

# **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA – ACV DA PRODUÇÃO DE ÓXIDOS DE TERRAS RARAS A PARTIR DE UM MINÉRIO BRASILEIRO**

## **LIFE CYCLE ASSESSMENT - LCA OF THE PRODUCTION OF RARE EARTH OXIDES FROM A BRAZILIAN ORE**

**Michel Serra Sampaio**

Aluno de Graduação de Engenharia Química, 8º período, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.

Período PIBIC/CETEM: janeiro de 2016 a junho de 2017

msampaio@cetem.gov.br

**Francisco Mariano da Rocha de S. Lima**

Orientador, Engenharia Mineral, D. Sc

flima@cetem.gov.br

**Giancarlo Alfonso Lovón-Canchumani**

Co-orientador, Planejamento Energético, D. Sc

gcanchumani@cetem.gov.br

### **RESUMO**

Os elementos de terras raras (ETRs) são um grupo de metais cuja importância no novo mundo tecnológico vem aumentando cada vez mais, pois possuem propriedades únicas que são essenciais para o desenvolvimento de algumas tecnologias, como por exemplo, a energia eólica. No entanto, a produção desses elementos está associada a muitos problemas ambientais, já que ela consome grandes quantidades de energia e recursos, além de produzir elementos radioativos; por isso, estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) são necessários para se determinar os potenciais impactos gerados por essa produção. O objetivo do presente estudo é avaliar o ciclo de vida da produção de elementos de terras raras a partir de um minério brasileiro, baseada na norma ISO 14040. A metodologia de avaliação dos impactos utilizada foi a ReCiPe e o software utilizado para o tratamento dos dados foi o SimaPro 8.02. Os resultados da ACV mostraram um consumo de quantidades significativas de  $H_2SO_4$ , HCl e  $NH_4OH$ , além da geração de resíduos radioativos de tório e urânio. Foi constatado também que os principais impactos ambientais do ciclo de vida de ETRs são referentes às categorias de Mudanças Climáticas para a Saúde Humana, Mudanças Climáticas para os Ecossistemas e à Depleção de Combustíveis Fósseis.

**Palavras-chave:** Avaliação do ciclo de vida; elementos de terras raras; minério brasileiro.

### **ABSTRACT**

Rare earth elements (RREs) are a group of metals whose importance in the new technological world has been increasing, since they have unique properties that are essential for the development of some technologies such as wind energy, for example. However, the production of these elements is associated with many environmental problems, because it consumes great amounts of energy and resources, besides producing radioactive elements; therefore, Life Cycle Assessment (LCA) studies are necessary to know the potential impacts generated by this production. The objective of the present study is to assess the life cycle of the production of rare earth elements from a Brazilian ore, based on ISO 14040. The methodology used to evaluate the impacts was ReCiPe and the software used for data processing was SimaPro 8.02. The results of the ACV showed a consumption of significant amounts of  $H_2SO_4$ , HCl and  $NH_4OH$ , besides the generation of radioactive waste of thorium and uranium. It was also found that the main environmental impacts of the RREs life cycle are related to the categories of Climate Change for Human Health, Climate Change for Ecosystems and Fossil Fuels Depletion.

**Keywords:** Life cycle assessment; rare earth elements; Brazilian ore.

## 1. INTRODUÇÃO

Os elementos de terras raras (ETRs) são definidos como os 15 elementos do grupo dos lantanídeos e mais dois elementos, ítrio (Y) e escândio (Sc), que também são considerados como ETRs devido às suas propriedades físico-químicas semelhantes e por ocorrerem nos mesmo depósitos minerais. As terras raras estão presentes em cerca de 200 espécies minerais conhecidas; no entanto, somente em algumas delas ocorrem em concentrações suficientes para se justificar a sua exploração, entre elas a monazita, a bastnasita, o xenotímio e argilas iônicas (Koltun & Tharumarajah, 2014).

Zaimes *et al.* (2015) evidenciou que a extração de ETRs traz à área da mineração graves problemas e impactos, como o esgotamento de recursos naturais, poluição da água, poluição do ar e a exposição a materiais radioativos; é fundamental, portanto, destacar a importância de quantificar os impactos à saúde humana e ao meio ambiente de toda a produção desses elementos a fim de verificar os pontos críticos da mineração e tentar contorná-los para se ter uma produção mais sustentável. Outra preocupação é a grande quantidade de rejeitos no processo de obtenção dos ETRs, que podem conter elementos radioativos como urânio e tório, altamente contaminantes ao meio ambiente.

Para se quantificar e avaliar corretamente os impactos ambientais causados por um produto ou processo, a metodologia mais utilizada é a avaliação do ciclo de vida (ACV), que considera de forma integral o consumo de recursos e as emissões para o ambiente ao longo de todos os estágios do ciclo de vida do objeto em estudo. Dada a necessidade crítica de avaliações de sustentabilidade ambiental da produção de elementos de terras raras, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os impactos ambientais da produção de ETRs a partir de um minério brasileiro utilizando a metodologia da ACV, baseada na norma ISO 14040 (2009). Apesar de existirem no Brasil reservas minerais de terras raras, o país ainda não tem uma produção com preços competitivos para uma mineração desses elementos em larga escala; com isso, as informações sobre a produção brasileira ainda encontram-se bastante deficientes de um banco de dados sólido que reflita as verdadeiras características minerais do Brasil. Este trabalho também serve para adicionar à base de dados da produção de ETRs os impactos ambientais em todo o seu ciclo de vida, fornecendo uma compreensão mais abrangente do perfil ambiental da produção brasileira desses elementos e incluindo detalhes específicos para o Brasil através de uma avaliação completa da produção na indústria nacional.

## 2. OBJETIVO

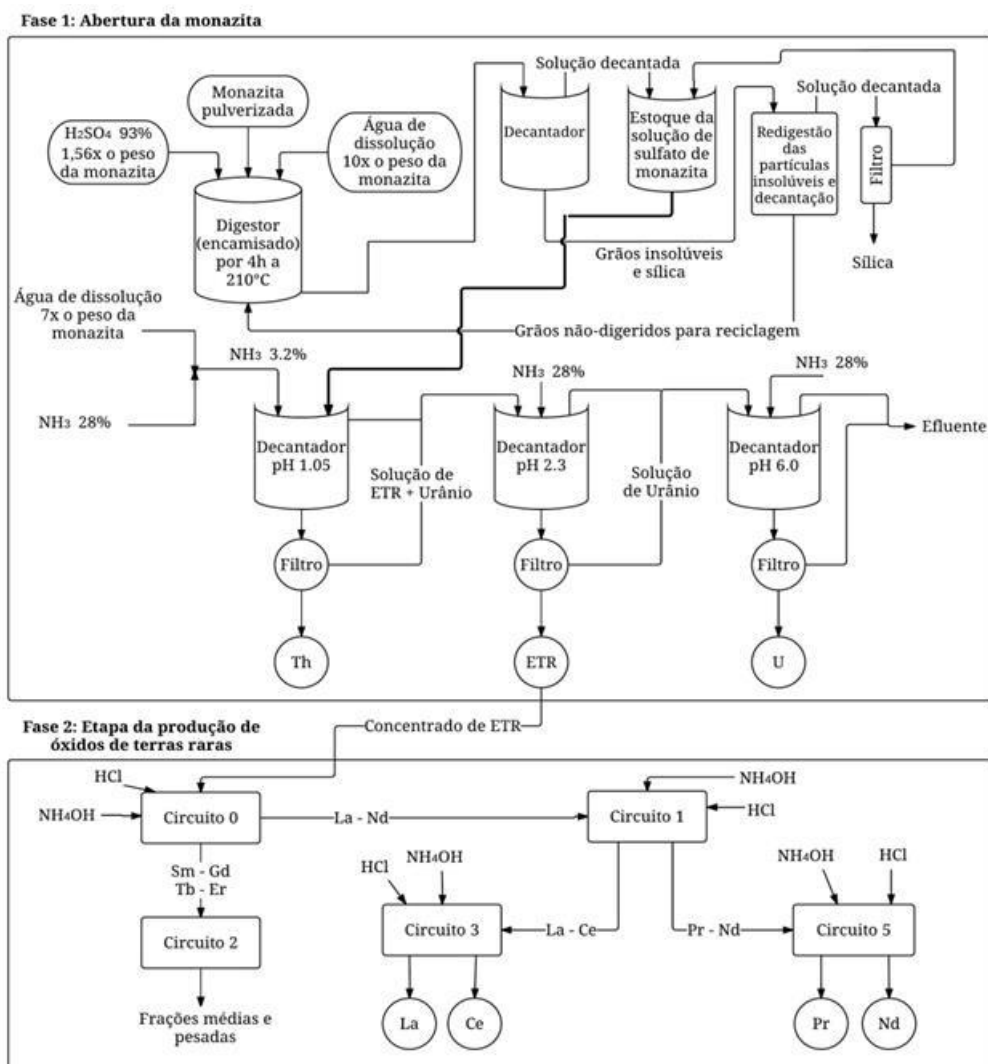
O objetivo do presente estudo é avaliar o ciclo de vida da produção de elementos de terras raras a partir de um minério brasileiro, a fim de determinar os impactos causados ao longo desse processo e propor medidas mitigadoras para tornar a produção mais sustentável.

## 3. METODOLOGIA

Com base na ISO 14040 (2009), a metodologia da avaliação do ciclo de vida inclui as seguintes etapas: 1) definição de objetivo e escopo, para determinar a intenção de aplicação, o público alvo e a justificativa de condução de cada processo, bem como os limites do sistema da avaliação em questão; 2) análise do inventário do ciclo de vida, para a quantificação das entradas e saídas de materiais e/ou energia que são necessários para as várias etapas do processo e os seus resultados correspondentes; 3) avaliação dos resultados da ACV e seus impactos sobre diferentes parâmetros ambientais, para obter uma aproximação quantitativa dos impactos ambientais; 4) interpretação, para avaliar e resumir os resultados obtidos a fim de se chegar a uma conclusão significativa, bem como determinar as lacunas no estudo (Vahidi *et al.*, 2016).

De acordo com a metodologia da ACV, o objetivo do presente estudo é avaliar o ciclo de vida da produção de elementos de terras raras a partir de um minério brasileiro, cuja unidade funcional definida é de 4 quilos de óxidos de terras raras provenientes da fração leve e 2 quilos de óxidos na forma de hidróxido úmido das frações média e pesada. Para efeito de cálculos, foi considerada que a obtenção da monazita utilizada na produção de ETRs ocorreu a partir do

resíduo de beneficiamento do nióbio com as características de Araxá/Minas Gerais, ou seja, toda a fase referente à extração da monazita da mina foi descartada. Com o uso do software SimaPro 8.02, do banco de dados Eco-Invent e aliado aos dados coletados no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM (Shaw, 1957; Da Cunha & Wildhagem, 2016), criou-se o modelo de produção conforme a Figura 1.



**Figura 1:** Modelagem do sistema da produção de óxidos de terras.

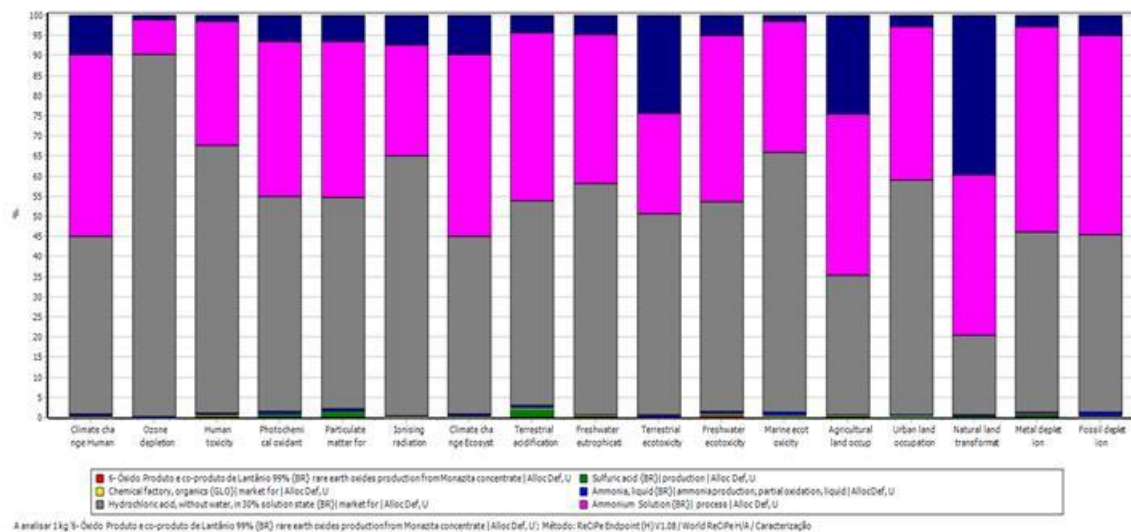
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O inventário do ciclo de vida (ICV) das entradas e saídas de energia e insumos foi feito a partir de fontes de informação publicamente disponíveis, principalmente do banco de dados de inventários de ciclo de vida Eco-Invent e outras bases de dados de ICV, combinado com a modelagem e estimativas desenvolvidas durante o estudo. Duas considerações foram feitas a fim de proceder com os cálculos do inventário: para o consumo de energia elétrica, foi selecionada a eletricidade brasileira no banco de dados do Eco-Invent3; e os processos de pós-tratamento dos resíduos radioativos de tório e urânio não foram levados em consideração. A Tabela 1 mostra os resultados da AICV através da metodologia ReCiPe.

**Tabela 1:** Resultados da AICV da produção de óxidos de terras raras pela metodologia ReCiPe.

| Categorias de Danos | Categorias de Impacto                    | Unidade      | Total    | %   |
|---------------------|--|--------------|----------|-----|
| Saúde Humana        | Mudanças Climáticas                      | DALY         | 1,77E-04 | 66% |
|                     | Depleção da Camada de Ozônio             | DALY         | 7,44E-08 | 0%  |
|                     | Toxicidade Humana                        | DALY         | 2,18E-05 | 8%  |
|                     | FormaçãoFotoquímica                      | DALY         | 1,51E-08 | 0%  |
|                     | Material Particulado                     | DALY         | 6,87E-05 | 26% |
|                     | RadiaçãoIonizante                        | DALY         | 3,36E-07 | 0%  |
| Ecossistemas        | Mudanças Climáticas para os Ecossistemas | espécies.ano | 1,00E-06 | 85% |
|                     | AcidificaçãoTerrestre                    | espécies.ano | 4,47E-09 | 0%  |
|                     | Eutrofização da Água                     | espécies.ano | 2,39E-09 | 0%  |
|                     | Ecotoxicidade Terrestre                  | espécies.ano | 8,82E-09 | 1%  |
|                     | Ecotoxicidade da Água                    | espécies.ano | 3,19E-11 | 0%  |
|                     | Ecotoxicidade Marinha                    | espécies.ano | 7,71E-11 | 0%  |
|                     | Ocupação da Terra Agrícola               | espécies.ano | 8,22E-08 | 7%  |
|                     | Ocupação da Terra Urbana                 | espécies.ano | 2,80E-08 | 2%  |
|                     | Transformação da Terra Natural           | espécies.ano | 4,39E-08 | 4%  |
| Consumo de Recursos | Depleção de RecursosMinerais             | \$           | 1,08E+00 | 16% |
|                     | Depleção de CombustíveisFósseis          | \$           | 5,79E+00 | 84% |

Os resultados dessa AICV também podem ser avaliados com relação à contribuição de cada insumo do processo nas diferentes categorias de impactos ambientais. Podemos notar pela Figura 2 que as cores predominantes são a rosa e a cinza, correspondendo respectivamente ao uso de hidróxido de amônio e de ácido clorídrico, este último responsável pela maior parte dos impactos ambientais em quase todas as categorias analisadas. Também é possível notar a cor azul, referente ao uso de ácido sulfúrico, que contribui em menor proporção em quase todas as categorias e significativamente nas categorias Transformação da Terra Natural, Ocupação da Terra Agrícola e Ecotoxicidade Terrestre.



**Figura 2:** Resultados da AICV da produção de óxidos de terras raras pela metodologia ReCiPe.

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo apresentar o primeiro estudo de avaliação do ciclo de vida da produção de óxidos de terras raras a partir de um minério brasileiro, levando em consideração as características da produção desses óxidos no Brasil e fornecendo resultados que se aproximam ao máximo da realidade do país. Os resultados do inventário mostraram o consumo de quantidades significativas de  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  e  $NH_4OH$ , além da geração de resíduos radioativos de tório e urânio, altamente contaminantes ao meio ambiente. Além disso, a AICV através da metodologia ReCiPe evidenciou que as categorias de impactos ambientais mais relevantes ao ciclo de vida da produção de ETRs são: Mudanças Climáticas para a Saúde Humana, Mudanças Climáticas para os Ecossistemas e a Depleção de Combustíveis Fósseis.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Cnpq, pela bolsa concedida e pelo apoio à pesquisa; aos meus orientadores e co-orientadores, que me ajudaram a desenvolver o presente trabalho; aos meus amigos e familiares, que me deram suporte e motivação durante o projeto; e a Deus, por ter permitido que o trabalho fosse concluído com sucesso.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estruturas. NBR ISO 14040, 2009.
- DA CUNHA, J. W. S. D.; WILDHAGEN, G. R. da S. Elaboração de modelo de produção de elementos e óxidos de terras raras. **CW CONSULTORIA QUÍMICA E AMBIENTAL LTDA – Relatório técnico**, 21p, 2016.
- SHAW, K. G. A process for separatingthoriumcompoundsfrom monazite sands. **Retrospective Theses and Dissertations**, paper 12740, 1953.
- VAHIDI, E.; NAVARRO, J.; ZHAO, F. An Initial Life Cycle Assessment of Rare Earth Oxides Production From Ion-Adsorption Clays. **Resources, Conservation and Recycling**, v.113, p 1–11, 2016.
- ZAIMES, G.G.; HUBLER, B.J.; WANG, S.; KHANNA, V. Environmental Life Cycle Perspective on Rare Earth Oxide Production. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v.3 (2), p 237–244, 2015.