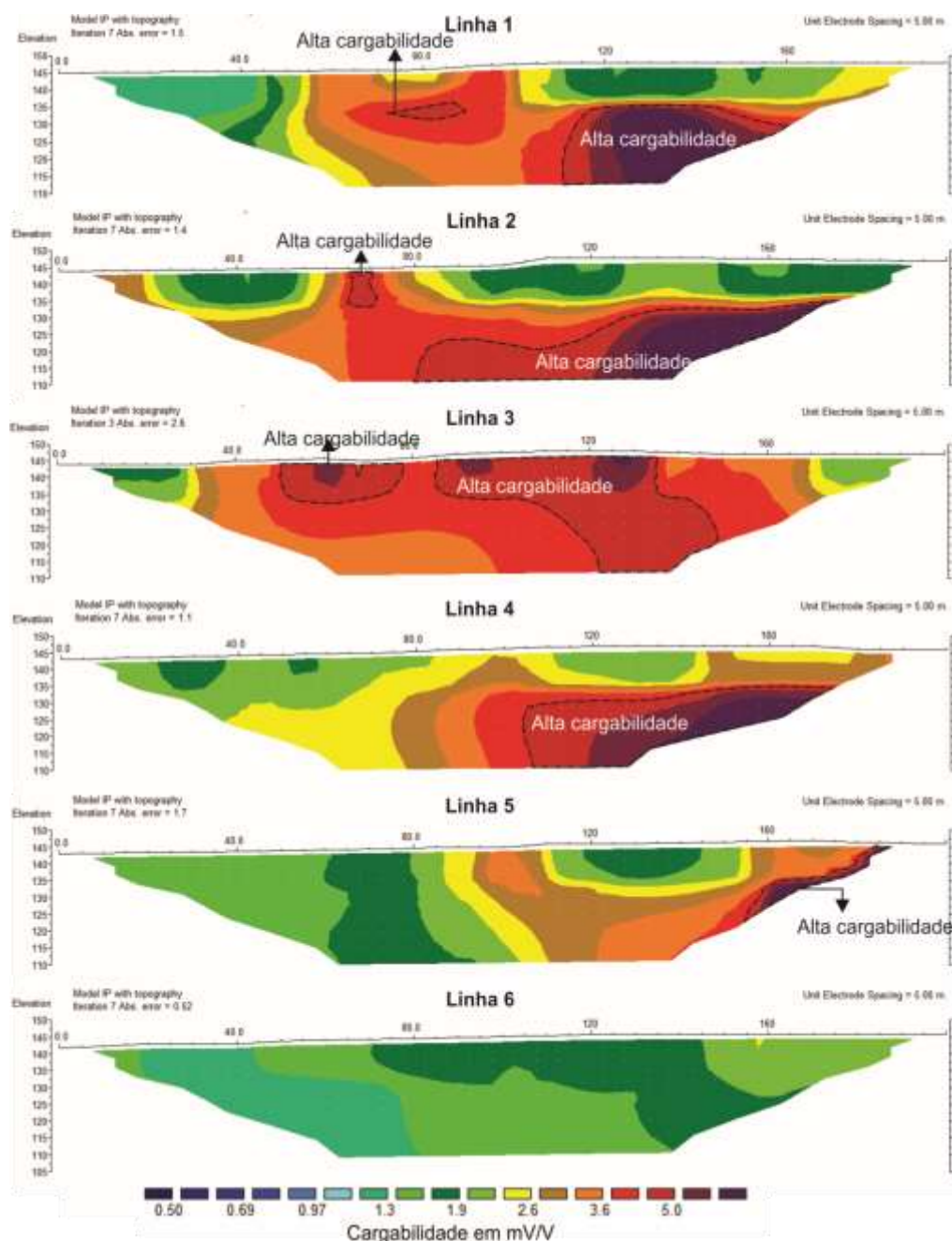


Figura 12: Seções 2D de cargabilidade para as linhas de aquisição elétrica.

A partir da interpolação dos dados mostrados nas pseudo-seções, foram gerados modelos de visualização 3D para a variável cargabilidade (Figura 13). Tais modelos não foram elaborados para a variável resistividade devido ao baixo contraste entre os veios de quartzo e a rocha encaixante. Foi observado nas pseudo-seções de cargabilidade que os valores que indicam alta cargabilidade eram superiores a 4,0 mV/V. Assim, esse valor foi definido para a superfície de contorno que gerou o modelo 3D de representação morfológica.

Os modelos mostram dois corpos sulfetados mais expressivos em dimensão associadas possivelmente à ocorrência de cassiterita. A existência de duas zonas bem definidas e alongadas na direção N30W é indicativo dos locais de acúmulo de sulfetos em subsuperfície, localizados entre as posições 120,0 e 198,0 m. Os modelos revelam ainda a existência de três pequenos corpos circulares rasos, coincidentes com pequenas zonas destacadas nos modelos de inversão 2D.

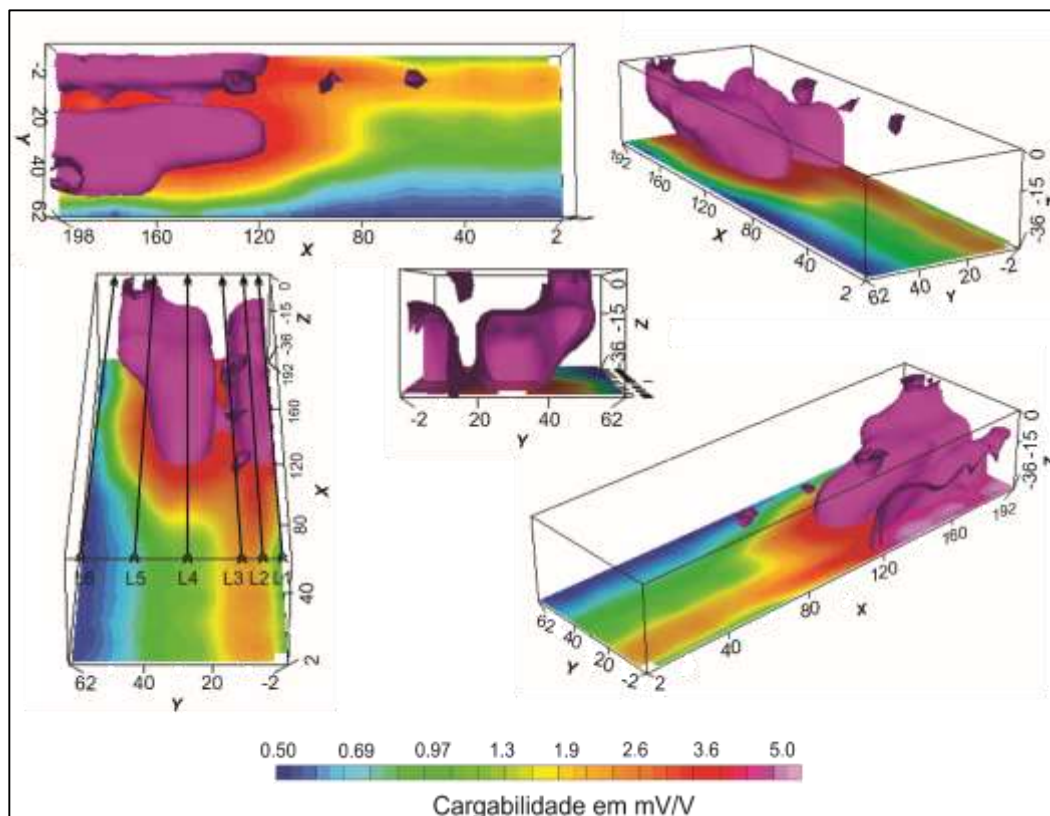


Figura 13: Modelos de visualização 3D para a variável cargabilidade, gerados a partir da interpolação dos modelos de inversão 2D. As setas indicam a direção de aquisição dos dados.

Diversas pesquisas utilizam os métodos geoeletricos na identificação e detalhamento de zonas mineralizadas em ouro, cobre e sulfetos associados à alteração hidrotermal, com assinatura geofísica característica. Irvine e Smith (1990), utilizaram os métodos geofísicos na prospecção de ouro epitermal. Os resultados mostraram que, em geral, a alteração hidrotermal diminui a resistividade das rochas para valores entre 50 e 250 $\Omega.m$. Os autores identificaram um forte sinal de cargabilidade junto à zona de baixa resistividade, o que foi interpretado como veios mineralizados em ouro e sulfetos.

Park, You e Kim (2009) utilizaram o método da eletrorresistividade no estudo de uma mineralização de ouro, prata e sulfetos associada a falhas e zonas de cisalhamentos. O estudo demonstrou que a mineralização ocorre nas zonas de baixa resistividade ($< 100 \Omega.m$), uma vez que as rochas encaixantes (xistos e hornfels) são mais resistivas que a zona mineralizada.

Sultan et al., (2009) é descrevem a relação entre cargabilidade e resistividade na delimitação de zonas mineralizadas em ouro e sulfetos em uma zona de cisalhamento no Egito. A partir da interpretação dos dados geofísicos, estes autores identificaram vários corpos mineralizados, independentes, com valores de baixa resistividade ($< 75 \Omega.m$) e alta cargabilidade ($> 75 \text{ msec}$). A comparação das seções 2D indicaram que a zona mineralizada ocorre entre as profundidades 15,0 e 66,0 m e possuem largura entre 52,6 e 165,2 m.

Na Província Central de Dalli (Irã), Golestan et al., (2012) utilizaram os métodos geoeletricos, magnetometria e dados geoquímicos na locação de furos de sondagem em um depósito do tipo cobre-pórfiro. Os perfis de IP e resistividade identificaram uma zona de alta cargabilidade ($> 44,0 \text{ mV/V}$) e baixa resistividade ($< 36,8 \Omega.m$) interpretada como a zona mineralizada em cobre, ouro e sulfetos (pirita, arsenopirita e bornita). Com base nesses dados, os autores definiram que a zona mineralizada possui alta susceptibilidade magnética, baixa resistividade e alta cargabilidade, confirmado através de análise química em amostras de rochas.

Gouet et al., (2013) aplicaram os métodos da Eletroresistividade da Polarização Induzida no mapeamento de uma ocorrência de ouro localizada em Camarões (África). O estudo mostrou que a mineralização ocorre em locais com altos valores de cargabilidade ($> 13 \text{ mV/V}$) e baixos valores de resistividade ($< 2500 \Omega.m$). Os autores interpretam que as zonas condutivas são veios de quartzo com sulfetos metálicos e ouro disseminados. As zonas com altos valores de resistividade ($> 2500 \Omega.m$), são interpretadas como rocha estéril.

No Complexo de Jashpur, região central da Índia, Kumar et al., (2017) aplicaram os métodos geoeletricos na investigação de zonas potencialmente mineralizadas em ouro e sulfetos. Os resultados mostraram uma correlação entre baixa resistividade ($< 1058 \Omega.m$) e alta cargabilidade ($> 9,0 \text{ mV/V}$), interpretadas pelos autores como as zonas de acúmulo do minério.

Moreira et al., (2016) utilizaram os métodos geoeletricos no estudo de um veio de quartzo mineralizado em ouro, localizado em uma mina desativa no Rio Grande do Sul (RS). Os resultados permitiram a caracterização geofísica da zona mineralizada por alta resistividade ($> 1000 \Omega.m$) e alta cargabilidade ($> 30 \text{ mV/V}$). Através dos modelos de visualização 3D, os autores definiram as superfícies de contorno para os parâmetros físicos medidos e a morfologia da zona mineralizada.

Diante do exposto, alguns trabalhos mostram uma assinatura geofísica de alta cargabilidade e baixa resistividade para a zona mineralizada e outros apresentam alta cargabilidade e alta resistividade para a zona de acúmulo do minério. Isso ocorre devido o contexto geológico de cada depósito. No caso do

presente trabalho, a zona mineralizada é reconhecida por alta cargabilidade e alta resistividade, devido ao contraste entre os xistos-quartzosos (encaixantes) e os veios que hospedam a mineralização.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados neste trabalho são baseados em dados indiretos e em modelos genéticos de mineralizações de estanho associadas a hidrotermalitos e a veios de quartzo. Na área de estudo ocorrem dois conjuntos de veios de quartzo com direções N70E e N30W, relacionados, respectivamente, à expansão da câmara magmática e às fases finais de cristalização do Granito São Sepé.

Os dados geofísicos mostraram que a sulfetação ocorre disseminada nos veios de quartzo com direção N30W, cuja gênese está associada à migração das soluções aquosas ricas em sílica e em elementos químicos como Sn, As e Mo, responsáveis pelas mineralizações de sulfeto, ouro e cassiterita.

Nos modelos de inversão 2D foi possível identificar zonas com alta cargabilidade. As zonas com baixos valores (inferiores a 1.9 mV/V) estão relacionadas aos quartzo-xistos descritos em campo e as zonas com valores superiores a 4.0 mV/V reconhecidas nas seções, são interpretadas como acumulações de sulfetos e cassiterita. Essa hipótese é baseada no reconhecimento da paragênese mineral (sulfetos) associada às mineralizações de cassiterita na região de estudos. Já nos modelos de inversão 2D para resistividade apresentaram zonas resistivas associadas, possivelmente, aos veios de quartzo e/ou quartzo-xistos do Complexo Metamórfico Vacacaí. As zonas com baixos valores de resistividade posicionadas no topo das seções indicam, provavelmente, perfil de alteração do solo.

Os modelos de visualização 3D permitiram definir dois corpos sulfetados até 36,0 m de profundidade, limite máximo de investigação, mas com indicativo de continuidade. Aparentemente, estes corpos possuem continuidade no sentido das linhas de aquisição, ou seja, para dentro do granito.

Ao contrário do que foi sugerido, a investigação geofísica revela que na área investigada ocorrem dois ou mais corpos sulfetados, independentes, com dimensões expressivas e não um único corpo mineralizado conforme indicado pela CPRM (1995).

Através da análise integrada entre os parâmetros de resistividade e cargabilidade, é possível observar que algumas zonas de alta resistividade correlacionam com as zonas de alta cargabilidade. Entretanto, o parâmetro resistividade não foi suficiente para definir zonas potencialmente mineralizadas, pois tanto a rocha hospedeira como a encaixante são resistivas. No caso específico da mineralização

estuda, o parâmetro cargabilidade foi utilizado para definir as prováveis zonas de acúmulo da cassiterita e dos sulfetos, devido o contraste entre os padrões de cargabilidade da rocha encaixante e da rocha hospedeira.

Os resultados mostraram contrastes entre as propriedades físicas da rocha encaixante e a zona de ocorrência da cassiterita. Assim, o modelo 3D para cargabilidade foi importante na definição morfológica da zona sulfetada. O modelo indicou uma geometria alongada na zona com alta cargabilidade, sua orientação e permitiu estabelecer também que a mineralização possui, aparentemente, continuidade abaixo de 36,0 m.

Com base na relação entre os padrões de cargabilidade e os modelos genéticos comuns para as mineralizações de estanho, é recomendado a abertura de trincheiras para amostragem e análise direta de rocha com a finalidade de avaliar a distribuição espacial dos teores de estanho na área investigada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIOTTI, J. L. S. Interpretação e modelamento de dados geoquímicos e de sensoriamento remoto por meio da análise de componentes principais: implicações na exploração de depósitos de metais no escudo Sul-riograndense. 1999. 247 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- BABINSKI, M. et al. Juvenile accretion at 750-700 Ma. In Southern Brazil. *Geology*, v. 24, p. 439 – 442, 1996.
- BIONDI, J.C. Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.
- BORBA, A.W. Evolução geológica da "Bacia do Camaquã" (Neoproterozóico e Paleozóico Inferior do Escudo Sul-rio-grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica. 2006, 110 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- CARNEIRO, H. P. Integração de dados geofísicos e estruturais no estudo de ocorrência de cobre localizada na região norte da Bacia Sedimentar do Camaquã (RS). 2016. 94 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.
- CHEMALE JR, F. Evolução geológica do Escudo Sul-Riograndense. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000, p.13-52.
- CÔRTEZ, A. R. P. et al. Geoelectrical prospecting for a copper-sulfide mineralization in the Camaquã sedimentary basin, Southern Brazil. *Geofísica Internacional*, v. 55, n. 3, p. 165-174, 2016.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Passo do Salsinho, Folha SH-22-Y-AI-4, Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:50.000. Programa Levantamentos Geológicos do Brasil. p. 372, 1995.
- DEGROOT-HEDLIN, C., CONSTABLE, S. Occam's Inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, v. 55, p.1613-1624, 1990.
- DENTITH, M.; MUDGE, S. T. *Geophysics for the Exploration Geoscientist*. Cambridge University Press, New York, 2014, 516 p.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Balanço Mineral Brasileiro. Brasília: DNPM, 2015. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015/view>.
- EDWARDS. L. S. A modified pseudosection for resistivity and induced-polarization. *Geophysics*, v. 42, p. 1020 – 1036, 1977.
- FRAGOSO CÉSAR, A. R. S. O Cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Riograndense. In: XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú (SC), vol. 5, p. 2879 – 2892, 1980.
- GASTAL, M. C. P.; LAFON, J. M; CHEMALE Jr., F. U-Pb and Pb-Pb zircon ages of Neoproterozoic-Eopaleozoic granites from the western portion of the southern Brazilian Shield. In: Southern America Symposium on Isotope Geology, 7., 2010, Brasília., Short Papers VII SSAGI, p. 4, 2010.

GASTAL, M.C.P. et al. U-Pb and Pb-Pb zircon ages of Neoproterozoic-Eopaleozoic granites from the western portion of the southern Brazilian Shield, in: South American Symposium on Isotopic Geology. Short Papers VII SSAGI, Brasília, 2010.

GASTAL, M. C.; FERREIRA, F. J. F. Discussão dos processos de construção do complexo granítico São Sepé, RS: feições geológicas e petrográficas. Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, n. 40, p. 233 – 258, 2013.

GOLESTAN, F. D. et al. Interpretation of lithogeochemical and geophysical data to identify the buried mineralized area in Cu-Au porphyry of Dalli-Northern Hill. Arabian Journal of Geosciences. v. 6:p. 4499 – 4509, 2013.

GOUET, D. H. et al. Gold mineralization channels identification in the Tindikala-Boutou area (Eastern-Cameroon) using geoelectrical (DC & IP) methods: a case study. International Journal of Geosciences, v. 4, p. 643-655, 2013.

HARTMANN, L. A. et al. Deepest exposed crust of Brazil-SHRIMP establishes three events. Geology, v. 27, p. 947-950, 1999.

HARTMANN, L. A.; PORCHER, C. C.; REMUS, M. V. D. Evolução das Rochas metamórficas do Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Eds.). Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000, p. 79-118.

HARTMANN, L. A.; CHEMALE JR., F.; PHILIPP, R. P. 2007. Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: Iannuzzi, R. & Frantz, J.C. (Ed.): 50 ANOS de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições, Rio Grande do Sul, 2007, p. 97-123

HASUI, Y.; ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NESVES, B. B. As estruturas brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Recife. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, 1978, vol. 6, p. 2423 – 2437.

IRVINE, R.; SMITH, M. Geophysical exploration for epithermal gold deposits. Journal of Geochemical Exploration, Elsevier, v. 36, n. 1, p. 375 – 412, 1990.

KOPPE, J. C. Metalogênese do ouro da Mina da Bossoroca, São Sepé, RS. 1990. 289 f. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

KUMAR, D. Gold - Sulphide mineralization in ultramafic-mafic-granite Complex of Jashpur, Bastar Craton, Central India: evidences from geophysical studies. Journal Geological Society of India. v. 90, p.147 – 153, 2017.

LICHT, O.A.B.1998: Prospecção geoquímica: princípios técnicas e métodos. Rio de Janeiro: CPRM, 1998. 216 p.

MATOS, I.C. et al. Metamorfismo de contato no complexo Bossoroca, porção SW do complexo granítico São Sepé, RS. Revista Brasileira de Geociências, v. 34, n. 1, p. 1 – 10, 2004.

MOON, C.J.; WHATELEY, M.K.G.; EVANS, A.M. Introduction of mineral exploration. 2ªed., Blackwell Publishing, Malden, 499 pp., 2006.

MOREIRA, C. A.; ILHA, L. M. Prospeção geofísica em ocorrência de cobre localizada na bacia sedimentar do Camaquã (RS). *Revista Escola de Minas (REM)*, Ouro Preto, v. 64, n. 3, p. 305-311, 2011.

MOREIRA, C. A. et al. Geoelectrical prospection of disseminated sulfide mineral occurrences in Camaquã Sedimentary Basin, Rio Grande do Sul state, Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 30, n. 2, p. 169-179, 2012.

MOREIRA, C. A.; PEREIRA, A. M.; CAVALHEIRO, M. L. D. Caracterização geoelétrica do gabro Santa Catarina, São Sepé (RS). *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 41, n. 1, p. 15-23, 2014.

MOREIRA, C. A et al. Geophysical modeling in gold deposit through DC Resistivity and Induced Polarization methods. *Revista Escola de Minas (REM)*, Ouro Preto, v. 69, n. 3, p. 293-299, 2016.

MUSSET, A. E. e KHAN, A. M. Looking into the earth: an introduction to geological geophysics. Cambridge University Press, 2000.

PAES, R. A. S. Tomografia elétrica aplicada em ocorrência mineral de cobre, Caçapava do Sul (RS). 2016. 61 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.

PARK, J. Oh.; YOU, Y.J.; KIM, H. J. Electrical resistivity surveys for gold-bearing veins in the Yongjang mine, Korea. *J. Journal of Geophysics and Engineering*. v. 6, p. 73 – 81, 2009.

PIRAJNO, F. Hydrothermal Processes and Mineral Systems. Austrália: Springer, 2009.

PORCHER.C.C; FERNANDES, L. A. D.; MONTEIRO, A. Zoneamento metamórfico das granadas e dados de geotermometria dos metamorfitos Cerro do Facão - Suíte Metamórfica Porongos (RS). IN: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5. Gramado, 1995. Boletim de resumos Expandidos. Gramado, SBG. p.69 – 70, 1995.

REED, B. L. Descriptive model of Sn greisen deposits. In: COX, D. P.; SINGER, D. A (Org.). Mineral deposit models. U.S.Geological Survey Bulletin, n.1693, 1987.

REMUS, M. V. D. Metalogênese dos depósitos hidrotermais de metais-base de Au do Ciclo Brasileiro no Bloco São Gabriel, RS.1999. 170 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

ROOB, L. Introduction to ore-forming processes. Oxford: Blackwell, 2005.

SANTOS, S. F. Caracterização de ocorrência de cobre por meio de levantamento estrutural e geofísico em ocorrência de cobre em faixa de dobramentos na região de Caçapava do Sul (RS). 2017. 74f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2017.

SHCHERBA, G. N. Greisens (parte 1). *Intern. Geol. Rev.*, Lawrence; Allan Press, vol.12, n. 2, 1970 a.

SHCHERBA, G. N. Greisens (parte 2). *Intern. Geol. Rev.*, Lawrence; Allan Press, vol.12, n. 3, 1970 b.

SULTAN A. S. et al. Geophysical exploration for gold and associated minerals, case study: Wadi El Beida area, South Eastern Desert, Egypt. *Journal of Geophysics and Engineering*. v.6, p. 345 – 356, 2009.

Capítulo 7



10.37423/220806368

FORMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO MAIS ENCONTRADAS NAS ETE'S DO CEARÁ

George Émerson Pereira Farias

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Yonara Matos Madeiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Cristiano Dantas Araújo

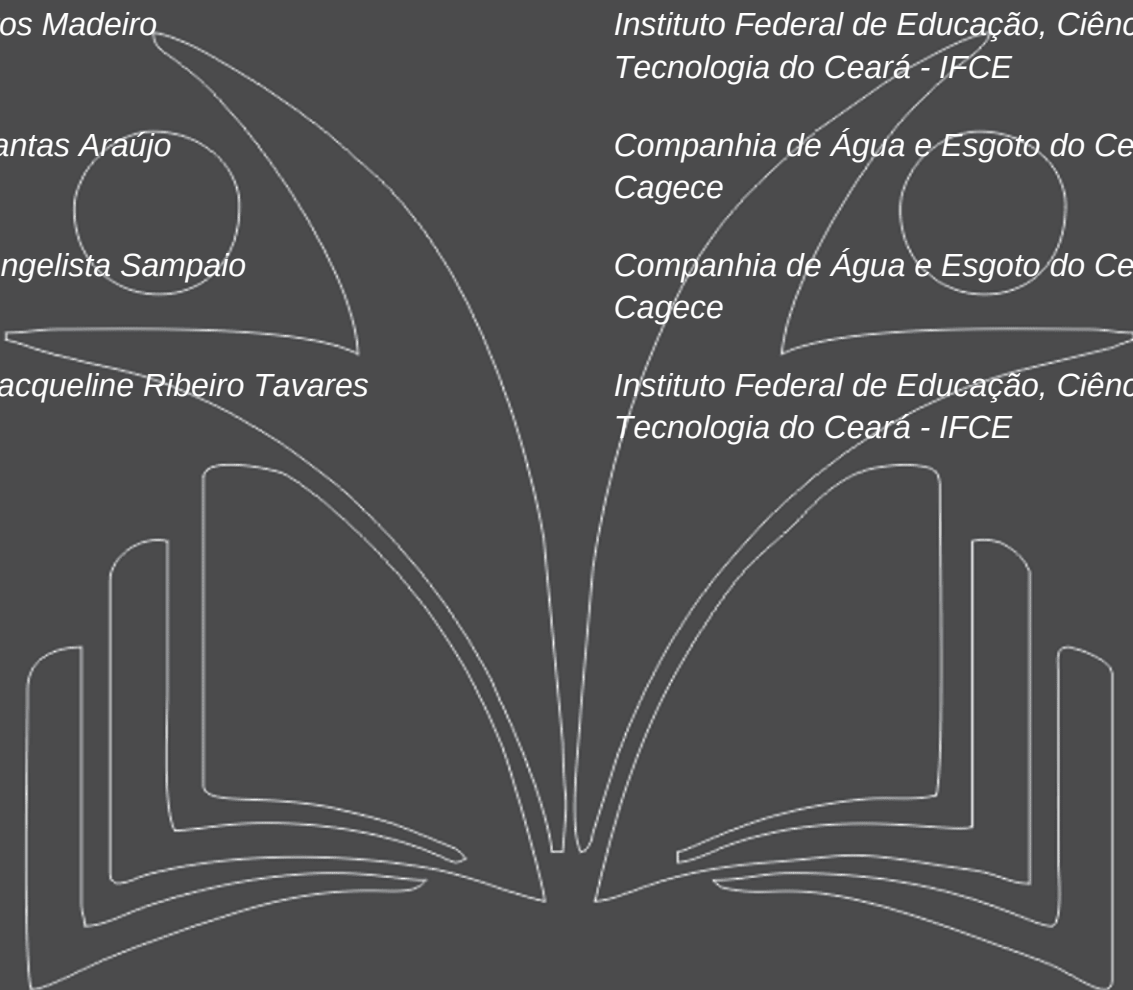
Companhia de Água e Esgoto do Ceará - Cagece

Abraão Evangelista Sampaio

Companhia de Água e Esgoto do Ceará - Cagece

Francisca Jacqueline Ribeiro Tavares

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE



Resumo: As estações de tratamento de esgoto durante o seu processo tratamento de efluentes produz subprodutos que são prejudiciais ao meio ambiente. A depender da tecnologia utilizada e das características do esgoto há alteração na quantidade e dos tipos de subprodutos. Conhecer as formas de tratamento de esgoto existentes em uma região é importante para mensurar os tipos, quantidades e características dos resíduos do tratamento de esgoto e planejar a destinação final adequada. O presente trabalho teve como objetivo determinar as tecnologias de tratamento mais implementadas nas ETE's e sua distribuição no estado do Ceará. Como resultado constatou-se o decanto digestor com filtro anaeróbio e cloração (DD+FA+CL), lagoas de estabilização (LE) e reator anaeróbio de fluxo ascendente com cloração (UASB+CL) como as três formas de tratamento mais comuns e maior número de estações na capital do estado do Ceará.

Palavras-chave: estação de tratamento de esgoto, decanto digestor, lagoas de estabilização, UASB, lodo.

INTRODUÇÃO

O Brasil tratou menos da metade (40,1%) de todo o esgoto produzido em 2019 (SNIS, 2020) por meio de diversas tecnologias ou combinações entre elas. Este dado também mostra um grande espaço para ampliação e implantação de novas estações de tratamento de esgoto afim de evitar o lançamento de efluente bruto na natureza e os seus prejuízos ambientais.

No entanto, a operação da estação de tratamento de esgoto (ETE) causa danos ao ecossistema devido a geração de subprodutos. Durante o tratamento do esgoto há a produção de efluente tratado, lodo e biogás, sendo que os dois últimos desafiam a gestão sustentável do equipamento (ZHANG e LIN, 2020; KISELEV et al., 2019; SILVA et al., 2007; CORNELLI et al., 2014).

Isso porque, normalmente o lodo é enviado para o aterro sanitário onde, durante a sua degradação, há emissão de gases do efeito estufa. Já o biogás é lançado direto na atmosfera, e por possuir elevada concentração de metano, provoca maus odores próximo à estação, risco de combustão e contribui 20 vezes mais para o efeito estufa que o gás carbônico (CHERNICARO, 2007; CORNELLI et al., 2014; MAKISHA e SEMENOVA, 2018).

Para reduzir esses impactos causados pelos sistemas de esgotamento sanitário durante a operação é importante conhecer a cobertura de atendimento do saneamento, as características do efluente produzido e as tecnologias disponíveis, sendo assim possível escolher a forma de tratamento que melhor se adequa ao efluente, as condições da região e promover uma melhor destinação dos subprodutos.

As tecnologias mais utilizadas no Brasil para tratamento de esgoto são reatores anaeróbios, seguido por lagoas de estabilização, processos simplificados e lodos ativados. Os reatores anaeróbios estão presentes em 37,4% dos sistemas de tratamento de esgoto com 1373 ETE's, as lagoas de estabilização representam 35,2% das ETE's com 1291 unidades, os processos simplificados ocupam 12% das estações com 442 unidades, os lodos ativados possuem 9,7% de representação com 354 estações e 5,7% com 208 sistemas estão classificados com outras formas de tratamento. (ANA, 2020).

Verifica-se que os reatores anaeróbios, lagoas de estabilização, processos simplificados e lodos ativados representam 94,3% das estações brasileiras. Isso se justifica parcialmente devido as características técnicas de cada tipo de tratamento como também aos aspectos locais de cada região (ANA, 2020).

Mesmo o Brasil tratando quase a metade do esgoto produzido, na região Nordeste apenas 33,7% do efluente produzido é tratado e no estado do Ceará apenas 42,8% dos municípios operados pela companhia estadual de saneamento possui acesso a coleta e tratamento de esgoto (SNIS, 2020; ALECE, 2021).

O estado do Ceará possui 185 municípios em que a gestão de seus sistemas de abastecimento de água (SAA) e sistemas de esgotamento sanitário (SES) são operados pela companhia estadual ou pelo município. A companhia estadual possui a concessão de 152 municípios ficando os 33 sistemas restantes operados pela própria gestão municipal (ALECE, 2021).

Dos 152 sistemas operados pelo governo estadual 75 possuem serviços de coleta e tratamento de esgoto correspondendo a 100% do esgoto produzido por esses municípios e 42,8% da população do estado. No grupo de 33 sistemas geridos pelos próprios municípios 19 possuem coleta e estação de tratamento de esgoto (ETE), porém algumas dessas ETE encontram-se desativadas e todos utilizam lagoas de estabilização como forma de tratamento (ALECE, 2021; CAIXETA, 2010).

Conhecer os sistemas as tecnologias utilizadas no estado para tratar esgoto é o primeiro passo para quantificar a produção de resíduos e propor uma melhor destinação desse material ou reaproveita-lo de forma sustentável.

OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as tecnologias de tratamento de esgoto mais utilizadas e sua distribuição no território cearense.

METODOLOGIA

A pesquisa trabalhou os dados de ETE's operadas pela gestão estadual devido maior representatividade nos municípios cearenses, quantitativo de estações e facilidade de acesso as informações.

Os dados referentes as estações de tratamento de esgoto foram cedidas foram organizadas em planilha eletrônica. Os casos de ETE's sem informações sobre a forma de tratamento e com as tecnologias menos comuns foram agrupadas em demais tecnologias de tratamento.

As formas de tratamento foram representadas por suas iniciais seguindo a designação: decanto digestor – DD, filtro anaeróbio – FA, lagoas de estabilização - LE e desinfecção por cloração – CL.

Após organização das informações executou-se análise dos dados de forma a identificar as tecnologias de tratamento de efluente utilizada pela companhia. Os resultados foram organizados em tabelas contendo as quantidades e o percentual correspondente para as três tecnologias de tratamento com maior representação. As demais formas de tratamento foram agrupadas em outras tecnologias.

De modo a facilitar a visualização dos resultados, os percentuais foram agrupados em tabelas e gráficos de colunas por distribuição das tecnologias no estado.

RESULTADOS

As unidades de tratamento de esgoto operadas pelo estado totalizaram 266 estações distribuídas em todo o estado do Ceará, incluindo a Estação de Pré-condicionamento (EPC). De todas as 266 estações de tratamento de esgoto (ETE), 156 estão localizadas no município de Fortaleza, 75 no interior do Estado e 35 na região metropolitana de Fortaleza (RMF) conforme apresentado na Figura 1.

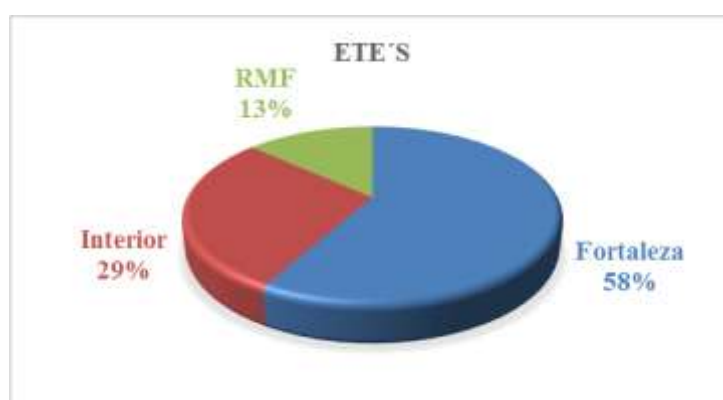


Figura 1: Distribuição de ETE's no Ceará. Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

É possível verificar que a maioria das estações da companhia (58%) estão localizadas na cidade de Fortaleza. A Tabela 1 apresenta as tecnologias mais utilizadas nas ETE's do estado, a quantidade de unidades e percentual correspondente.

Tabela 1. Tecnologias das ETE's e representatividade no estado.

Tipo de tratamento	Quantidade	Percentual
DD+FA+Cl	131	49,25%
LE	81	30,45%
UASB+Cl	25	9,40%
Demais tecnologias	29	10,9%

Fonte: Elaborada pelos autores (2022).

A forma de tratamento mais comum no estado foi o decanto digestor com filtro anaeróbio e cloração (DD+FA+CL) com 131 estações, seguido das lagoas de estabilização com 81 unidades e em terceiro lugar ficou o reator UASB com cloração (UASB+CL) com 25 ETE's. Essas três tecnologias correspondem a 89,1% de todas as estações de tratamento de esgoto operadas pela companhia.

CONCLUSÃO

Verificou-se elevado déficit na coleta e tratamento de efluentes do estado do Ceará. Isso mostra a importância de conhecer as experiências exitosas das técnicas utilizadas para contribuir no aumento da cobertura de saneamento.

Também se constatou que as três formas de tratamento mais comuns no estado são decanto digestor com filtro anaeróbio e cloração (DD+FA+CL), lagoas de estabilização (LE) e reator anaeróbio de fluxo ascendente com cloração (UASB+CL).

Como trabalhos futuros pode-se mensurar a quantidade de lodo e biogás gerado pelas tecnologias mais presentes nos sistemas, analisar o tratamento e a destinação final desses subprodutos, e propor melhorias para o aproveitamento sustentável desses materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas esgotos: Atualização da base de dados de estações de tratamento de esgoto no Brasil. Brasília: ANA, 2020. < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>>.
2. ALECE – ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO CEARÁ. Pacto pelo Saneamento Básico: Cenário atual do saneamento básico no Ceará. Ceará, 2021. < <https://www.al.ce.gov.br/index.php/pacto-saneamento-basico>>.
3. BRASIL. Ministério do desenvolvimento regional. Secretaria nacional de saneamento – SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2019. Brasília, 2020.
4. CAIXETA, C. E. T. (2010). Avaliação do atual potencial de reuso de água no Estado do Ceará e propostas para um sistema de gestão. 324 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, CE, Fortaleza, Brasil.
5. ZHANG, J.; LIN, M. Environmental sustainability assessment of a new seage treatmente plant in China based on infrastructure construction and operation phases emergy analysis. Water, v. 12, p. 484-507, 2020.
6. SILVA, M.E.R.; AQUINO, M.D.; SANTOS, A.B. (2007). Pós-tratamento de efluentes proveniente de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. (p.178-190). Revista tecnologia, v. 28, n. 2.
7. KISELEV, A. V.; MAGARIL, E. R.; RADA, E. C. Energy and sustainability assessment of municipal wastewater treatment under circular economy paradigm. Energy and Sustainability VIII – WIT Transactions on Ecology and the Enviroment, vol. 237, p. 109-120, 2019.
8. CORNELLI, R.; AMARAL, F.G.; DANILEVICZ, A.G.F.; GUIMARÃES, L.B.M. Métodos de tratamento de esgoto doméstico: uma revisão sistemática. REA – Revista de estudos ambientais (online), v.11, n.2, p. 20-36, jul./dez. 2014.
9. CHERNICHARO, C.A.L. Reatores anaeróbios. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007.
10. MAKISHA, N.; SEMENOVA, D. Production of biogas at wastewater treatment plant and its further application. MATEC Web of conferences, 2018.

Capítulo 8



10.37423/220806371

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE VIDRO RECICLADO NO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL: REVISÃO

Maria Clara Batista

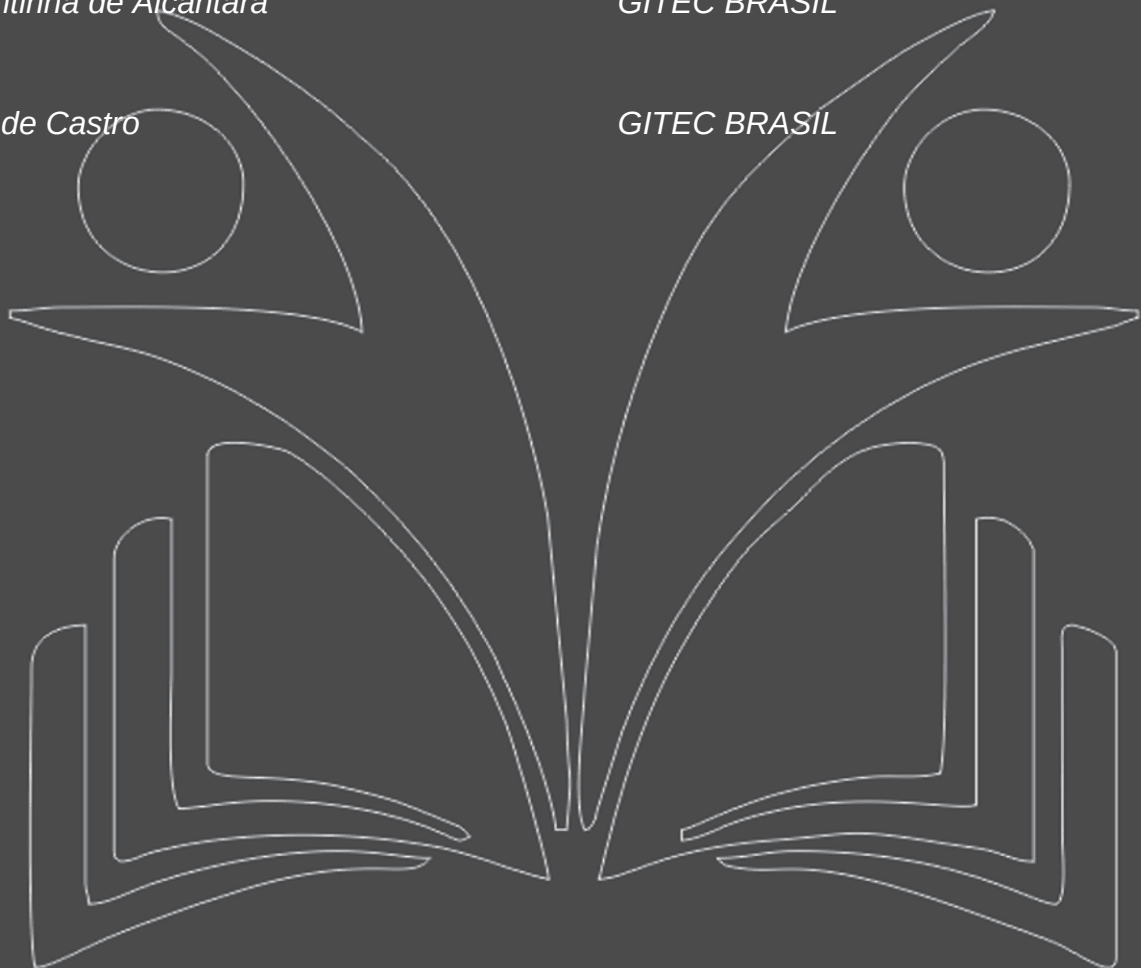
GITEC BRASIL

Patrícia Fontinha de Alcantara

GITEC BRASIL

Luiza Maia de Castro

GITEC BRASIL



Resumo: O vidro faz parte do nosso dia a dia, sendo constituído principalmente por areia, recurso natural que, após ser extraído, é encaminhado para empresas de fabricação deste material. O vidro é então produzido a partir da mistura dos compostos inorgânicos (sílica, soda e calcário) por processo de fusão. Em seguida, é encaminhado para diferentes setores da indústria de acordo com sua aplicação: embalagens, vidros planos, fibras de vidro, vidros domésticos e vidros especiais. O vidro empregado como constituinte de embalagens para a indústria de alimentos e bebidas é, então, encaminhado para as envasadoras, onde são utilizados para acondicionar os produtos de interesse. Segue-se, assim, o fluxo de consumo, passando por distribuidoras, varejistas, até o consumidor final. A partir desse ponto, o vidro pós-consumo pode seguir por diferentes caminhos: descarte irregular, coleta convencional e coleta seletiva, sendo um material que possui amplo potencial de reutilização e reciclagem, podendo ser reciclado inúmeras vezes, caso seja descartado corretamente. Assim, o objetivo desta revisão é buscar entender novas alternativas para a reciclagem do vidro, de maneira a ampliar as possibilidades de uso de resíduos deste material, resultantes das embalagens pós-consumo, em outras cadeias produtivas, como a cadeia da construção civil, avançando na redução dos impactos provenientes dos processos produtivos e contribuindo para ampliar os resultados positivos ambientais, sociais e econômicos advindos da logística reversa do vidro. No artigo, serão demonstrados cases que reforçam a utilização do resíduo de vidro reciclado na construção civil como uma forma alternativa de uso do vidro, podendo ser aplicada em países com realidades distintas. Contudo, é necessário a realização de ensaios experimentais e análises estatísticas de maneira a avaliar com maior precisão a viabilidade de seu uso.

Palavras-chave: Reciclagem, vidro, construção civil, concreto, argamassa.

INTRODUÇÃO

O vidro faz parte do nosso dia a dia, presente na composição de embalagens, vidros planos, fibras de vidro, vidros domésticos e vidros especiais. É um material produzido principalmente a partir do uso de recursos naturais, como a areia, seu principal constituinte (SANTOS et al., 2019). Estima-se que o tempo mínimo de decomposição do vidro no meio ambiente, de acordo com a ANAVIDRO (Associação Nacional de Vidraçarias), seja de aproximadamente 4 mil anos, dependendo das condições às quais o material é submetido. Apesar do longo período necessário para sua decomposição, este material possui amplo potencial de reutilização e reciclagem (LIOTTO e SANTANA, 2020), podendo ser reciclado inúmeras vezes.

O Brasil produz em média 980 mil toneladas de embalagens de vidro (TRENTIN et al., 2020) e, entre elas, as do tipo long neck são um desafio para a gestão de resíduos sólidos nacional. São conhecidas como embalagens one way, uma vez que não são reutilizáveis e são pouco recicladas (COSTA et al., 2020). O baixo índice de reciclabilidade de tais materiais é decorrente de diversos fatores, como: consumo distribuído, ausência de um plano de logística reversa efetivo, distância dos centros vidraceiros, baixa rentabilidade dos cacos e riscos associados ao manuseio (TRENTIN et al., 2020).

A cadeia do vidro (Figura 1) tem início com o processo de extração de minerais não-ferrosos, especificamente da areia - material constituído de sílica e principal constituinte do vidro. A areia é direcionada, em seguida, para os fabricantes de vidro. Dentre os diversos tipos de vidro, o mais comum - o vidro de soda-cal - é, então, produzido a partir da mistura dos compostos inorgânicos (sílica (SiO_2) - que compõe entre 65 e 70% do vidro; barrilha ou soda (Na_2CO_3) e calcário (CaCO_3)), que, ao serem misturados e submetidos ao processo de fusão nas proporções definidas, atingem uma condição rígida por resfriamento sem haver cristalização (BARROS, 2016). Esse material é, em seguida, encaminhado para diferentes setores da indústria de acordo com sua aplicação. O vidro empregado como constituinte de embalagens é, então, encaminhado para as envasadoras, onde são utilizados para acondicionar os produtos de interesse. Segue-se, assim, o fluxo de consumo, passando por distribuidoras, varejistas, até o consumidor final.



Figura 1: A cadeia do vidro. Fonte: Autor do trabalho.

A partir desse ponto, o vidro pós-consumo pode seguir por diferentes caminhos, como, por exemplo:

- o descarte irregular, que gera impactos ambientais e sociais, sendo uma destinação ambientalmente inadequada;
- a coleta convencional, que apesar de ambientalmente adequada, não é a solução ideal quando se trata de resíduos de vidro, uma vez que não são biodegradáveis e demandam um aumento da necessidade de espaço para disposição final em aterros; e
- a coleta seletiva, rota pela qual o vidro continua circulando, após passar pela triagem e pelo beneficiamento, podendo ser reutilizado pelas envasadoras, reciclado no próprio processo produtivo, ou ser utilizado como matéria-prima secundária em outros setores da indústria, como o da construção civil.

Portanto, para produção do vidro, é necessário o uso de areia, o segundo recurso natural mais amplamente consumido no planeta, após a água doce (KOEHNKEN & RINTOUL, 2018). Estima-se que entre 32 e 50 bilhões de toneladas de areia e cascalhos sejam extraídos por ano no mundo (KOEHNKEN & RINTOUL, 2018). Para o Brasil, os últimos dados disponíveis são para o ano de 2014 e mostram que no país foram extraídas aproximadamente 390 milhões de toneladas de areia. Considerando-se que esse dado se encontra desatualizado, pode-se concluir que o volume de areia extraída no país é de proporção bem mais vultosa. A extração da areia pode causar diversos impactos ambientais (erosão costeira, ameaça à biodiversidade e habitats), sociais (aumento da vulnerabilidade de comunidades costeiras a enchentes) e econômicos (perdas econômicas para a indústria do ecoturismo) (KOEHNKEN & RINTOUL, 2018). Após sua extração, a areia pode ser utilizada amplamente por diversos setores além da indústria vidreira, como o da construção civil. Nesse setor, a areia é um dos principais agregados naturais miúdos, utilizados principalmente para a produção de argamassa (mistura de areia, aglomerante - cimento ou cal - e água) e concreto (mistura de agregado graúdo, agregado miúdo, cimento e água, podendo conter ou não aditivos químicos).

RECICLAGEM DO VIDRO: OPORTUNIDADES E DESAFIOS

Na cadeia do vidro, a reciclagem sempre se destacou e tem recebido ainda mais atenção nos últimos anos, havendo grandes investimentos para promover e estimular tal prática. A reciclagem do vidro apresenta as seguintes vantagens (LIOTTO e SANTANA, 2020):

- Reaproveitamento de 100% do caco de vidro, uma vez que para produção de 1 (uma) tonelada de vidro reciclado requer-se 1 (uma) tonelada de caco de vidro;
- Mitigação da exploração de novas jazidas de areia, com um menor consumo de recursos naturais;
- Diminuição do consumo de energia, uma vez que a temperatura de fusão do caco de vidro é inferior à temperatura de fusão da matéria-prima virgem;
- Diminuição da quantidade de vidro destinada aos aterros sanitários;
- Redução da emissão de gases de efeito estufa e da pegada ecológica do processo; e
- Geração de renda para os atores envolvidos.

Embora o vidro tenha o potencial de ser reciclado inúmeras vezes, existem algumas barreiras a serem superadas para sua ampla realização: o processo possui custos elevados - a depender das distâncias a

serem percorridas dos pontos de captação, da qualidade do caco, e das distâncias do ponto de beneficiamento à indústria que irá comprar o caco, esse processo pode ser economicamente inviável (LIOTTO e SANTANA, 2020) - e necessita de sistemas que deem suporte e que garantam, de fato, a reciclagem, como, por exemplo, conscientização e práticas em educação ambiental e implantação de coleta seletiva. Além disso, outros fatores, como os riscos atrelados ao manuseio, o peso, a baixa rentabilidade e a dificuldade de comercialização pela base da cadeia de reciclagem contribuem para a baixa adesão a essa prática em algumas localidades.

Apesar da reciclagem do vidro ser um processo vantajoso, apenas 47% do resíduo de vidro gerado no Brasil é reciclado (TRENTIN et al., 2020). Há, portanto, uma fração de vidro que não é reciclada e é descartada como resíduo sólido comum. No contexto de um país de dimensões continentais, é indispensável propor soluções alternativas para fechar o ciclo da cadeia do vidro, já que a viabilidade da logística reversa para a reciclagem do vidro ainda é um desafio no Brasil.

Entre as soluções, a logística reversa se apresenta como uma opção para que as embalagens de vidro pós-consumo possam ser reintroduzidas aos processos produtivos ou mesmo utilizadas em outras indústrias, sendo realizada por meio de canais de distribuição reversos, englobando diferentes formas de processamento e de comercialização. A logística reversa inicia-se pela separação do vidro, com a realização da coleta seletiva, a triagem - que consiste na limpeza (com a retirada de rótulos, por exemplo) e a separação dos resíduos de vidro por cor (branco, verde e âmbar) - e envio para a reciclagem, podendo haver a reintegração a ciclos produtivos como matéria-prima secundária.

Considerando-se os diversos setores econômicos, a construção civil é um dos que apresenta maior potencial de absorver os resíduos sólidos (TRENTIN et al., 2020). No caso dos resíduos de vidro, existem diversas aplicabilidades, sendo bastante discutido na literatura científica o aproveitamento desse resíduo através de sua reintrodução na cadeia produtiva da construção civil em processos de fabricação de concreto e argamassa, podendo ser utilizado em países com realidades distintas e de forma replicável (LIOTTO e SANTANA, 2020). Nos últimos anos, diversos estudos foram realizados para a incorporação de diferentes tipos de resíduos em materiais de construção, como tijolos, concreto normal, concreto asfáltico e outros materiais de pavimentação (MOHAJERANI et al., 2017; LIOTTO e SANTANA, 2020; TRENTIN et al., 2020; entre outros).

OBJETIVOS

O objetivo desse artigo, a partir da revisão bibliográfica do tema, é apresentar novas alternativas para desenvolver a economia circular na cadeia do vidro, buscando agregar valor a esta cadeia, ao utilizar o resíduo de vidro resultante das embalagens pós-consumo como possível matéria-prima secundária em outras cadeias produtivas como a cadeia da construção civil, avançando assim, de forma ainda mais significativa na redução dos impactos provenientes dos processos produtivos advindos da logística reversa do vidro.

METODOLOGIA

Para avaliar possíveis aplicações e casos em que o resíduo de vidro já é utilizado no setor de construção civil, foram consultados artigos e periódicos acadêmicos disponíveis nas seguintes bases de dados: *Google Scholar, Web of Science e Science Direct*; além disso, foram analisados textos jornalísticos, produzidos por instituições nacionais e internacionais.

Para a busca de artigos acadêmicos, as palavras-chaves *glass and recycl** and *construction* foram utilizadas como descritores para o período compreendido entre 1991 e 2021 (quando se utiliza * nas ferramentas de busca, é incluído na busca as diversas possíveis terminações; neste caso, por exemplo, a busca incluirá: *recycled ou recycling*). As buscas às bases de dados foram realizadas durante o mês de janeiro de 2022. A Tabela 1 a seguir sintetiza o total de resultados obtidos.

Tabela 1. Palavra-chave e número total de trabalhos encontrados em cada base de dados.

Palavra-chave	<i>Google Scholar</i>	<i>Web of Science</i>	<i>Science Direct</i>
<i>glass and recycl* and construction</i>	2020	736	135

O total de estudos em que constam palavras-chaves relacionadas à reciclagem de resíduos de vidro e construção civil é de 2891 trabalhos. Os critérios de exclusão à análise foram: publicações que não correspondiam ao tema desse trabalho, como aquelas relacionadas a outros usos na construção civil (por exemplo, vidros planos, fibras de vidro etc.) e idiomas diferentes da língua portuguesa e inglesa. Ao final, foram analisados minuciosamente 63 artigos, e levantados 6 cases amplamente divulgados.

RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados estão divididos em duas seções: apresentação de resultados de estudos sobre o uso do resíduo de vidro como substitutos de agregados finos, agregados graúdos e

material cimentício complementar na cadeia da construção civil; e de cases onde o uso desses resíduos já é implementado.

USO DO RESÍDUO DE VIDRO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDOS

A utilização de vidro reciclado como substituto de agregados ou como material cimentício suplementar na construção civil tem sido amplamente estudada em diversos países como uma alternativa para redução da exploração de recursos naturais e redução da quantidade de resíduos sólidos que são encaminhados para aterros ou descartados irregularmente no meio ambiente. Alguns fatores como o tipo de vidro, a concentração encontrada de dióxido de silício (SiO_2), a granulometria e a quantidade de vidro utilizada na mistura são fundamentais para tornar viável a utilização do vidro em diferentes aplicações (LIOTTO e SANTANA, 2020).

Uma das aplicações mais estudadas é a utilização do vidro como substituto do agregado miúdo (areia) na produção de concreto e argamassas. Também têm sido desenvolvidos estudos que analisam o uso de resíduos de vidro como substituto ao agregado graúdo da construção civil (brita 0 e 1) para fabricação de concretos (SANTOS et al., 2019) e de material pozolânico (BARROS, 2016).

Entre as diversas propriedades analisadas ao se substituir diferentes materiais por resíduo de vidro, tem-se: trabalhabilidade do concreto (associada ao potencial de absorção de água, consistência e às forças coesivas da mistura), propriedades mecânicas (resistência à compressão, resistência à flexão, resistência à tração e elasticidade), densidade e expansão provocada pela reação álcali-sílica (a qual pode sofrer interferência da coloração do vidro, do tamanho da partícula de vidro utilizada, da composição do vidro, do efeito de aditivos ou outros métodos, bem como, interferir na resistência à penetração do cloreto e na absorção de água dos espécimes de concreto) (MOHAJERANI et al., 2017).

Dentre as propriedades, são bastante presentes nas publicações análises relacionadas à resistência à compressão, que geralmente é aumentada diante da introdução de agregados finos de resíduos de vidro em misturas de concreto (MOHAJERANI et al., 2017), apesar de ainda haver estudos que reportam uma redução na resistência. Resultados relacionados à trabalhabilidade do concreto, bem como, a resistência à tração, ainda são inconclusivos (MOHAJERANI et al., 2017). Vale ressaltar que os estudos apresentados a seguir são apenas uma demonstração dos avanços dos estudos relacionados ao uso do resíduo de vidro como substituto da areia em concretos e a resistência à compressão dos materiais, não esgotando o tema.

Adaway e Wang (2015) observaram que o concreto que continha até 30% de resíduos de vidro triturados exibia valores de resistência à compressão superiores que o controle em 7 e em 28 dias, enquanto substituições maiores que 30% obtiveram uma redução em sua resistência. Kunz e Ramos (2019) determinaram o traço para a resistência à compressão característica de 30 MPa e selecionou os teores de substituição da areia por vidro de 10%, 20%, 50% e 70%. Todos os concretos apresentaram resultados satisfatórios quanto à resistência à compressão, pois atingiram os 30 MPa determinados no cálculo do traço, significando que todos poderiam ser utilizados para fins estruturais. O concreto com 20% de substituição apresentou a maior resistência à compressão dentre os demais (45,01 MPa), representando um aumento de resistência de 3,16% em relação ao traço-controle. Segundo os autores, o aumento de resistência pode ser resultado de um ajuste da relação água-cimento (A/C) com a adição dos finos do vidro à mistura, que pode ter causado uma otimização da relação água/cimento para o traço com 20% de substituição, estando mais próximo ao ideal (KUNZ e RAMOS, 2019). No geral, a substituição parcial da areia por vidro resulta em materiais com melhores propriedades físicas e mecânicas, ao comparar com o concreto convencional, em que não há substituição.

Os traços de concretos confeccionados por Costa et al. (2020) com vidro moído oriundo de garrafas de cerveja *long neck* apresentaram resultados promissores para a resistência à compressão, observando-se um ganho médio de resistência, se comparado ao concreto de referência sem substituição, da ordem de 35,70% aos 28 dias de cura para um teor de substituição de 10%; de 45,53% para uma substituição de 20%; e de 38,06% para o teor de substituição de 30%. Os testes de compressão simples realizados revelaram ganhos significativos de resistência quando comparados aos traços de controle. Dessa forma, concluiu-se que seria possível a utilização do vidro moído como substituto parcial da massa de agregado miúdo em traços de concretos.

Costa et al. (2020) avaliaram também o uso de vidro moído oriundo de garrafas de cerveja *long neck* como substituto da areia na produção de argamassa, e observaram que as argamassas produzidas com pó de vidro moído apresentaram resultados próximos em relação à resistência à compressão, e em alguns casos até superiores, se comparados às argamassas convencionais. Tal como observado para o concreto, os autores concluíram que era possível a utilização do vidro moído como substituto parcial da massa de agregado miúdo em argamassas.

Viana (2018) avaliou a alternativa de uso de vidro reciclado em substituição parcial à areia contida em argamassas geopoliméricas, que são feitas a partir de um cimento à base de metacaulim ao invés do

cimento do tipo *Portland*. Foram utilizados cacos de vidro com granulometria de até 4,75mm, e teores de substituição de vidro por areia de 15 e 30%. A partir dos ensaios realizados, observou-se que o vidro apresentou resultados satisfatórios quando inseridos em geopolímeros (cimento à base de outros materiais substituindo o cimento *Portland*) mesmo apresentando valores relativamente abaixo dos valores de referência. Dessa maneira, tais estudos também são indicativos de que é promissora a substituição da areia por vidro para a aplicação em argamassas.

Outro estudo avaliou o traço de controle da argamassa e selecionou as substituições do agregado miúdo pelo vidro nas proporções de 25 %, 50% e 75% (MARTINS, 2018). Todos os traços atenderam às especificações quanto à resistência requerida de forma satisfatória e acima do traço referência, ou seja, a resistência à compressão para a idade de 28 dias foi maior ou igual a 5 MPa (NBR 13.281/2005). Quanto maior o teor de substituição do vidro, maior foram os resultados de resistência obtidos. Foi notado nas argamassas desenvolvidas que com 75% de substituição de areia por vidro, era possível obter valores relativamente superiores na resistência à compressão aos 28 dias; porém, a trabalhabilidade da argamassa foi prejudicada, dificultando a moldagem manual dos corpos de prova. Assim, levando-se em consideração tais fatores, o teor de substituição mais adequado seria de aproximadamente 25%, pois foi o teor de substituição de areia por vidro no qual se atingiram resultados de resistência à compressão equivalentes ao traço de controle.

Trentin et al. (2020) avaliaram o desempenho das argamassas produzidas com teores de substituição da areia por vidro de 10%, 15%, 25% e 50%. Os resultados da resistência à compressão nos diferentes teores foram relativamente próximos, sendo de 3 MPa, 3,5 MPa, 3,6 MPa e 3,9 MPa, respectivamente, com o traço de controle atingindo 4 MPa. Concluiu-se, então, que a utilização de resíduo de vidro moído em substituição ao agregado miúdo na produção de argamassa era considerada viável do ponto de vista das propriedades mecânicas, em função do aumento da resistência mecânica das argamassas ao comparar ao traço de controle.

Em contrapartida, ao se utilizar o vidro como substituto do agregado graúdo (brita), os resultados não se mostraram promissores: a substituição parcial da brita por resíduos de vidro (granulometria máxima de 10 mm) no concreto apresentou um decréscimo de resistência à compressão em todos os tempos de cura (7, 14 e 28 dias) onde esse parâmetro foi medido (8 - 18%). Quanto maiores os teores de vidro na mistura, menores resistências eram obtidas com o aumento das idades. A resistência à compressão máxima foi obtida nos corpos de prova com teor de 5% de substituição de vidro, favorável quando comparado com o traço de referência (SANTOS et al., 2019).

Uma outra possível aplicação, envolve o uso do vidro como material pozolânico, que, ao ser finamente moído, é utilizado como aditivo ou substituto parcial do cimento. O uso do vidro como material cimentício suplementar foi avaliado na produção de um concreto de alta resistência, com substituição de cimento por pó de vidro reciclado (granulometria de 0,075 mm), onde Barros (2016) realizou estudos com a substituição e a adição parcial de vidro e vidro + sílica. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão alcançaram valores superiores a resistência esperada aos 28 dias de cura para todas as misturas, sendo os melhores resultados obtidos para as misturas de concreto com 10% de vidro e com 10% de vidro + 10% de sílica, quando esses foram substituídos ou adicionados.

Os estudos sugerem que o vidro moído pode ser utilizado na produção de concretos e argamassas sem efeitos negativos em sua durabilidade, a depender do material a ser substituído. Ao analisar os resultados dos estudos selecionados, percebe-se que foi possível produzir concretos e argamassas com propriedades satisfatórias a partir da substituição parcial do agregado miúdo (areia), indicando o potencial de tal substituição. No entanto, a substituição do agregado graúdo (brita) por vidro não alcançou bons resultados, o que pode ser justificado pelo tamanho da partícula de vidro, que aumenta os espaços vazios, reduzindo assim a resistência à compressão do concreto. Por outro lado, o vidro finamente moído usado como material cimentício suplementar se mostra promissor ao ser combinado com a sílica para produção de concreto de alta resistência.

CONSTRUÇÃO CIVIL COMO ALTERNATIVA: CASES

Diversos estudos, pesquisas, pilotos e projetos estão em andamento com o objetivo de avaliar a substituição de agregados da construção civil por resíduos de vidro, e em algumas localidades tal uso é estimulado. Um exemplo é o uso do vidro reciclado como agregado ao concreto estrutural na Austrália, um país com baixa disponibilidade de agregados e cuja produção é um processo economicamente custoso (ADAWAY & WANG, 2015). Só neste país, quase 130 milhões de toneladas de agregados são extraídos a cada ano, e estima-se que seu consumo deve aumentar nos próximos anos. Inclusive, entre as recomendações do *Department of Transport and Main Roads*, órgão do governo responsável pelos transportes e rodovias, está a de utilizar o resíduo de vidro como alternativa aos agregados naturais e areia em bases rodoviárias¹:

- Em proporção de até 10% em bases asfálticas, e até 20% em bases de brita; e
- Como cama e areia de aterro ao redor de canos.

Tal recomendação se insere na nova Estratégia de Gestão de Resíduos e Recuperação de Recursos do Governo de Queensland, que trabalha em prol de uma economia circular. Além dos resíduos de vidro, o Governo de Queensland utiliza pneus, asfalto recuperado, resíduos de construção e de demolição. Assim, até 8.000 toneladas de resíduos são desviados de aterros por quilômetro de estrada.

Durante 2017, em colaboração com o maior reciclador de vidro da Nova Zelândia, Visy Reciclagem, foi criada a DB Export Beer Bottle Sand - um substituto da areia feita de vidro reciclado pós-consumo². Ao todo 104 toneladas de areia para garrafas de cerveja DB Export foram usadas para uma variedade de fins práticos, incluindo para construção e estrada, projetos de DIY (do it yourself), cama de tubo, bunkers de golfe e drenagem de campo de esportes, agregando valor ao vidro residual, que não pode ser reciclado para a produção de garrafas de vidro devido a qualidade, contaminação ou mistura. O conceito ganhou 217 milhões de impressões em publicações em todo o mundo e milhares de vídeos gerados por usuários foram compartilhados diretamente da 'máquina de areia de garrafa de cerveja'. A campanha de mídia social também recebeu 55 milhões de visualizações e 700.000 compartilhamentos. DB Export Beer Bottle Sand está disponível para qualquer pessoa usar por meio do Drymix - mistura de concreto ecológico, que é adequada para trabalhos de bricolagem.

O uso do resíduo de vidro também é recomendado nos Estados Unidos, onde já são fabricados pavers (blocos pré-moldados de concreto) feitos com vidro reciclado, substituindo o agregado em sua produção, que são comercializados em tamanhos e cores diferentes e usados em calçadas (CORDEIRO e MONTEL, 2015).

Na China, a utilização de vidro no concreto para a fabricação de blocos já é usada em vários locais diferentes de Hong Kong, onde os resultados da planta piloto mostraram que a produção de *pavers* de alta qualidade com uso de resíduo de vidro substituindo a areia é possível sem afetar as propriedades do bloco e ainda melhorando o desempenho de algumas delas, como redução de absorção de água e maior resistência à compressão. Ainda em Hong Kong, outra aplicação amplamente utilizada é a argamassa arquitetônica, utilizada para acabamentos decorativos devido às propriedades estéticas do vidro, podendo ter então uma variedade de tamanhos, cores e teores de substituição da areia por vidro, dependendo do efeito visual desejado (POON et al., 2013).

Recentemente, a Prefeitura de Montevideu (Uruguai) incorporou os critérios de pontuação diferencial para agregados reciclados nas especificações de compra de telhas de nove licenças (ainda não concedidas). As especificações indicam que o produto deve ter no mínimo 40% de material reciclado, para ser considerado diferente do material virgem, o que beneficia empreendimentos que já

consideraram a economia circular dos materiais. Durante o ano de 2021, a *Arenas de Vidrio* realizou testes bem-sucedidos para a fabricação de telhas com agregados 100% reciclados em conjunto com resíduo de construção e demolição (RCD); de blocos com 25% de areia de vidro em conjunto com Barraca Santino; de tijolos com pó de vidro juntamente com a Cooperativa de Produção de Tijolos Ecológicos; entre outros. Em relação aos tijolos, estima-se que na construção de uma pequena casa sejam utilizados cerca de 5.000 tijolos, que consumiram cerca de sete toneladas de vidro descartado em sua fabricação. Um balcão, por exemplo, para a cozinha, pode absorver 40 quilos de vidro moído por metro quadrado se for usado em toda a mistura (SOUZA, 2021). Além disso, desenvolveram um produto de manutenção de pavimentos que incorporou pó de vidro de resíduos industriais doados. O material foi utilizado em 100 metros de pavimentação em Trinidad em uma proporção de 50% de substituição do agregado natural. Para isso, foram necessárias 2,5 toneladas de resíduos de vidro triturados, ou seja, cerca de 7500 embalagens.

No Brasil, apesar de existirem regulamentações em relação ao resíduo sólido, falta fiscalização e iniciativas públicas e privadas, o que dificulta o desenvolvimento de ações robustas que impeçam a destinação final do resíduo de vidro em aterros sanitários. Uma iniciativa que vale destacar foi “O Caminho do Vidro”³, projeto realizado em Fernando de Noronha, com um investimento no desenvolvimento da infraestrutura de moagem e de destino, devido à importância do vidro reciclado em setores como a construção civil. Atualmente, este projeto apresenta capacidade de moagem de 2 toneladas de resíduos de vidro por dia. Alguns aspectos positivos e negativos dessa iniciativa foram identificados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Pontos positivos e negativos do projeto de Fernando de Noronha.

PONTOS POSITIVOS	PONTOS NEGATIVOS
Arranjo institucional público x privado (Coleta, processamento e reuso pela mesma instituição);	Matriz energética com termelétricas movidas a combustível fóssil;
Fornecimento regular através da coleta seletiva;	Superdimensionamento do equipamento (baixa eficiência energética + altos custos de operação/manutenção);
Custos altos para a destinação adequada do vidro;	Não tem monitoramento ou certificação, para gerar o crédito de logística reversa.
Custos altos para a compra de areia;	
Uso final determinado e regular, com cadeia de suprimento definida.	

Fonte: Autor do trabalho, 2021.

Um dos aspectos positivos dessa iniciativa em Fernando de Noronha está relacionado ao alto custo para obtenção de areia neste arquipélago. Todavia, essa não é a realidade para todo o país: no Brasil, de um modo geral, existe demanda regular e consistente de areia, com grande disponibilidade para extração, mas a maior parte do material é proveniente de extração ilegal, o que contribui para uma exploração cada vez mais predatória desse recurso natural (RAMADON, 2016). A areia é produzida em todos os estados do Brasil, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor (RAMADON, 2016). Seu consumo é direcionado, no setor da construção civil, para a produção de argamassas, concretos, produtos pré-fabricados, entre outros, com grande aplicação de agregados (material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto) em obras públicas.

Portanto, no contexto nacional, o uso do vidro moído como matéria prima secundária utilizada pela construção civil para substituição da areia como agregado miúdo pode ser uma solução para promover o fechamento da cadeia do vidro, uma vez que garante a circularidade desse material em locais afastados dos centros de reciclagem, reduzindo a quantidade de resíduo destinada aos aterros e lixões, incorporando-os a misturas à base de cimento, como na produção de concretos.

CONCLUSÕES

A resistência à compressão foi o principal fator de análise, uma vez que se destaca como o principal parâmetro para a avaliação da durabilidade da estrutura. Dentre as aplicações mais citadas na bibliografia estão o concreto e a argamassa, com os resultados mais promissores, em relação ao material substituído sendo obtidos na substituição de agregados miúdos (areia), o que impacta diretamente os aspectos gerais, como a granulometria. Em relação aos teores de substituição da areia por vidro no concreto, foi possível observar resultados mais promissores para substituições em torno de 20%. Em relação a argamassa, notou-se comportamento semelhante, sendo maiores as resistências à compressão em teores entre 20% e 30% de substituição. Para a substituição do cimento por vidro, observou-se que o uso de vidro com granulometria de 0,075mm e sua combinação com a sílica alcançou resultados satisfatórios no desenvolvimento do concreto de alta resistência. No entanto, a substituição do agregado graúdo (brita) por vidro com granulometria de 10mm não alcançou bons resultados, uma vez que, houve um possível aumento dos espaços vazios devido ao tamanho do vidro moído. Assim, uma justificativa possível para os resultados encontrados seria o tamanho da partícula do vidro, já que com uma granulometria menor tem-se um maior preenchimento dos poros, o que está relacionado com uma maior resistência à compressão.

Em relação aos cases apresentados, foi possível observar que a quantidade de vidro a ser reciclada é determinante nas possibilidades de uso futuro, já que, para determinar uma aplicação, é preciso saber se a oferta daquele material será constante ou não para que o planejamento possa ser bem executado. Um incentivo para que a cadeia de reciclagem se fortaleça é contar com legislações municipais, por exemplo, onde compras do setor público têm grande influência na viabilidade da proposta. Assim, a utilização do vidro reciclado na construção civil é uma forma alternativa de uso deste resíduo, podendo ser utilizada em países com realidades distintas e de forma replicável em diferentes aplicações, sendo necessário, no entanto, realizar os ensaios experimentais acompanhados por análises estatísticas de maneira a avaliar de forma mais precisa a viabilidade do uso dos resíduos de vidro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adaway, M.; Wang, Y. Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete – Effects on compressive strenght. Special Issue: Electronic Journal of Structural Engineering, 14 (1), 116 – 122, 2015.
2. Barros, L. M. Concreto de alta resistência a partir de matérias-primas amazônicas e vidro reciclado. 2016. Tese (Doutorado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: São Carlos, 2016.
3. Cordeiro, R. S.; Montel, A. L. B. Estudo da viabilidade para a produção de concretos com adição de resíduos de vidro em substituição ao agregado miúdo na cidade de Palmas - TO. DESAFIOS: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, V. 2, Nº Especial, p. 104-123, 2015.
4. Costa, K. M.; Almeida, R. C.; Moreira, T. A. S. Análise do Desempenho Mecânico de Concretos e Argamassas Mediante a Substituição Parcial da Massa de Agregado Miúdo (Areia) por Vidro Moído Oriundo de Garrafas de Cerveja Long Neck. RCT – Revista de Ciência e Tecnologia, vol. 6, 2020.
5. Kunz, D.; Ramos, J. G. V. S. Reaproveitamento de Rejeitos de Vidro como Agregado em elementos à base de cimento: uma análise da influência na resistência do concreto. 2º Congresso de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2019. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/VII-051.pdf> Acesso: 13 de janeiro de 2022.
6. Liotto, P. F.; Santana, G. P. O uso do vidro em concreto: revisão. Scientific Amazonia, v. 9, n. 2, C1-C12, 2020. Disponível em: <http://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2020/05/v9-n2-C1-C12-2020.pdf>. Acesso: 13 de janeiro de 2022.
7. Poon, C. Ling, T. Wong, H. Management and recycling of waste glass in concrete products: Current situations in Hong Kong. Resources, Conservation and Recycling. v.70, 2013, p. 25-31. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912001917> . Acesso: 13 de janeiro de 2022.
8. Santos, I. R. S., Lima, J. N., Castro, E. R. C. Estudo de substituição do agregado graúdo no concreto por resíduo de vidro. Congresso Internacional de Patologia y Recuperación de Estructuras, 15 ed., Universidad Nacional de Salta, Argentina, 2019. 11-21p.
9. Viana, E.R. Avaliação do Uso de Vidro Reciclado em Substituição Parcial da Areia em Argamassas Geopoliméricas. Trabalho de conclusão de curso, Joinville, 2018, 65p. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/191798/TCC_EDUARDO_VIANA_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 13 jan. 2022.
10. Mohajerani, A., Vajna, J., Cheung, T. H. H., Kurmus, H., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S. Practical recycling applications of crushed waste glass in construction materials: A review. Construction and Building Materials, 156, 443-467, 2017.
11. Trentin, P. O.; Manica, J.; Vanzetto, S. C.; Marangoni, B.; Zaleski, A. Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. Matéria (Rio de Janeiro), vol. 25, no. 1, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/wyCkXD3zkSmzPjPpkqmh3r/?lang=pt> Acesso em: 12 jan. 2022.

12. Souza, R. Activistas por el ambiente: uruguayos que viven y promueven una vida ecológica. EL PAÍS, 2021. Disponível em: <https://www.elpais.com.uy/domingo/activistas-ambiente-uruguayos-viven-promueven-vida-ecologica.html>. Acesso em: 18 de fev. 2022.
13. Ramadon, L. F. A extração ilegal de areia no Brasil, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://apublica.org/wp-content/uploads/2020/05/a-extracao-ilegal-de-areia-no-brasil.pdf>
14. Martins, D.; Ticianelli, T.R. Incorporação de vidro em substituição ao agregado miúdo (areia) em argamassas. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil - Faculdade de Rondônia FARO, Porto Velho, 2018. 15p. Disponível em: <http://prsrecicladora.com.br/wpcontent/uploads/2018/07/88126abfb707f00b015fb02c19706f09.pdf>
15. Koehnken, L.; Rintoul, M. Impacts of Sand mining on ecosystem structure, process and biodiversity in rivers. WWF, 2018. Disponível em: https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/sand_mining_impacts_on_world_rivers__final_.pdf Acesso em: 12 jan. 2022.

NOTAS

¹ <https://www.tmr.qld.gov.au/Buildingsustainableroads>

² <https://www.dbsustainability.co.nz/reports/DBSustainabilityReport2017.pdf>

³ <http://www.noronhaplasticozero.com.br/caminho-do-vidro/>