

PROCESSOS QUÍMICOS PARA A RECICLAGEM DO LIXO ELETRÔNICO: Utilização da biometalurgia como alternativa viável para reciclagem do lixo eletrônico

INTRODUÇÃO

A produção industrial atual, engendrada por processos históricos, tais como a Primeira e a Segunda Revoluções Industriais, está intimamente subordinada ao sistema e à ideologia capitalista. Tal relação ocorre pois, em sua matriz, essa industrialização foi fomentada pela necessidade de se encontrar métodos mais rápidos, lucrativos e eficientes para se maximizar o lucro final. Desse modo, o sistema capitalista construiu e moldou a sociedade brasileira contemporânea, de maneira que, influenciada pela dinâmica industrial, foi submetida à compra supérflua de mercadorias. Logo, a sociedade e a indústria seguem interdependentes, visto que, para que haja a faturação dos produtos, é necessário que o tecido civil se destine à compra dos mesmos.

Assim, desenvolveu-se uma relação doentia entre consumidor e produto, a qual é baseada no desperdício de produtos válidos, para que sejam trocados por outros mais novos, ainda que possuam a mesma qualidade e função. Além disso, a citada relação é favorecida pela política de desenvolvimento dos produtos eletrônicos, adotada por empresas de tecnologia, que é voltada para programar o fim da utilização de um produto tecnológico. A esse processo foi dado o nome de obsolescência programada¹, e é definido pela redução contínua da vida útil de aparelhos eletrônicos, em ordem de comutá-los por aparelhos economicamente mais favoráveis ao vendedor. Assim, a produção global de lixo eletrônico aumentou drasticamente e formulou-se a necessidade prática atual da reciclagem desses produtos.

Em meio a esse contexto, surgem as práticas de *biolixiviação* e de *biohidrometalurgia*. Tais modelos se sobressaem porque, em despeito a todos os outros métodos de reciclagem eletrônica, possuem a capacidade de reaproveitar a matéria com maior precisão e pureza, de maneira ecologicamente sustentável e com viabilidade econômica. Tais processos utilizam-se de microrganismos que realizam naturalmente a oxidação de metais, em meios anaeróbicos ou aeróbicos. Essa oxidação, desestabilizando metais, acarreta reações químicas de oxirredução, tornando possível a recuperação de determinado metal de interesse. Dentre esse grupo de seres-vivos, são de especial função as bactérias *quimiolitotróficas*¹ acidófilas oxidantes de ferro (do inglês, iron-oxidizing bacteria, forma-se o acrônimo FeOB). Dentre esses organismos, o bacilo *Acidithiobacillus ferrooxidans*, é de extrema importância no cenário de reciclagem global e os processos que envolvem a ela devem ser pesquisados e investidos no Brasil, uma vez que o país possui baixa porcentagem de aproveitamento do lixo eletrônico.

EXPERIMENTOS

A utilização da *A. ferrooxidans* para os processos de extração de metais não é uma prática moderna. Registros históricos relatam que, por volta dos séculos III e II a.C, a civilização oriental, em especial os povos que ocupavam a atual região da China, utilizavam da bio-hidrometalurgia para a extração de cobre metálico em minas e reservas. Entretanto, a transição de processos de mineração pela prática bioquímica para processos de reciclagem de lixo eletrônico é causada por uma mudança bruta.

¹ Do inglês, "chemolithotrophics", seres que obtêm energia por meio de compostos químicos inorgânicos.



Figura 1^{II} – Micrografia de *A. ferrooxidans*

Essa bactéria é gram negativa, aeróbia, acidófila, mesófila e obtém energia através da oxidação de íons Fe^{2+} e compostos reduzidos de enxofre. A partir disso, minérios como a calcopirita

Para que a *A. ferrooxidans* possa atuar sobre os metais de interesse, é necessário que estes estejam separados dos demais constituintes do material tecnológico. Para isso, uma das formas utilizadas é a trituração do aparelho inicial. Através disso, os componentes triturados podem ser selecionados através de suas propriedades magnéticas. Como plásticos não possuem afinidade com ímãs, aplica-se a técnica de separação magnética, como mostra a figura 2, extraíndo os compostos com metais ferrosos de acordo com os interesses.

Figura 2^{III} – Extração de metais ferrosos por separação magnética.



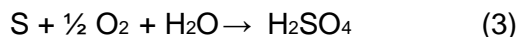
Por estimular diferentes reações químicas para a obtenção de energia, a bactéria pode atuar na recuperação de diversos metais. Essas reações, que favorecem a reciclagem de lixo eletrônico, são, de certa forma, realizadas ciclicamente. A bactéria possui a qualidade de oxidar o íon Fe^{2+} em Fe^{3+} , com a redução de oxigênio molecular e um próton para água. O íon férrico, por sua vez, sendo mais instável que o íon ferroso, reage com um sulfeto metálico qualquer e se reduz. As equações químicas 1 e 2 a seguir evidenciam a característica cíclica do processo.



Observa-se na primeira reação que o íon bivalente do ferro sofre oxidação em meio ácido na presença de oxigênio (número de oxidação varia de +2 para +3), enquanto na segunda reação há uma redução do átomo de ferro (número de oxidação varia de +3 para +2) e uma oxidação do enxofre (número de oxidação varia de -2 para 0)

Uma vez oxidado, o metal que fazia ligação com o enxofre tende a precipitar-se, facilitando a sua extração. Essa precipitação é evidenciada na figura 4, na qual evidencia-se os resíduos de um experimento de biolixiviação (reação bioquímica) com a *A. Ferrooxidans*. Essa técnica de reciclagem eletrônica prima em relação a outras por, como já dito, sua viabilidade econômica e a baixa contaminação ambiental. No sentido contrário dos processos padrões de reciclagem, como

a química e a *pirometalúrgica*, o único possível dano ambiental poderia ser o ácido sulfúrico gerado a partir da reação química representada pela equação química 3.



Entretanto, como é produzido em ambiente controlado, pode ser comercializado em pequena escala ou utilizado de acordo com os interesses do laboratório.

Figura 3^{IV} – Circuitos impressos triturados para serem biolixiviados.



Essa prática, é, portanto, uma forma simples de extração de materiais complexos, e, devido a sua característica sustentável, deve ser objeto de interesse da indústria de reciclagem.

Figura 4^{II} – Micrografias resultantes de reações químicas envolvendo a *A. ferrooxidans*, em diferentes condições.



CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados de pesquisa e análise de experimentos, infere-se que as práticas de bio-hidrolixiviação constituem, por seus diferentes processos de reações bioquímicas, a mais acessível e viável técnica de reciclagem de lixo eletrônico. A bactéria *Acidithiobacillus ferrooxidans* possui tanto a qualidade de recuperar íons ferro quanto de recuperar metais outrora presentes em sulfetos, e tal aplicação deve ser tão interessante à indústria quanto utilizada por ela. Em uma sociedade consumista, as aplicações do citado microrganismo são essenciais e podem gerar uma economia cíclica e verde, extremamente importante para a Química, além de mitigarem efeitos da produção de toneladas de lixo por dia, em âmbito global. Em outras palavras, por estarem inseridas no contexto econômico e social mundial, as formas de reciclar o lixo eletrônico,

iminentemente pertencentes à área da química, devem se engajar à realidade local de situações socioeconômicas do país. No Brasil, a lixiviação com o citado bacilo é uma alternativa possível de ser adotada por boa parte da indústria de reciclagem e permitem que o país aprimore o seu desenvolvimento técnico-científico com um investimento e um custo mínimos. Apesar de todas as suas qualidades, as citadas técnicas não são empregadas em larga escala ainda. Por mais, a utilização desses meios é acompanhada pela pesquisa dos mesmos, ou seja, à medida que esses são usados, mais esses são pesquisados. Isso coloca o país em uma posição de prestígio tecnológico, além de se destacar no combate à poluição ambiental. Em suma, a Ciência não é isolada dos fatores que a rodeiam, e, por isso, pode ser o caminho para um ambiente mais ecológico e sustentável para as gerações humanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- I. J. George Frederick, "Is Progressive Obsolescence the Path toward Increased Consumption?" Advertising and Selling, 5 de Setembro de 1928, 19-20 (ênfase em original).
- II. Site: Disponível em:
https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87966/silva_dr_me_araiq.pdf;jsessionid=FDDB34797895868F28946918CB314EF1?sequence=1. Acesso em: 10/02/2022
- III. Site: Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=bljYBccOnX0>>. Acesso em: 25/02/2022
- IV. Site: Disponível em: <https://www.reciclagemfacil.com.br/produtos/reciclagens-de-eletronicos/empresa-de-reciclagem-deeletronicos>>. Acesso em: 15/03/2022.
- V. Site: Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/KSRbFmmLnnrkxcrKY37QS9m/?lang=pt>. Acesso em: 20/03/2022.