

Estudo sobre os impactos para a produção do alumínio no Brasil e nos EUA utilizando-se a técnica de AICV

José Tomadon Junior (UTFPR – CP) jtjunior@utfpr.edu.br
Giovanna Gabriela Crem Silva (UTFPR-CP) giovannacrem@hotmail.com
Ramon de Andrade Gonçalves (UTFPR – CP) ramon_deandrade@hotmail.com

Resumo:

O alumínio é amplamente utilizado de diversas maneiras, devido à versatilidade de suas propriedades e excelente desempenho na maioria das aplicações. Um grande desafio para produção do alumínio é o alto gasto energético e seu alto custo, insumo que chega a representar quase metade dos gastos com a transformação do alumínio. Neste artigo realizou-se um estudo comparativo entre a matriz energética utilizada nos EUA e a brasileira para a produção de 1 kg de alumínio, composto por 52% de alumínio primário e 48% de alumínio secundário. O objetivo do artigo é de avaliar os diferentes potenciais impactos ambientais causados pela produção do alumínio considerando as duas matrizes energéticas, assim como as diferentes contribuições nas emissões do alumínio primário e secundário. Os dados de produção do alumínio e de energia foram obtidos da base de dados Ecoinvent v.3. Os resultados do impacto foram calculados utilizando-se o método de avaliação ReCiPe(I). Para tabulação e apresentação dos resultados foi utilizado o Excel. A normalização dos dados mostrou que das 18 categorias de impactos inicialmente em estudo apenas 8 se mostram significativas, dentre elas, a matriz energética dos EUA obteve maiores valores de emissões em 6 delas, porém apesar da grande diferença entre as matrizes energéticas, as substâncias e os processos de maior impacto foram os mesmos para as duas matrizes, demonstrando que a mudança não apresentou uma grande influência nos valores finais das emissões. Já o alumínio secundário se demonstrou eficiente em termos de emissões comparado ao alumínio primário.

Palavras-chave: Alumínio, ACV, Matriz energética.

Study on the impacts for the production of aluminum in Brazil and the USA using the technique of LCA

Abstract

Aluminum is widely used for the industry of many ways. The major use of this material is due to the fact of its versatility and excellent performance in most applications. One of the major challenges for aluminum production is the high levels of energy consumption and its high cost; this input comes to represent almost half of spending on the transformation of aluminum. In this paper, we performed a comparative study between the energy matrix used in the US and the one used in Brazil to produce 1 kg of aluminum, consisting in 52% of primary aluminum, and 48% of secondary aluminum. The objective of this article is to evaluate the different potential environmental impacts caused by the production of aluminum considering the two energy mix, as well as the different contributions in emissions of primary and secondary aluminum. The data from aluminum production and energy consumption were obtained from the data base Ecoinvent v.3. The potential impacts were calculated using the impact assessment method ReCiPe (I). The software Microsoft Excel was used to tabulate and present the results. The data normalization showed that among the 18 categories of impact, initially studied, only 8 were statistically significant. From these 8 categories, the US energy matrix had higher values of emissions in 6 of them, however despite the great difference between the energy matrices, the substances and the processes of higher impact were the same for both matrices, showing

that the change did not exert great influence on the emissions values. Furthermore, the secondary aluminum has shown more efficient in terms of emissions compared to the primary aluminum.

Key-words: Aluminum, LCA, Energy matrix.

1. Introdução

A produção mundial de alumínio primário em 2010 foi de 40,800 milhões de toneladas, no qual os Estados Unidos da América (EUA) foi o 5º maior produtor com 1,726 milhões de toneladas, e o Brasil o 7º com um total de 1.536 milhões de toneladas. Com o crescente aumento do uso doméstico do alumínio, o consumo no Brasil devera triplicar até 2025.

A produção do alumínio apresenta alguns desafios ambientais como: a grande quantidade de energia utilizada no processo, o resíduo chamado de lama vermelha que deve ser tratado adequadamente para a proteção do meio ambiente, o tratamento da água utilizado nos processos, emissões de gás de efeito estufa ligadas a produção e também necessita de tecnologia avançada, alto investimento e grandes quantidades de insumos. Para a purificação da bauxita, minério do qual o alumínio é extraído, o processo mais utilizado devido a sua viabilidade econômica, é o processo Bayer, que é utilizado em associação ao processo de obtenção de alumínio metálico através do óxido de alumínio, processo conhecido como hall-héroult (ESCOBAR, 2004).

A produção do alumínio saltou de 2 milhões de toneladas em 1950 para 50 milhões de toneladas em 2008, além da grande versatilidade do metal e o fato de poder ser reciclado indefinidamente sem que perca suas excelentes propriedades, uma das razões para o aumento da produção foi o desenvolvimento na utilização da energia elétrica, insumo este que representa o maior custo na obtenção do alumínio metálico. A primeira célula eletrolítica comercial operava com uma corrente de 600A por célula, porém nos últimos anos houve um incremento gigantesco na corrente elétrica, atualmente verifica-se células comerciais operando com 300KA de corrente (SCHNEIDER, 2012).

Visto sua grande produção e os desafios ambientais para a sua obtenção, a avaliação de ciclo de vida (ACV) do alumínio pode promover mudanças tecnológicas pontuais e de grande impacto, possibilitando obter ganhos ambientais e econômicos com a melhoria da eco eficiência de produtos e serviços. Pode também ser de grande importância no mercado atual para manter a competitividade na exportação, devido a algumas barreiras que poderão ser impostas por países europeus, com a necessidade da rotulagem ambiental de produtos brasileiros com base na ACV (TAKEDA, 2008).

Diante destes fatos este artigo tem a proposta de verificar qual a diferença nos impactos ambientais decorrente da produção de 1kg de alumínio composto por 52% de alumínio primário proveniente da mineração da bauxita e 48% de alumínio secundário com sua origem de alumínio reciclado, utilizando-se a matriz energética dos Estados Unidos da América (EUA) e a brasileira, e se essas diferenças são realmente significativas e suas causas. Deseja-se também averiguar as diferentes contribuições do alumínio primário e secundário nos impactos ambientais em estudo.

A tabela 1 nos mostra o perfil do *mix* de energia para os EUA, os valores na tabela são referentes a porcentagem da origem para obtenção de 1 KW de energia.

Matriz energética EUA	
Origem	Porcentagem
Eletricidade, alta tensão (Carvão)	44,63%
Eletricidade, alta tensão (Gás natural)	23,39%
Eletricidade, alta tensão (Reator nuclear)	20,29%
Eletricidade, alta tensão (Hidrelétrica)	6,86%
Eletricidade, alta tensão (Eólica)	1,90%
Eletricidade, alta tensão (Térmica, Petróleo)	1,12%
Outras origens	1,76%

Tabela 1 – Perfil energético Matriz EUA

Percebe-se a grande contribuição das usinas convencionais com abastecimento de carvão e gás natural no perfil energético da matriz, sendo estas as duas maiores fontes de energia elétrica. Nota-se também uma grande parcela proveniente das usinas nucleares.

Assim como na tabela anterior a tabela 2 nos mostra o perfil energético, porem agora para a matriz energética brasileira.

Matriz energética BR	
Origem	Porcentagem
Eletricidade, alta tensão (Hidrelétrica)	78,63%
Eletricidade, alta tensão (Gás natural)	5,98%
Eletricidade, alta tensão (Térmica Petróleo)	4,09%
Eletricidade, alta tensão (Térmica Madeira)	3,62%
Eletricidade, alta tensão (Reator nuclear)	2,82%
Eletricidade, alta tensão (Eólica)	0,13%
Outras origens	4,8%

Tabela 2 – Perfil energético Matriz BR

Nota-se que para a matriz energética brasileira a energia vinda das hidrelétricas tem ampla vantagem na participação para a obtenção de 1KW de energia em relação a todas as outras origens.

Pelas tabelas anteriores pode se constatar uma grande diferença entre as matrizes energéticas. Enquanto a matriz energética brasileira apresentou 78,63% de sua eletricidade oriunda das hidrelétricas, para a matriz dos EUA 68,02% foi proveniente de usinas abastecidas por carvão e gás natural. A matriz energética do EUA obteve maiores valores na obtenção de energia por reatores nucleares e eólica. Já a matriz brasileira os valores para usinas térmicas abastecidas por combustíveis de origem do petróleo e termoeletricas abastecidas com madeira foram maiores.

2. Materiais e Métodos

O estudo foi realizado com dados secundários, obtidos da base de dados Ecoinvent v.03. Os inventários foram simulados no software SimaPro (versão *Faculty*). A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida foi realizada com o método de avaliação de impacto ReCiPe (I) em ponto médio da cadeia de causa e efeito. As seguintes categorias de impacto foram analisadas no estudo:

- a) Mudanças climáticas;

- b) Depleção da camada de ozônio;
- c) Acidificação terrestre;
- d) Eutrofização da água doce;
- e) Eutrofização marinha;
- f) Toxicidade humana;
- g) Formação de oxidante fotoquímico;
- h) Formação de particulados;
- i) Ecotoxicidade terrestre;
- j) Ecotoxicidade aquática em água doce;
- k) Ecotoxicidade aquática marinha;
- l) Radiação ionizante;
- m) Ocupação de terras agrícolas;
- n) Ocupação de terras urbanas;
- o) Transformação de terras nativas;
- p) Depleção da água;
- q) Depleção de metal;
- r) Depleção fóssil.

Com todos os dados já calculados pelo software, e o perfil do *mix* de energia para as matrizes energéticas dos dois países, realizou-se a comparação dos impactos utilizando-se as diferentes matrizes, foram então construídos gráficos e tabelas com a ajuda do *software* Excel para uma melhor visualização.

Para as categorias de impacto em estudo analisou-se as substâncias e os processos que geraram maiores contribuições ao potencial impacto ambiental. Posteriormente analisou-se os valores obtidos no inventário e as diferentes origens das matrizes energéticas para verificar os motivos das variações no potencial impacto e qual sua relevância. As contribuições do alumínio primário e secundário ao impacto total também foram consideradas e avaliadas.

3. Resultados e Discussão

Na figura 1 observa-se os dados normalizados com a utilização das duas matrizes energéticas em estudo. A normalização fornece informações sobre a significância relativa dos indicadores.

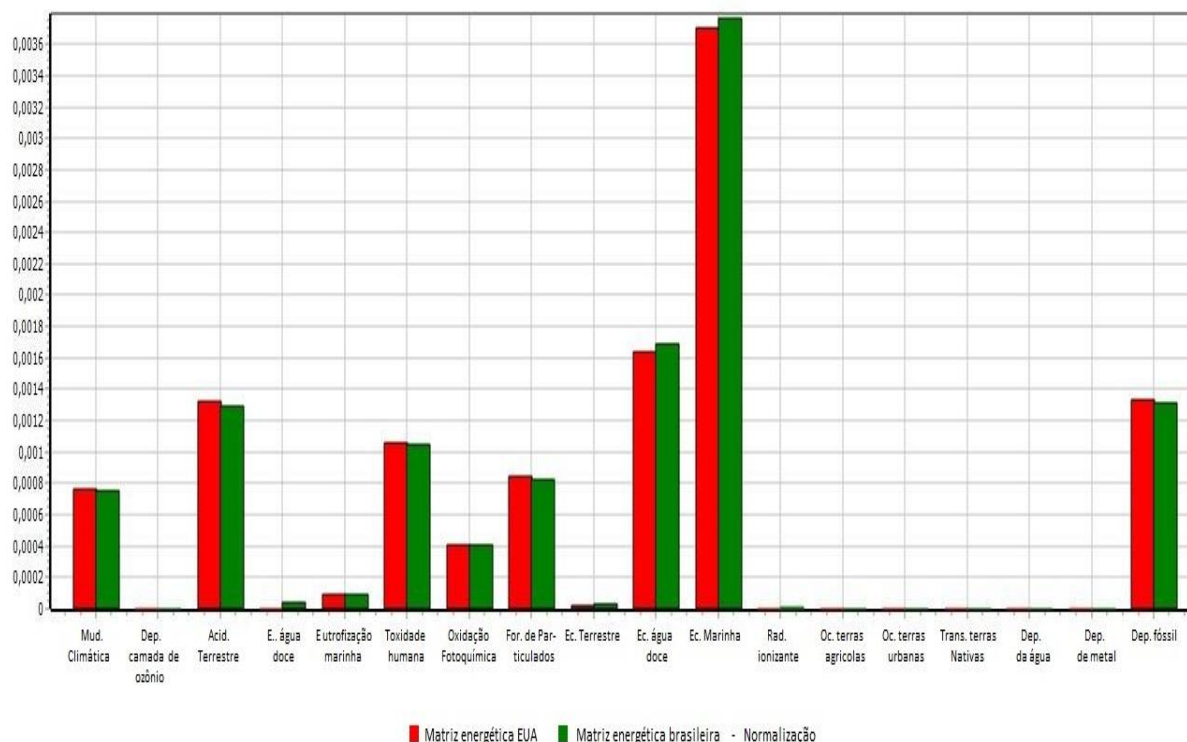


Figura 1 – Dados normalizados

Nota-se que as categorias de impacto com maior relevância na obtenção de 1kg do *mix* de alumínio, foram a ecotoxidade em água doce e a marinha para as duas matrizes energéticas em estudo. Já as categorias de ocupação e transformação de terras, eutrofização marinha e de água doce, radiação ionizante, ecotoxidade terrestre, depleção de água, metal e da camada de ozônio obtiveram pouca expressão.

Visto o grande volume de dados obtidos e a irrelevância demonstrada pelos dados normalizados dentro do estudo de algumas categorias, priorizou-se então apenas as oito categorias em que o potencial impacto ambiental se mostrou mais significativo.

As oito categorias de impacto agora em estudo são: mudanças climáticas, acidificação terrestre, toxicidade humana, oxidação fotoquímica, formação de particulados, ecotoxidade em água doce, ecotoxidade marinha e depleção fóssil.

A tabela 3 mostra a comparação entre as emissões e suas respectivas unidades para as duas matrizes energéticas.

Matriz energética brasileira x Matriz energética EUA		
Categorias de impactos	Total Matriz energética BR	Total Matriz energética EUA
Mudança climática	7,153 [kg CO2 eq]	7,224 [kg CO2 eq]
Acidificação terrestre	0,0463 [kg SO2 eq]	0,0471 [kg SO2 eq]
Toxicidade humana	0,221 [kg 1,4-DB eq]	0,222 [kg 1,4-DB eq]
Oxidação Fotoquímica	0,023 [kg NMVOC]	0,0234 [kg NMVOC]
Formação de particulados	0,0116 [kg PM10 eq]	0,0118 [kg PM10 eq]
Ecotoxidade água doce	0,0072 [kg 1,4-DB eq]	0,00703 [kg 1,4-DB eq]
Ecotoxidade Marinha	0,00791 [kg 1,4-DB eq]	0,00778 [kg 1,4-DB eq]
Depleção fóssil	1,688 [kg oil eq]	1,72 [kg oil eq]

Tabela 3 – Emissões totais. Matriz BR x Matriz EUA

Pela tabela 3 constata-se que a matriz energética dos EUA obteve maiores emissões em seis das oito categorias. Porém as emissões para a matriz energética brasileira mostraram-se maiores para as categorias de ecotoxicidade aquática de água doce e marinha, categorias estas que segundo os dados normalizados demonstram um maior potencial impacto.

A tabela a seguir referente a matriz energética brasileira, mostra as substâncias com maior participação nas emissões e depleção para cada categoria, assim como seu percentual de contribuição dentro do valor total já visto na tabela 3.

Matriz energética brasileira		
Categorias de impactos	Maior emissor (Substância)	Porcentagem
Mudança climática	Dióxido de Carbono	73,42%
Acidificação terrestre	Dióxido de enxofre	58,09%
Toxidade humana	Fluoreto de hidrogênio	47,51%
Oxidação Fotoquímica	Óxidos de nitrogênio	69,56%
Formação de particulados	Dióxido de enxofre	46,46%
Ecotoxicidade água doce	Bário	63,75%
Ecotoxicidade Marinha	Bário	59,79%
Depleção fóssil	Carvão	58,82%

Tabela 4 – Substância com maior emissão por categoria de impacto. Matriz BR

A tabela quatro deixa claro a grande participação dos dióxidos de enxofre e carbono e o bário como maiores emissores para cinco das oito categorias. Também exhibe o dióxido de carbono com 73,42% das emissões para mudanças climáticas, sendo a substância com maior percentual de participação dentre todas as outras categorias de impacto.

Tabela 5 também exhibe as substâncias com maior participação nas emissões, porém agora para a matriz energética do EUA.

Matriz energética EUA		
Categorias de impactos	Maior emissor (Substância)	Porcentagem
Mudança climática	Dióxido de Carbono	74,05%
Acidificação terrestre	Dióxido de enxofre	58,81%
Toxidade humana	Fluoreto de hidrogênio	47,74%
Oxidação Fotoquímica	Óxidos de nitrogênio	69,23%
Formação de particulados	Dióxido de enxofre	46,94%
Ecotoxicidade água doce	Bário	65,86%
Ecotoxicidade Marinha	Bário	61,18%
Depleção fóssil	Carvão	59,59%

Tabela 5 – Substância com maior emissão por categoria de impacto. Matriz EUA

Observa-se que as substâncias com maior contribuição foram as mesmas para as duas matrizes energéticas para todas as categorias avaliadas. A porcentagem das emissões encontradas para cada substância nas duas tabelas se demonstram com valores próximos.

As tabelas 6 e 7, exhibe os processos que mais contribuíram com as emissões para a matriz energética brasileira e norte-americana respectivamente.

Matriz energética brasileira		
Categorias de impactos	Maior contribuinte (processo)	Porcentagem
Mudança climática	Eletricidade, carvão betuminoso	37,99%
Acidificação terrestre	Eletricidade, carvão betuminoso	47,51%
Toxidade humana	Fundição alumínio primário	37,23%
Oxidação Fotoquímica	Eletricidade, carvão betuminoso	39,30%
Formação de particulados	Eletricidade, carvão betuminoso	46,98%
Ecotoxicidade água doce	Petróleo bruto (produção)	61,80%
Ecotoxicidade Marinha	Petróleo bruto (produção)	54,86%
Depleção fóssil	Carvão betuminoso (mina)	54,64%

Tabela 6 – Processo com maior participação nas emissões por categoria de impacto. Matriz BR

Na tabela 6 apresenta a produção da eletricidade por meio do carvão betuminoso como processo com maior emissão para 4 categorias, já as emissões decorrentes do uso do petróleo ligado a produção foi o maior emissor para as categorias de ecotoxicidade de água doce e marinha.

Matriz energética EUA		
Categorias de impactos	Maior contribuinte (processo)	Porcentagem
Mudança climática	Eletricidade, carvão betuminoso	38,98%
Acidificação terrestre	Eletricidade, carvão betuminoso	48,61%
Toxidade humana	Fundição alumínio primário	37,07%
Oxidação Fotoquímica	Eletricidade, carvão betuminoso	40,04%
Formação de particulados	Eletricidade, carvão betuminoso	47,88%
Ecotoxicidade água doce	Petróleo bruto (produção)	63,72%
Ecotoxicidade Marinha	Petróleo bruto (produção)	56,16%
Depleção fóssil	Carvão betuminoso (mina)	59,30%

Tabela 7 – Processo com maior participação nas emissões por categoria de impacto. Matriz EUA

Assim como para as substâncias os processos com maior contribuição foi o mesmo encontrado para as duas matrizes energéticas.

Analisando os valores encontrados para as tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e observando os diferentes perfis das matrizes energéticas na tabela 1 e 2, pode-se perceber que a maior contribuição de combustíveis fósseis para a matriz EUA justifica as maiores emissões em categorias como mudanças climáticas, toxidade humana e depleção fóssil, assim como para a matriz brasileira com a maior utilização de hidrelétricas é a possível causa de maiores valores de emissão nas categorias de ecotoxicidade marinha e de água doce.

Para o estudo das contribuições do alumínio primário e secundário, as tabelas a seguir nos apresenta as porcentagens de cada alumínio no total das emissões para a matriz brasileira e dos EUA respectivamente.

Matriz energética BR		
Categorias de impactos	Contribuição Alumínio Primário	Contribuição alumínio secundário
Mudança climática	94,62%	5,38%
Acidificação terrestre	94,76%	5,24%
Toxidade humana	97,72%	2,28%
Oxidação Fotoquímica	97,15%	2,85%
Formação de particulados	95,09%	4,91%
Ecotoxicidade água doce	87,78%	12,22%
Ecotoxicidade Marinha	90,26%	9,78%
Depleção fóssil	93,36%	6,64%

Tabela 8 – Contribuição do alumínio primário e secundário no total das emissões. Matriz BR

A categoria de impacto com maior contribuição do alumínio primário para a matriz brasileira foi a toxidade humana com 97,72% do total de emissões, já para ecotoxicidade aquática em água doce observou-se a sua menor contribuição com 87,78% dos valores totais.

Matriz energética EUA		
Categorias de impactos	Contribuição Alumínio Primário	Contribuição alumínio secundário
Mudança climática	93,83%	6,17%
Acidificação terrestre	93,93%	6,07%
Toxidade humana	97,46%	2,54%
Oxidação Fotoquímica	96,00%	4,00%
Formação de particulados	94,24%	5,76%
Ecotoxicidade água doce	88,74%	11,26%
Ecotoxicidade Marinha	90,74%	9,26%
Depleção fóssil	92,10%	7,90%

Tabela 9 – Contribuição do alumínio primário e secundário no total das emissões. Matriz EUA

Os valores obtidos na tabela 9 mostram que as emissões encontradas para o alumínio primário foram significativamente maiores que a contribuição do alumínio secundário, totalizando 93,6% das emissões para as 8 categorias agora em estudo. As categorias com maior e menor participação do alumínio primário foram as mesmas para as duas matrizes.

Vale salientar que o *mix* de alumínio em estudo é composto de 52% de alumínio primário e 48% de alumínio secundário, apesar das proporções na serem as mesmas os valores são próximos dando assim uma real dimensão dos diferentes valores de emissão para os dois alumínios que compõe o *mix*.

4. Conclusões

Os resultados apresentados neste artigo demonstram que houve diferenças nos valores das emissões para as matrizes energéticas em estudo para a produção do *mix* de alumínio, porem apesar das grandes diferenças encontradas entre as matrizes energéticas, estas não provaram ter grande influência nos resultados finais das emissões, pois as substâncias e os processos assim como os valores totais observados foram de forma geral próximos, demonstrando que as diferenças em termos de relevância pode ser consideradas pequenas.

Por outro lado, o alumínio secundário oriundo da reciclagem exibiu um significativo menor potencial emissor dentro do estudo para as matrizes dos dois países, dado este valioso devido a possibilidade do alumínio ser reciclado indefinidamente sem perder as suas propriedades.

Vale ressaltar que apesar das pequenas diferenças nos resultados do estudo, a ACV é de grande importância para a produção do alumínio, devido aos grandes desafios que este proporciona. Os EUA e o Brasil como grandes produtores necessitam investir em estudos na área para que possam diminuir suas emissões e otimizar processos.

Referências

ESCOBAR, Eduardo M. **Determinação simultânea, em linha, da concentração de soda cáustica e de alumina em solução de aluminato de sódio do processo Bayer de produção de óxido de alumínio**. 2004, 89 f. Dissertação de pós-graduação – Instituto químico, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000355003>. Acesso em 01/09/2016 às 19:00

SCHNEIDER, Guilherme Leal. **Desenvolvimento de uma metodologia numérica para estimativa de espessura de LEDGE na produção de alumínio primário**. 2012, 69 f. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/61135>. Acesso em 28/08/2016 às 19:00.

TAKEDA, Adriane. **Levantamento de métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) e análise comparativa dos métodos mais utilizados**. 2008. 387 f. Monografia (Graduação Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180300/tce-30082010-144214/?&lang=br>. Acesso em 01/09/2016 às 20:00