

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA - ACV DA PRODUÇÃO DE ELEMENTOS TERRAS RARAS

Project life cycle assessment - LCA of the production of Rare Earth Elements

Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani

Bolsista Capacitação Institucional, Planejamento Energético, D. Sc. COPPE/UFRJ

Francisco Mariano da Rocha de Souza Lima

Supervisor, Engenharia Metalúrgica e Industrial, D. Sc.

Resumo

Da problemática das questões ambientais da produção elementos terras (ETRs) raras, se deduz a necessidade de aprofundar os estudos para determinar os potenciais impactos gerados na produção em todo seu ciclo de vida. O objetivo do presente estudo é avaliar os impactos ambientais associados à produção de elementos terra rara a partir de um minério brasileiro. Utilizando a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) baseado na norma ISO 14040. A unidade funcional foi definida como quatro quilos de óxidos de terras raras e dois subprodutos, os dados modelados foram coletados a partir de um sistema produtivo com características da realidade brasileira. A avaliação dos impactos foi feita pela metodologia ReCiPe e o software utilizado para tratamento dos dados foi o SimaPro 8.02. De acordo com os resultados obtidos os principais impactos ambientais da produção de ETRs são referentes às categorias mudanças climáticas para saúde e os ecossistemas, ocupação da terra urbana e depleção de recursos minerais.

Palavras chave: Avaliação do Ciclo de Vida, Terras Raras; Avaliação de Impacto Ambiental.

Abstract

From the problem raised by environmental issues linked to the production of rare earth elements, the need for delving deeper into studies that determine the potential impact generated in the production throughout the entire life cycle. The primary purpose of this study is to assess the environmental impacts associated with the production of rare earth elements. Using the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) based on ISO 14040 standards. The functional unit was defined as four kg de oxides of rare earth and two by-products, and were developed on the basis of modelled data from the reproductive system Brazilian characteristics. The impact evaluation was carried out using the ReCiPe methodology, and the software used for the treatment of the information was SimpaPro 8.02. According to the results obtained, the main environmental impact derived from the production of rare earth elements refers to the categories human health climate change, ecosystem climate change, urban land occupation and depletion of natural resources.

Key words: Life cycle Assessment, Rare Earth, Environmental Impact Evaluation.

1. Introdução

As terras raras ou elementos de terras raras (ETR) são um grupo de 17 elementos quimicamente (15 lantanídeos, além de escândio e ítrio). As TR estão presentes em mais de 250 espécies minerais conhecidos. Entretanto, somente em algumas dessas ocorrem em concentrações suficientes para justificar sua exploração. Os ETR estão contidos principalmente os minerais dos grupos da Bastnasita (Ce, La) CO₃F, Monazita (Ce, La) PO₄, argilas iônicas portadoras de TR e Xenotímio (KOLTUNE THARUNARAJAH, 2014).

No Brasil, recentemente as TRs despertaram interesse governamental pela constatação da vulnerabilidade econômica que a ausência de tais recursos pode trazer. Além da confirmação efetiva do grande potencial brasileiro na área, a percepção de que tecnologias "limpas" (como de turbinas eólicas e veículos híbridos) e estratégicas (como petróleo e comunicação) são limitadas pela disponibilidade de TRs levou a algumas iniciativas de diferentes setores (SOUZA FILHO, 2014).

No entanto, o aumento dos preços internacionais dos TR e especialmente pelo domínio do mercado pela China e sua política de quotas de exportação (SPRECHER et al., 2014). Esse domínio é função de uma grande produção e da política de preços que levou a uma dependência mundial de fornecimento que têm provocado a discussão sobre novos projetos relacionados a TR. Levando a países como Brasil, EUA e Austrália a aumentarem as atividades na pesquisa e produção destes elementos terras rara.

No entanto, as atividades de produção de ETRs tem consumo elevado de recursos e energia, o que consequentemente gera grandes quantidades de emissões, efluentes e resíduos, contaminantes do meio ambiente. Por isso, é de grande importância fazer uma avaliação da produção de ETRs no que se refere às questões ambientais, tornando-se necessário conhecer, quantificar e qualificar os recursos utilizados, os resíduos, bem como as emissões geradas. Assim é necessário dispor de estudos que representem dados da produção em escala industrial que deslumbrem a real dimensão dos impactos ambientais em todo o ciclo de vida (ZAIMES et al., 2015).

Nesse contexto, destaca-se a importância de se realizar estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A ACV é um instrumento de avaliação do impacto ambiental associado a um produto ou processo, que compreende etapas. Estas etapas vão desde a retirada das matérias-primas, elementares da natureza, que entram no sistema produtivo (berço) até a disposição do produto final após uso (túmulo). A ACV é atualmente um dos métodos mais promissor para avaliar e classificar os aspectos e impactos ambientais de um produto ou processo (BLENGINI et al., 2012).

Estudos de ACV focados em elementos terras raras constaram que a produção é pesada em processos químicos, mais do que em processos térmicos, necessitando de mais atenção ao tratamento dos resíduos a serem gerados. Outra preocupação é a grande quantidade de rejeitos no processo de obtenção do ETR, que concentram elementos radiativos, principalmente urânio e tório, altamente contaminantes ao meio ambiente (VAHIDI et al., 2015).

Nesse sentido, a presente pesquisa pretende mostrar uma visão mais completa e detalhada dos impactos da produção ETRs nas fases do ciclo de vida no Brasil, permitindo assim a formulação de pressupostos de produção sem correr o risco de transformar o impacto ambiental de um meio a outro ou de gerar novos efeitos.

O estudo vá de encontro com o incentivo do governo de ampliar os inventários de ciclo de vida de produtos competitivos para exportação, assim como fortalecer projetos ACV e ampliar o conhecimento da produção de terras raras no Brasil, conforme o Projeto Institucional PD&I em Tecnologia de Processos para a obtenção de Compostos de Terras Raras (Proterras).

2. Objetivos

O objetivo do presente estudo é avaliar os impactos ambientais associados à produção de elementos terra rara a partir de um minério brasileiro, com o intuito de dar subsídios a medidas mitigadoras, utilizando a metodologia de ACV baseado na norma ISO 14040.

3. Metodologia

A metodologia de pesquisa está dividida em três etapas conforme mostrado na Figura 1: (1) Definição de Escopo e Objetivo (2) Avaliação de Inventário de Ciclo de Vida e (3) Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida de acordo com a ISO 14040.

Definição de escopo: esta fase compreende a definição do objetivo, a intenção de aplicação, público alvo e a justificativa de condução de cada processo, desde a mina, abertura do minério até produção de óxidos de terras raras, bem como os limites de cada sistema (GUINÉE, 2009).

Análise do inventário de Ciclo de Vida: nesta fase serão desenvolvidos os modelos do sistema da cadeia de elementos de produção de terras raras conforme o definido na fase anterior e delimitação do sistema em estudo. Esta modelagem é uma representação gráfica dos fluxos do sistema técnico com determinados limites para cada produto da cadeia a ser estudado. As atividades de pesquisa desta fase serão feitas a partir de coleta dos dados dos fluxos de entrada e saída do sistema do modelo de produção do sistema em estudo, cálculo das cargas ambientais em relação a sua unidade funcional.

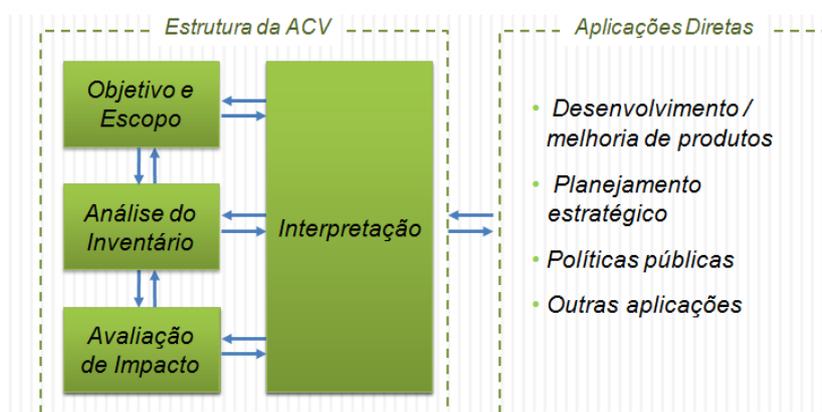


Figura 1. Modelo de Pesquisa. Fonte: Norma ABNT ISO 14040 (2009)

Avaliação de impactos do ciclo de vida: esta fase inclui a identificação e seleção de modelos das cadeias de causa-efeito e seus pontos finais, atribuição dos resultados do inventário de ciclo de vida às suas respectivas categorias de impactos e sua contribuição relativa a cada tipo de impacto calculado. O objetivo desta etapa é descrever e/ou indicar os impactos das cargas ambientais quantificadas na fase anterior.

A metodologia de avaliação de impacto ambiental ReCiPe v1.08 será utilizada para avaliar os dados, desenvolvida por RIVM, RadboudUniversity, CML e PréConsultants presente no software SimaPro 8.2. Essa metodologia procura harmonizar, nos modelos ambientais, os impactos orientados aos problemas (mid point) e às categorias de danos (end point). (GOEDKOOPE et al., 2009). Na metodologia ReCiPe são utilizados as seguintes categorias de impactos ambientais associadas às três categorias de danos: Categoria de danos à Saúde Humana (em DALY - disability-adjusted life year): Mudanças Climáticas; Depleção de Ozônio; Toxicidade Humana; Formação fotoquímica; Material Particulado; Radiação Ionizante; Categoria de danos aos Ecossistemas (em espécies.ano): Mudanças Climáticas Ecossistemas; Acidificação Terrestre; Eutrofização Água; Ecotoxicidade Terrestre, Ecotoxicidade Água e Ecotoxicidade Marinha; Transformação da Terra Natural; Ocupação da Terra Agrícola e Urbana; Categoria de danos de Consumo de Recursos (em unidade monetária \$): Depleção de Recursos Minerais; Depleção de Combustíveis Fósseis.

Interpretação e recomendações: os resultados do ACV serão avaliados conforme a aplicação/intenção estabelecida na fase 1.

4. Resultados e Discussão

Definição de escopo: O escopo do estudo é avaliar os impactos do ciclo de vida da produção de ETRs, associados às operações de abertura do minério e produção de elementos e óxidos de terras raras. A unidade funcional definida é de quatro quilos de óxidos de terras raras e dois sub-produtos de hidróxido úmido.

Com auxílio do software SimaPro 8.02, do banco de dados Eco-invent, dados do CETEM e aliado a dados coletados na literatura (Shaw, 1957; da Cunha e Wildhagem, 2016), criou-se o modelo do sistema na fase de abertura do minério e a fase de produção de óxidos de terras raras e suas interações, conforme a Figura 2.

Na fase 1 Abertura do minério, foi considerada a amostra de monazita com as características de Araxá / Minerais Gerais. A elaboração dos fluxogramas, os cálculos do consumo dos insumos e energia para o projeto foram realizados visando a separação da fração leve e a obtenção destes quatro elementos na pureza especificada, bem como a obtenção de dois concentrados chamados de fração média e fração pesada.

A fase 2. o circuito zero contém dois tipos de corte que são entre os elementos neodímio e samário realizados por alimentação aquosa e entre os elementos gadolínio e térbio realizado por alimentação orgânica. Logo, neste circuito, com estes dois tipos de corte se obtém três concentrados chamados de fração leve (La, Ce, Pr e Nd) , fração média (Sm, Eu e Gd) e fração pesada (Tb, Dy, Ho, Y e Er). No circuito 1 o corte é efetuado entre os elementos Ce e Pr e realizado por alimentação aquosa da solução proveniente do circuito zero. Logo, neste circuito, com este tipo de corte se obtém dois concentrados de La com Ce e outro de Pr com Nd. No circuito 3 o

o corte é efetuado entre os elementos La e Ce e realizado por alimentação aquosa da solução proveniente do circuito 1. Logo, neste circuito, com este tipo de corte se obtém o La e o Ce na pureza especificada. No circuito 5 o corte é efetuado entre os elementos Pr e Nd e realizado por alimentação aquosa da solução proveniente do circuito 1. Logo, neste circuito, com este tipo de corte se obtém o Pr e o Nd na pureza especificada.

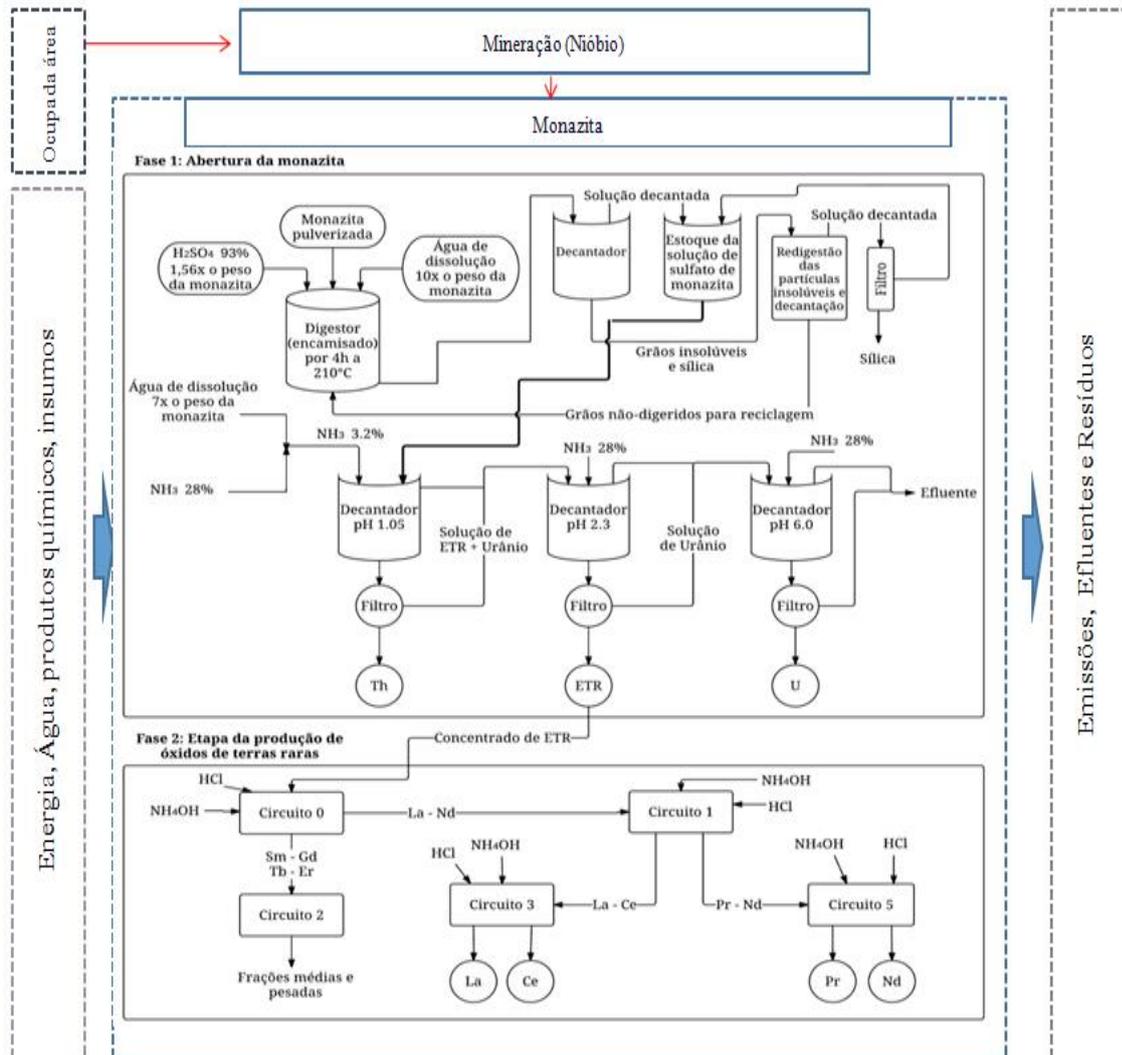


Figura 2: Modelagem do sistema

Inventário do Ciclo de Vida (ICV): as quantidades de reagentes utilizados e de co-produtos formados em todo o processo são descritos e os cálculos foram feitos com base na modelagem da Figura 2 a fim de se obter 4 kg de óxidos de terras raras e 2 de na forma de hidróxido úmido.

A Tabela 2 apresenta o inventário de ciclo de vida para a produção de 1 kg Óxido de Lantânio com pureza de 99,0%, 1 kg de Óxido de Cério com pureza de 98,6%, 1 kg de Óxido de Praseodímio com pureza de 96,5%, 1 kg de Óxido de Neodímio com pureza de 96,6%, assim como 1 kg Hidróxido úmido da fração média e 1 kg Hidróxido úmido da fração pesada, considerados sub-produtos dos sistema produtivo.

Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV): A Tabela 3 apresenta os resultados da avaliação do impacto ciclo de vida para a produção dos OTRs pela metodologia ReCiPe, com base no ICV.

Tabela 2. Inventário do ciclo de vida da produção de 4 kg de óxidos de terras e 2 kg Hidróxido úmido a partir de um minério brasileiro

	Insumos e energia utilizada	Unidade	Quantidade
Entradas	Abertura do Minério		
	Monazita	Kg	9,84
	Ácido Sulfúrico H2SO4 93%	Kg	15,36
	Amônia NH3 28%	Kg	1,98
	Água	L	167,28
	Produção de Óxidos de Terras Raras		
	Ácido Clorídrico HCl 37%	L	322,92
	Hidróxido de Amônio NH4OH 25%	L	298,98
	Eletricidade	kWh	273,24
Saídas	Tório	g	393,60
	Urânio	g	14,76
	Sílica	g	295,20
	Carga Circulante	kg	187,76

Pode-se observar na tabela 3 que para os impactos da categoria de danos Saúde Humana (em DALY) os mais impactantes são Mudanças Climáticas (67,%) seguida de Material Particulado (28%), para a categoria de danos Ecossistemas (em espécies.ano) o impacto mais relevante é Mudanças Climáticas para os Ecossistemas (92,%) seguida de Ocupação da Terra Urbana (3%), e finalmente, para a categoria de danos Consumo de Recursos (em \$) o impacto mais relevante é o relativo à Depleção de recursos minerais (95% da categoria de recursos).

Tabela 3. Resultados da AICV da produção de Óxido de terras raras pela metodologia ReCiPe

Categorias de Danos	Categorias de Impacto	Unidade	Total	%
Saúde Humana	Mudanças Climáticas	DALY	3,59E-04	67%
	Depleção de Ozônio	DALY	1,43E-07	
	Toxicidade Humana	DALY	3,08E-05	6%
	Formação fotoquímica	DALY	3,89E-08	
	Material Particulado	DALY	1,48E-04	28%
	Radiação Ionizante	DALY	4,50E-07	
Ecossistema	Mudanças Climáticas	DALY	3,59E-04	67%
	Mud. Climáticas Ecossistemas	espécies.ano	2,04E-06	92%
	Acidificação Terrestre	espécies.ano	9,05E-09	
	Eutrofização Água	espécies.ano	3,30E-09	
	Ecotoxicidade Terrestre	espécies.ano	9,69E-09	
	Ecotoxicidade Água	espécies.ano	4,55E-11	
	Ecotoxicidade Marinha	espécies.ano	1,08E-10	
	Ocupação da Terra Agrícola	espécies.ano	6,61E-08	
Ocupação da Terra Urbana	espécies.ano	4,81E-08	3%	
Recursos Naturais	Transformação da Terra Natural	espécies.ano	3,30E-08	
	Mud. Climáticas Ecossistemas	espécies.ano	2,04E-06	92%
	Depleção de Recursos Minerais	\$	1,77E+01	95%
	Depleção de Combustíveis Fósseis	\$	9,05E-01	

5. Conclusão

O presente trabalho representa o primeiro estudo de Avaliação do Ciclo de Vida da produção de óxidos de terras raras com as características da realidade brasileira. Os resultados do inventário do ciclo de vida mostraram o consumo de quantidades significativas de H₂SO₄, HCl e NH₄OH e a geração de resíduos associados com concentração de tório e urânio. Os resultados demonstram também que os impactos ambientais mais relevantes no tocante ao ciclo de vida da produção ETRs são referente às categorias de mudanças climáticas para a saúde humana, mudanças climáticas para os ecossistemas e a depleção de recursos minerais.

Os resultados do presente estudo podem ser utilizados em outros estudos de ACV de produtos e processos que tenham entre seus insumos ETRs, assim como definir os perfis ambientais considerando todo o ciclo de vida. Entende-se ainda que os resultados apresentados no presente trabalho não esgotam a discussão acerca da ACV. Esta se configura como uma ferramenta dinâmica sujeita a constantes aperfeiçoamentos no sentido de prover o mínimo de incerteza e o máximo de representatividade.

6. Agradecimentos

Agradeço ao CNPq e ao CETEM pelo incentivo e concessão da bolsa PCI.

7. Referências Bibliográficas

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

BLENGINI, G.A., GARBARINO, E., SOLAR, S., SHIELDS, D.J., HÁMOR, T., VINAI, R., AGIOUTANTIS, Z., 2012. Life Cycle Assessment Guidelines for the Sustainable Production and Recycling of Aggregates: The Sustainable Aggregates Resource Management Project (SARMA). **Journal of Cleaner Production**, v.27, p.177-181, 2013.

DA CUNHA, J. W. S. D.; WILDHAGEN, G. R. da S. Elaboração de modelo de produção de elementos e óxidos de terras raras (projeto CETEM). CW CONSULTORIA QUÍMICA E AMBIENTAL LTDA – Relatório técnico, 21p, 2016.

GOEDKOOP, M.; OELE, M.; SCHRYVER, A.; VIEIRA, M. SimaProDatabase Manual: Methods Library. Holanda: **PRéConsultants**, 2008. Disponível em: <www.pre.nl>. Acesso em: Fevereiro 2016.

GUINÉE, J.B.; HEIJUNGS, H.; HUPPES, G.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P; BUONAMICI, R. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. *Environmental Science and Technology* v. 45, n. 1, pp. 90-96, 2011.

KOLTUN, P.; THARUMARAJAH, A. Life cycle impact of rare earth elements. **ISRN Metallurgy**, v 2014, p.1-10, 2014.

SHAW, K. G. A process for separating thorium compounds from monazite sands. Retrospective Theses and Dissertations, paper 12740, 1953.

SOUSA FILHO, Paulo C. de and SERRA, Osvaldo A. Terras raras no Brasil: histórico, produção e perspectivas. **Quím. Nova**, vol.37, n.4, p. 753-760, 2014.

SPRECHER, B, XIAO, Y., WALTON, A., SPEIGHT, J., HARRIS, R., KLEIJN, R., VISSER, G , KRAMER, G. Life Cycle Inventory of the Production of Rare Earths and the Subsequent Production of NdFeB Rare Earth Permanent Magnets. **Environ. Sci. Technol**, v. 48, p. 3951–3958, 2014.

VAHIDI, E. An initial life cycle assessment of rare earth oxides production from ion-adsorption clays. **Resources, Conservation and Recycling**, v 113, p 1-11, 2016.