



Aplicação da Análise do Ciclo de Vida na construção civil: discussão sobre alocação de impactos entre o aço e suas escórias

Application of life cycle assessment in the construction sector: discussing influence of impact allocation between steel and its slags

MARCELLA RUSCHI MENDES SAADE

BETINA MARQUES DE OLIVEIRA

MARISTELA GOMES DA SILVA

VANESSA GOMES

Engenheira Ambiental, graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo, mestranda em Arquitetura e Construção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da FEC/UNICAMP.

Engenheira Ambiental, graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

Engenheira Civil, graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo, mestre e doutora em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pós-doutorado em Engenharia Civil e Ambiental pela University of Pittsburgh, professora do Departamento de Engenharia Civil da UFES.

Arquiteta, graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo, mestre e doutora em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pós-doutorado em Engenharia Química e do Petróleo e em Engenharia Civil e Ambiental pela University of Pittsburgh, professora do Departamento de Arquitetura e Construção da FEC/UNICAMP.

marcellarms@hotmail.com

betinamarques@hotmail.com

margomes.silva@gmail.com

vangomes@gmail.com

Resumo

O setor siderúrgico brasileiro é reconhecido pela disseminação de ações relacionadas com a reciclagem das escórias siderúrgicas. Há, porém, algumas dificuldades para avaliação da carga ambiental do produto e dos seus co-produtos, ambos formados no mesmo processo. A metodologia da Análise de Ciclo de Vida (LCA) constitui uma ferramenta holística para a distribuição de impactos ambientais entre produtos e co-produtos, possibilitando a alocação de impactos com base em diferentes critérios. Visando à compreensão da influência do critério de alocação de impactos sob os resultados da LCA, e, portanto, a uma visão mais consciente do processo de produção do aço e da

reciclagem de suas escórias como matéria-prima para materiais de construção, o presente artigo objetiva a condução de uma LCA simplificada (*streamlined LCA*) do aço e das escórias siderúrgicas, com a realização de uma avaliação comparativa dos resultados decorrentes do uso de critérios de alocação de impactos com base na massa e no valor econômico; e, mais especificamente, visa analisar a diferença entre resultados obtidos a partir do uso de dados de inventários internacionais e de dados específicos de uma empresa siderúrgica brasileira. Para o tratamento e a interpretação dos resultados foi utilizada a plataforma de apoio SimaPro 7.1 e a avaliação dos impactos foi realizada por meio do EcoIndicator 99. Os resultados encontrados demonstraram a relevância da discussão quanto ao critério de alocação de impactos para avaliar a competitividade mercadológica das escórias siderúrgicas em relação às suas alternativas para a produção de materiais de construção, e, também, comprovaram a importância de utilização de dados específicos de uma determinada empresa, setor ou país para a construção de inventários representativos e para estimular a definição de indicadores e de metas de desempenho ambiental, que impulsionem o crescimento mais sustentável da indústria siderúrgica nacional.

Palavras-chave: alocação de impactos; Análise de Ciclo de Vida (LCA); aço; escórias siderúrgicas; SimaPro 7.1.

Abstract

The steel industry stands out for its steel slag's recycling practices, which provide alternatives for construction material's components. However, some limitations arise regarding the evaluation of the products and co-products' environmental load, since there must be a coherent division of the ecological baggage inherent to the making of those products and co-products. The Life Cycle Assessment methodology represents a holistic tool for distributing environmental impacts between a product and its co-products, allowing impact allocation based on different criteria. Aiming for a better understanding of the impact allocation criteria's influence on the LCA's results and, therefore, on a more conscious view of the steel making process and the recycling of its slags as prime matter for construction materials, this paper intends to perform a simplified LCA (*streamlined LCA*) of steel and its slags, carrying out a comparative evaluation of the different results obtained from the use of allocation impact criteria based on mass properties and economic value, and, more specifically, this paper aims to analyze the difference between results obtained by using data from generic inventories and data from the company that characterizes the case study. For result treatment and interpretation, the software SimaPro 7.1 was used and the environmental impact evaluation was performed through EcoIndicator 99. The obtained results highlighted the relevance of the impact allocation criteria discussion to assess the competitive edge of steel slags against its alternatives for producing construction materials, and confirmed the importance of using specific data from a given company, sector or country for constructing

representative inventories and to stimulate the definition of environmental performance indicators and goals, to promote a more sustainable growth of national steel industry.

Keywords: impact allocation; life cycle assessment (LCA); steel; steel slags; SimaPro 7.1.

Aplicação da Análise do Ciclo de Vida na construção civil: discussão sobre a alocação de impactos entre o aço e suas escórias

1. Introdução

A indústria siderúrgica, já há algum tempo, prioriza ações que minimizem as cargas ambientais do processo de produção do aço. Em virtude disso, todas as usinas siderúrgicas brasileiras possuem sistemas de gestão ambiental implantados ou em fase final de implantação (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2009, 43).

A quantidade de co-produtos da produção do aço gira em torno de 450 a 500 kg por tonelada de aço bruto produzida, com as escórias siderúrgicas representando mais de 70% deste total. Em função da grande quantidade de escórias siderúrgicas gerada, observa-se um esforço da siderurgia para encontrar alternativas para sua reciclagem, tendo a construção civil como importante mercado consumidor.

A forma mais destacada de emprego de escória de alto-forno na construção civil ainda é a sua adição na fabricação de cimento Portland. A escória de aciaria, por sua vez, tem sido empregada como agregado siderúrgico na pavimentação rodoviária. Em qualquer cenário, é muito importante avaliar o desempenho ambiental, a competitividade e a atratividade econômica das escórias siderúrgicas como matérias-primas para produção de materiais de construção civil.

Nesta mesma linha, o desempenho ambiental de produtos e processos tornou-se um assunto chave, e, devido a isto, a busca por maneiras de minimizar os seus impactos sobre o meio ambiente tornou-se uma tendência do mundo corporativo. Com isso, muitas empresas encontraram caminhos vantajosos de melhoria de desempenho ambiental, que vão além das convencionais estratégias de prevenção de poluição e dos programas de gerenciamento ambiental. Um destes caminhos é sustentado pela metodologia de Análise de Ciclo de Vida (LCA) (CURRAN, 1996).

O ciclo de vida de um produto consiste de todos os estágios inerentes à sua existência, com registros que começam com a extração da matéria-prima necessária para sua produção e terminam com a sua disposição final. A Análise de Ciclo de Vida (LCA) é uma metodologia de avaliação da carga ambiental de processos, de sistemas e de produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida (BAUMANN; TILLMAN, 2004, 9).

Ao somar os impactos do começo ao fim do ciclo de vida, a LCA disponibiliza uma visão holística dos aspectos ambientais e um retrato mais fiel do cenário, facilitando a comparação

entre produtos e processos ou mesmo apenas a contabilização dos impactos referentes a um único produto.

Por motivos de eficiência e praticidade, a LCA é comumente dividida nas etapas de **definição dos objetivos e escopo**, na qual o propósito da análise é especificado; **análise de inventário**, na qual são realizados os cálculos das emissões produzidas e dos recursos utilizados; e, por fim, **análise de impactos**, na qual as emissões e o uso de recursos são relacionados a diversos problemas ambientais.

1.1 Definição dos objetivos e escopo

Nesta etapa, são definidos os propósitos do estudo, sua abrangência e profundidade (SILVA; SILVA, 2000, 51-59). O produto, processo ou atividade é descrito, sendo estabelecido em que contexto a avaliação será realizada. O objetivo e o escopo de um estudo de LCA devem ser consistentes com a aplicação pretendida e claramente definidos, já que propósitos diferentes demandam diferentes metodologias, e vice-versa.

1.1.1 Unidade funcional

A escolha da unidade funcional é uma das etapas mais importantes, pois serve de comparação para cada parte do processo. Assim, de acordo com esta unidade, os fluxos de cada etapa são normalizados, resultando no seu desempenho quantificado.

1.1.2 Procedimentos de alocação de impactos

É usual que diferentes ciclos de vida estejam conectados e que, nestas situações, surjam problemas de como atribuir as cargas ambientais derivadas. Tal procedimento é reconhecido pela ISO 14.040:1997 como alocação de impactos, definido como a partição de fluxos de entrada e saída de um processo no sistema em estudo.

Para a realização do procedimento de alocação devem ser adotados critérios para a divisão da carga ambiental. Estes critérios podem, por exemplo, ter como base o valor econômico dos produtos e co-produtos no mercado ou podem refletir relações físicas entre entradas e saídas dos processos.

1.2 Análise de inventário

O Inventário do Ciclo de Vida de um produto refere-se à coleta de dados e aos procedimentos de cálculos. Em tese, o inventário é semelhante a um balanço contábil-

financeiro, medido em termos energéticos ou de massa, havendo equilíbrio e igualdade entre entradas e saídas.

A estruturação do inventário depende da organização dos dados de todas as etapas do ciclo de vida, e, portanto, a aquisição de dados como matéria-prima, fonte de energia, produtos, co-produtos, resíduos sólidos e emissões atmosféricas e aquáticas faz parte desta análise. Tendo em mãos os referidos dados, realizam-se, então, os cálculos da quantidade de recursos utilizados e da emissão de poluentes relativas à unidade funcional adotada.

1.3 Análise de impactos

A etapa de análise dos impactos visa explicitar os impactos decorrentes das cargas ambientais calculadas na análise de inventário. Esta etapa é responsável por transformar os resultados da análise de inventário em resultados ambientalmente relevantes, relacionando-os a impactos específicos, como acidificação e depleção da camada de ozônio, ao invés de deixá-los na forma de dados de emissão e de uso de recursos (BAUMANN; TILLMAN, 2004, 29).

2. Abordagem metodológica

Pode-se segmentar a realização do presente trabalho nas seguintes etapas: **revisão bibliográfica**, abrangendo os aspectos metodológicos da Análise de Ciclo de Vida, bem como o estudo das principais fases do processo produtivo do aço; **aplicação da metodologia de Análise do Ciclo de Vida** em um estudo de caso (empresa siderúrgica A); **análise e discussão dos resultados**, considerando os critérios de alocação por massa e valor econômico do aço e de seus co-produtos, e, finalmente, análise comparativa dos resultados quando da adoção de dados da Empresa A e de dados obtidos em bases internacionais.

2.1 Definição dos objetivos e escopo

O estudo tem por objetivo, principal, analisar, comparativamente, os resultados de Análises do Ciclo de Vida (LCA's) simplificadas do aço e das escórias siderúrgicas, com base nos critérios de alocação de impactos por massa e valor econômico dos produtos e co-produtos gerados, de forma a caracterizar a carga ambiental do aço e das escórias siderúrgicas. Aplicou-se a metodologia da LCA em um estudo de caso (empresa siderúrgica A), cujos dados de produção foram coletados e organizados na análise de inventário.

Considerou-se como unidade funcional mais conveniente para o estudo uma tonelada de placas de aço produzidas, que constitui o produto final desta siderúrgica.

Para mensurar as consequências ambientais do processo siderúrgico, optou-se por avaliar o impacto sobre a saúde humana, sobre os recursos naturais e sobre a qualidade dos ecossistemas, categorias contempladas nos métodos de avaliação de impactos mais conceituados perante a comunidade científica. Cada categoria de impacto abrange diferentes classes de impactos.

2.1.1 Critério de alocação com base na massa

A produção da Empresa A para o ano de 2009 foi de, em média, 5.4 milhões de toneladas de placas de aço, enquanto a produção de escória siderúrgica foi de 2.4 milhões de toneladas, sendo 42% (1.01 milhões de toneladas) referente à escória de aciaria, e 58% (1.38 milhões de toneladas) referente à escória de alto-forno.

Nos altos-fornos, a produção de ferro-gusa foi de, aproximadamente, 5.6 milhões de toneladas. Considerou-se, portanto, que 80.32% do impacto ambiental gerado por esta etapa seria creditado ao ferro-gusa, enquanto 19.68% seria alocado à escória de alto-forno. Já na aciaria, o impacto relativo à produção do aço representa 84% do impacto total, implicando em 16% do impacto por parte da escória de aciaria.

2.1.2 Critério de alocação com base no valor econômico

Segundo notícia veiculada em 14 de março deste ano de 2010, o aço está sendo comercializado a R\$3,000.00 a tonelada¹; enquanto a escória de aciaria, com base em dados da Empresa A, é vendida por R\$1.00 a tonelada.

O ferro-gusa, segundo notícia divulgada em 23 de abril de 2010, é comercializado a US\$550.00 a tonelada², o que equivale a aproximadamente R\$1,000.00 a tonelada, utilizando o valor cambial do dia 31/05/2010 (dólar comercial a R\$1.8210). Já a escória de alto-forno, segundo dados da Empresa A, é vendida por R\$37.00 a tonelada.

Os valores citados levaram à adoção de 99.97% da carga ambiental da aciaria para o aço, ficando 0.03% do impacto ambiental direcionado à escória de aciaria; e de 96.4% do impacto ambiental do alto-forno alocado ao ferro-gusa e 3.6% proveniente da escória de alto-forno.

2.2 Análise de inventário

A modelagem do ciclo produtivo do aço exigiu a coleta de dados específicos referentes à empresa objeto do estudo de caso, levando em consideração as fronteiras do sistema estabelecidas na definição do objetivo e o escopo da análise. A coleta foi realizada por meio de visitas à Empresa A, para reuniões com funcionários da área de gestão em meio ambiente. Os dados, protegidos por sigilo, foram obtidos de relatórios apresentados ao órgão ambiental, visando garantir sua confiabilidade e qualidade.

Para cada etapa do processo produtivo, os dados foram separados em materiais provenientes da ecosfera (recursos naturais), materiais provenientes da tecnosfera (combustíveis, materiais já industrializados, energia e calor), emissões ao ar, à água e resíduos sólidos.

2.3 Análise de impactos

Conduziu-se uma avaliação dos impactos ambientais para cada critério de alocação, de forma a considerar as principais diferenças entre os resultados apresentados e realizar a análise das implicações decorrentes.

O método escolhido para a análise de impactos foi o EcoIndicator 99, um modelo consistente com as diretrizes preconizadas pela norma ISO 14.042:2000, cujo uso é difundido e reconhecido mundialmente.

A plataforma de apoio selecionada para a realização da LCA foi o *software* SimaPro 7.1, por possuir grande flexibilidade de manipulação, simplicidade e adaptabilidade a diversos objetivos.

3. Apresentação e discussão dos resultados

A interpretação dos resultados é realizada por meio da avaliação dos impactos da geração das escórias de alto-forno e de aciaria relativos aos impactos da produção de uma tonelada de placas de aço. Primeiramente, serão apresentados os fluxogramas das etapas do alto-forno e da aciaria da Empresa A, e, posteriormente, são evidenciadas, por meio de gráficos e figuras, as diferenças obtidas com os critérios de alocação. Os demais fluxogramas podem ser encontrados em Oliveira e Saade (2010, 59-65).

Em seguida, serão apresentados os resultados provenientes de uma LCA do processo siderúrgico utilizando somente dados de bases estrangeiras, visando apontar as principais diferenças entre as análises, destacando a importância de inventários de dados locais.

3.1 Avaliação de impactos ambientais

Os fluxogramas do alto-forno e da aciaria apresentados nas FIG. 1 e FIG. 2, fornecidos pelo *software* SimaPro 7.1, destacam as cargas ambientais relativas a cada entrada (*input*), representadas pela espessura das setas. Assim, setas mais largas estão associadas a uma maior relevância de impacto.

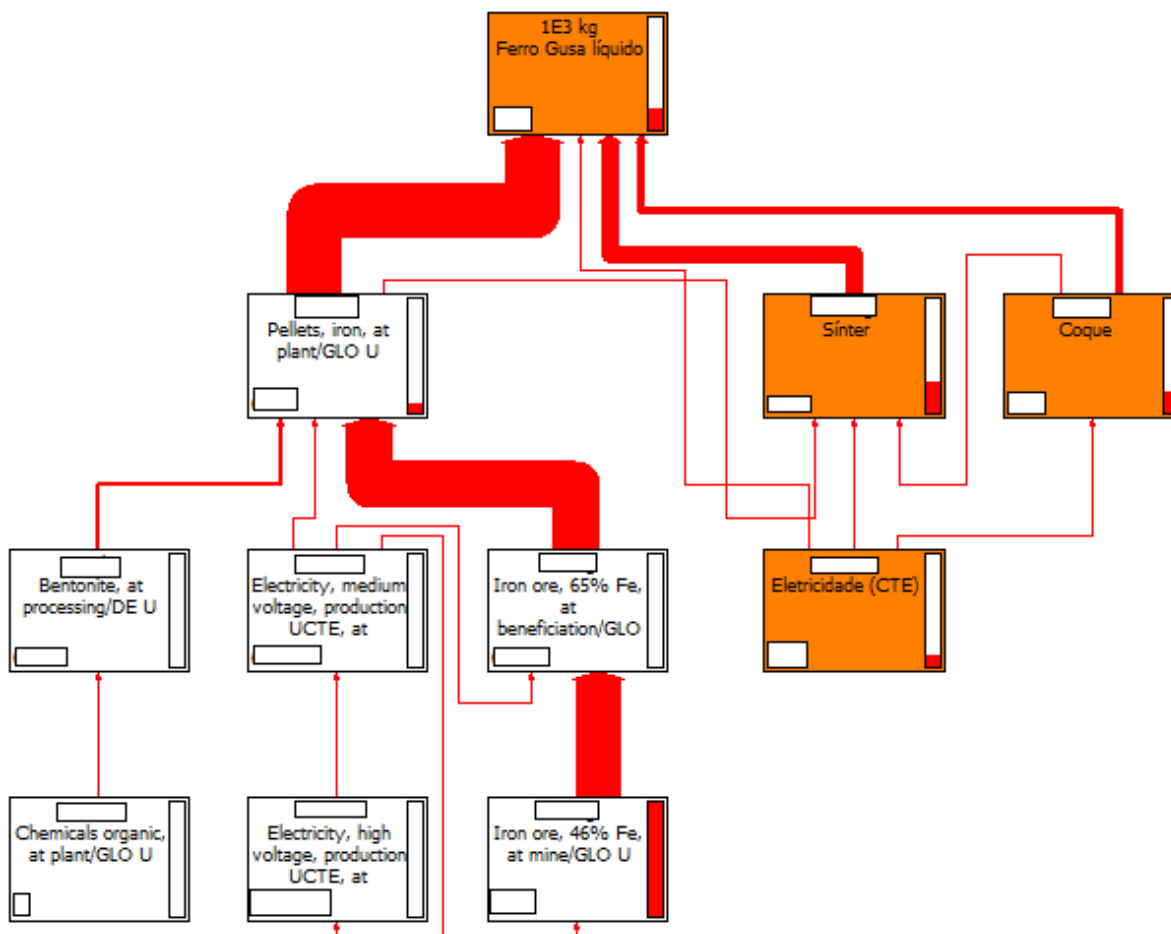


FIGURA 1: Fluxograma de produção do alto-forno (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 62).

Para a produção de uma tonelada de ferro gusa, o maior contribuinte para a carga ambiental deste sistema é o fornecimento externo de pelotas. Em parcelas menos significativas, destacam-se as contribuições das entradas de sinter e coque.

Na aciaria, para a produção de uma tonelada de placas de aço, o maior contribuinte para a carga ambiental é o ferro gusa, seguido do gás natural.

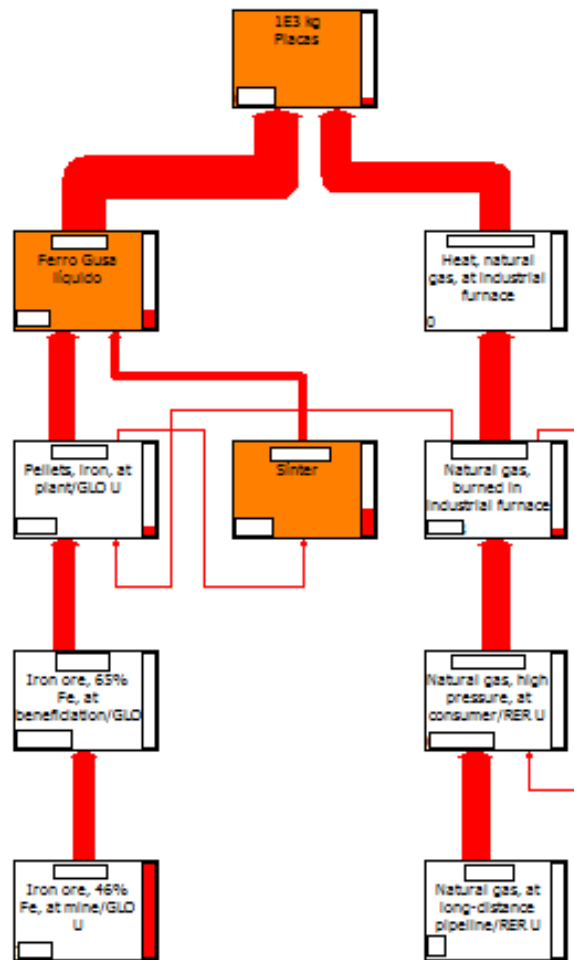


FIGURA 2: Fluxograma de produção da aciaria (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 63).

As FIG. 3 a FIG. 6 representam as etapas de agrupamento dos efeitos ambientais decorrentes da produção do aço e das escórias siderúrgicas (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 78-81).

A análise das FIG. 3 a FIG. 6 permite a constatação da maior contribuição das escórias siderúrgicas para a carga ambiental do processo, quando da utilização do critério de alocação por massa. Estes resultados são condizentes com o esperado, uma vez que a massa de escória siderúrgica produzida é consideravelmente mais significativa, em relação à produção de uma tonelada de placas de aço, do que o seu valor econômico.

O agrupamento permitiu a visualização do total de impactos ambientais decorrentes da geração do produto e do co-produto avaliados, bem como a contribuição de cada categoria de impacto para este total.

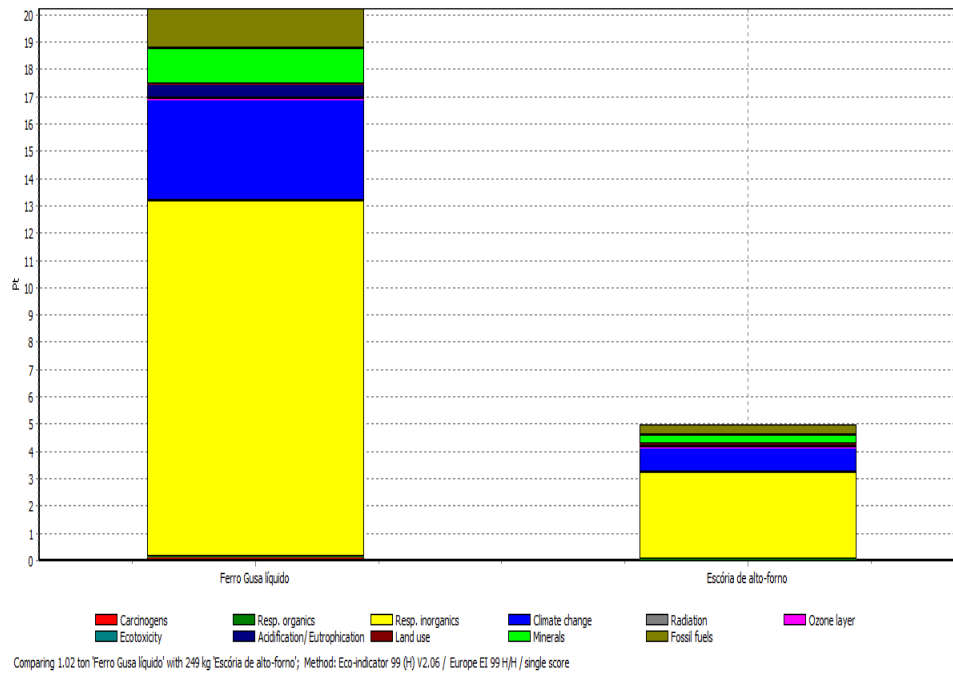


FIGURA 3: Agrupamento dos efeitos ambientais do alto-forno: critério de alocação por massa (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 78).

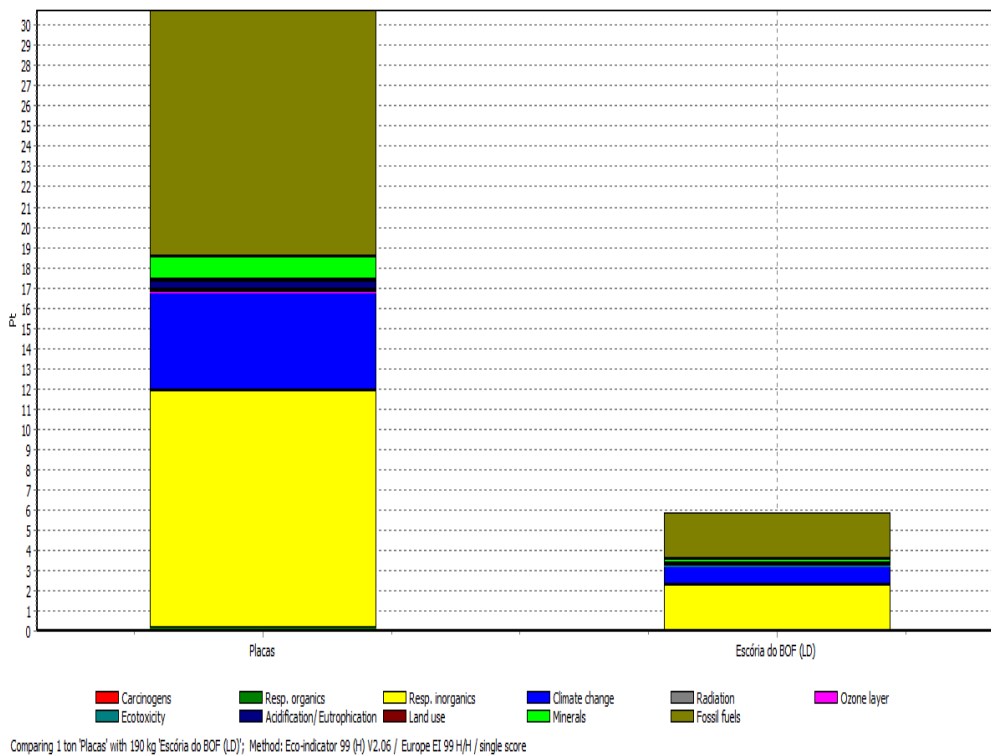


FIGURA 4: Agrupamento dos efeitos ambientais da aciaria: critério de alocação por massa (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 79).

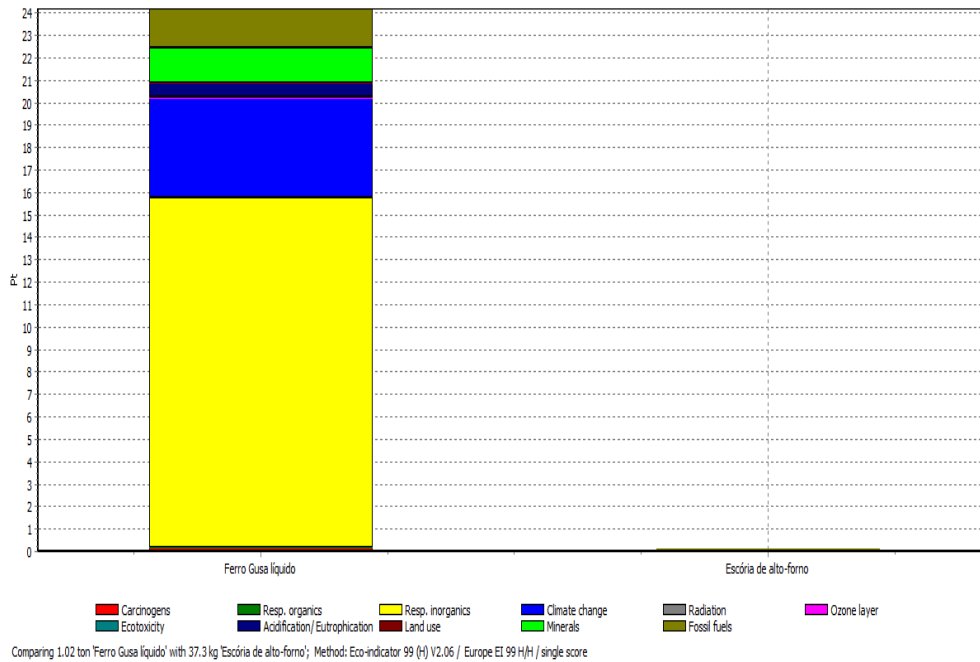


FIGURA 5: Agrupamento dos efeitos ambientais do alto-forno: critério de alocação por valor econômico (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 80).

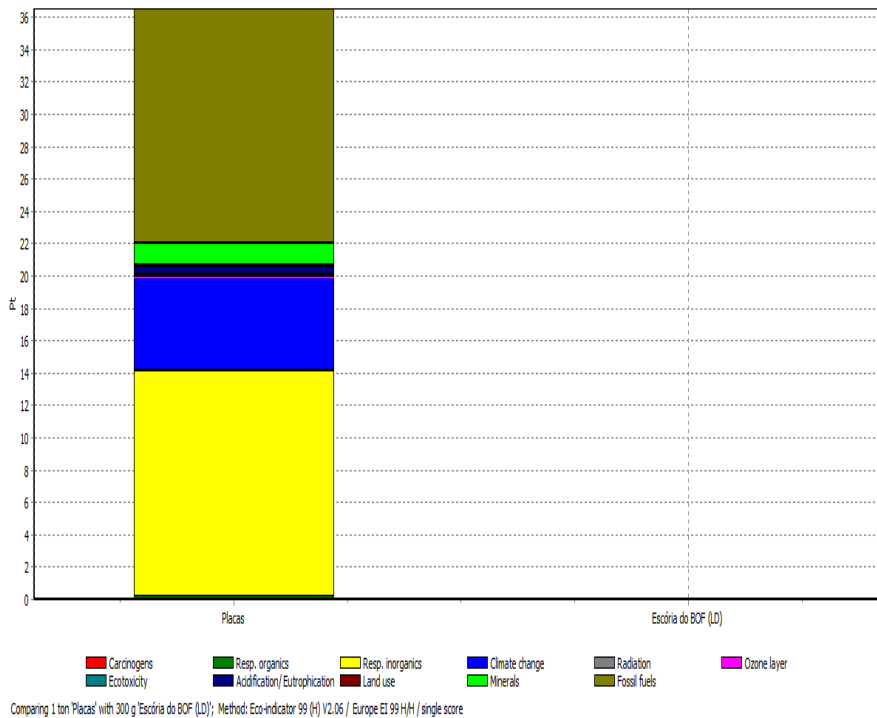


FIGURA 6: Agrupamento dos efeitos ambientais da aciaria: critério de alocação por valor econômico (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 81).

Os resultados apresentados levam à constatação de que as escórias siderúrgicas geradas durante o processo produtivo do aço possuem, associadas a elas, cargas ambientais diferentes, dependendo do critério diretor da alocação dos impactos. Tal diferença influencia o peso da “*mochila ecológica*” associada à produção do aço, uma vez que, quando se aloca considerável parte do impacto às escórias siderúrgicas (na alocação com base na massa, por exemplo), minimiza-se a carga ambiental do aço, e vice-versa.

3.2 Avaliação da importância da elaboração de inventários locais

Para avaliar e mensurar as potenciais limitações advindas do uso de dados de matéria-prima de bases internacionais, foi realizada uma LCA do processo de produção do aço e das escórias siderúrgicas utilizando somente os dados disponibilizados nas bases do *software* SimaPro 7.1, ou seja, todos os dados inseridos neste estudo específico eram provenientes de inventários de outros países.

A FIG. 7 e a FIG. 8, fornecidas pelo *software* SimaPro 7.1, representam os fluxogramas do alto-forno e da aciaria. A análise das mesmas indica a grande contribuição da sinterização para o impacto ambiental potencial de ambas as etapas de produção. Percebe-se a diferença entre a LCA com dados de inventário fornecidos pela Empresa A, cujos fluxogramas indicam que a utilização de pelotas representa uma maior contribuição para a carga ambiental das etapas analisadas, quando comparada à utilização do sinter. Tal fato explica-se pelo grande índice de reutilização de resíduos observado na sinterização do processo produtivo da Empresa A, que, como seria esperado, minimiza o potencial de geração de impactos da etapa.

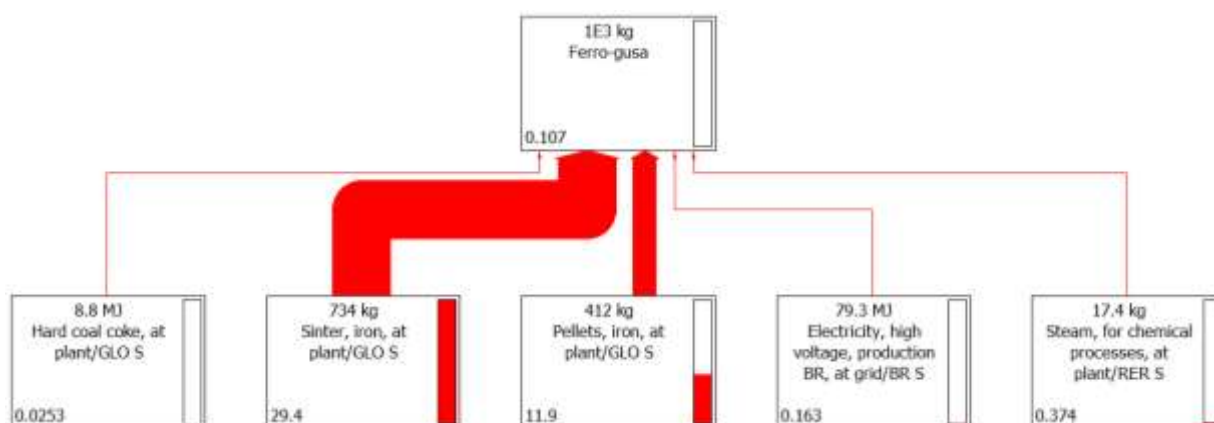


FIGURA 7: Fluxograma de produção do alto-forno, utilizando dados estrangeiros (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 85).

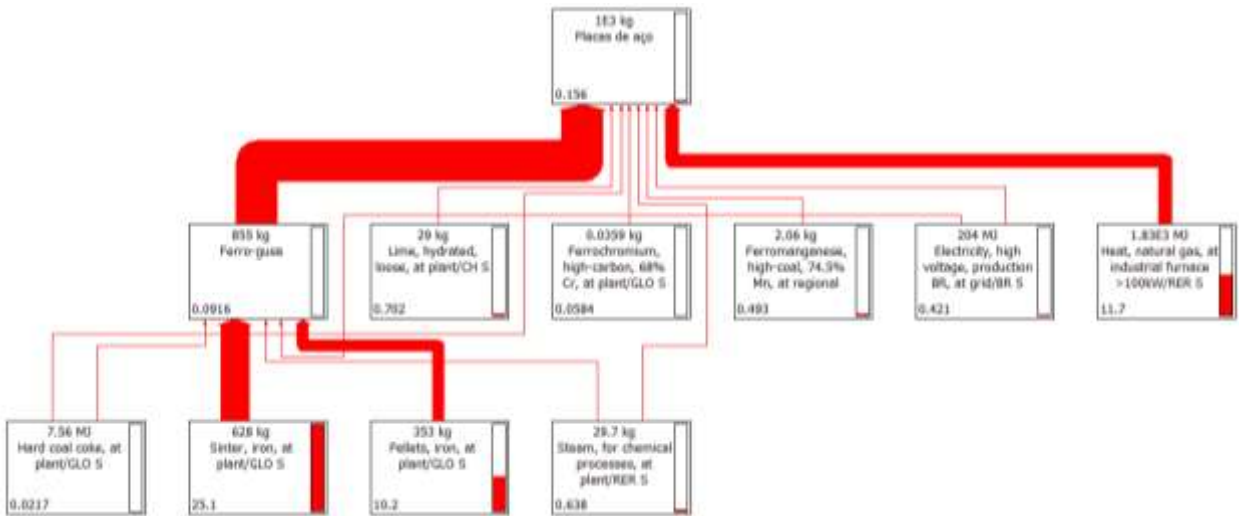


FIGURA 8: Fluxograma de produção da aciaria, utilizando dados estrangeiros (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 85).

As FIG. 9 a FIG. 12 apresentam o total de impactos ambientais decorrente da produção do ferro-gusa e da escória de alto-forno, e da placa de aço e da escória de aciaria, adotando a partição de impactos com base na massa e no valor econômico, respectivamente. Destacam-se, nas laterais direitas das figuras, o total de impactos fornecido quando do uso de dados locais, visando à avaliação comparativa entre as abordagens.

Impact category	Unit	Ferro-gusa	Escória de alto-forno
Total	Pt	42.7	10.5
Carcinogens	Pt	0.442	0.108
Resp. organics	Pt	0.00489	0.0012
Resp. inorganics	Pt	31.1	7.61
Climate change	Pt	1.37	0.335
Radiation	Pt	0.0143	0.00351
Ozone layer	Pt	0.000286	7E-5
Ecotoxicity	Pt	0.838	0.205
Acidification/ Eutrophication	Pt	0.778	0.191
Land use	Pt	0.185	0.0454
Minerals	Pt	1.89	0.463
Fossil fuels	Pt	6.15	1.51

	Ferro Gusa líquido	Escória de alto-forno
	20.2	4.96
	0.152	0.0323
	0.000896	0.000219
	13.1	3.2

FIGURA 9: Resumo do total de impactos ambientais do alto-forno: critério de alocação por massa (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 86).



Impact category	Unit	Placas de aço	Escória de aciaria
Total	Pt	58.5	11.2
Carcinogens	Pt	0.302	0.0959
Resp. organics	Pt	0.00657	0.00125
Resp. inorganics	Pt	33.2	6.34
Climate change	Pt	2.11	0.403
Radiation	Pt	0.0169	0.00323
Ozone layer	Pt	0.000676	0.000129
Ecotoxicity	Pt	0.934	0.178
Acidification/ Eutrophication	Pt	0.875	0.167
Land use	Pt	0.273	0.0522
Minerals	Pt	2.18	0.416
Fossil fuels	Pt	18.4	3.51

	Placas	Escória do BOF (L.D)
	30.7	5.87
	0.13	0.0248
	0.0019	0.000364
	11.7	2.24

FIGURA 10: Resumo do total de impactos ambientais da aciaria: critério de alocação por massa (OLIVEIRA, SAADE, 2010, 86).

Impact category	Unit	Ferro-gusa	Escória de alto-forno
Total	Pt	51.3	0.287
Carcinogens	Pt	0.331	0.00297
Resp. organics	Pt	0.00587	3.28E-5
Resp. inorganics	Pt	37.3	0.208
Climate change	Pt	1.64	0.00917
Radiation	Pt	0.0172	9.6E-5
Ozone layer	Pt	0.000343	1.92E-6
Ecotoxicity	Pt	1.01	0.00563
Acidification/ Eutrophication	Pt	0.933	0.00522
Land use	Pt	0.223	0.00124
Minerals	Pt	2.27	0.0127
Fossil fuels	Pt	7.38	0.0413

	Ferro Gusa líquido	Escória de alto-forno
	24.2	0.135
	0.135	0.000881
	0.00107	5.99E-6
	15.6	0.0874

FIGURA 11: Resumo do total de impactos ambientais do alto-forno: critério de alocação por valor econômico (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 87).

Impact category	Unit	Placas de aço	Escória de aciaria
Total	Pt	69.6	3.3E-5
Carcinogens	Pt	0.398	2.83E-7
Resp. organics	Pt	0.00782	3.71E-9
Resp. inorganics	Pt	39.5	1.87E-5
Climate change	Pt	2.51	1.19E-6
Radiation	Pt	0.0202	9.56E-9
Ozone layer	Pt	0.000805	3.82E-10
Ecotoxicity	Pt	1.11	5.27E-7
Acidification/ Eutrophication	Pt	1.04	4.94E-7
Land use	Pt	0.325	1.54E-7
Minerals	Pt	2.59	1.23E-6
Fossil fuels	Pt	21.9	1.04E-5

	Placas	Escória do BOF (L.D)
	36.5	1.73E-5
	0.154	7.32E-8
	0.00226	1.07E-9
	14	6.62E-6

FIGURA 12: Resumo do total de impactos ambientais da aciaria: critério de alocação por valor econômico (OLIVEIRA; SAADE, 2010, 87).

Estas figuras indicam resultados percentuais semelhantes aos resultados da análise do processo da Empresa A, nos quais, utilizando o critério de alocação por massa, as escórias siderúrgicas adquirem maior relevância ambiental perante o total de impactos do processo. Observa-se, porém, o contrário quando é utilizado o critério com base no valor econômico.

Percebe-se, entretanto, que o total de impactos quando da utilização estrita de dados internacionais é maior, evidenciando a importância da elaboração de inventários locais de matérias-primas para garantir acurácia e representatividade aos resultados de pesquisas brasileiras desta natureza.

4. Considerações finais

A análise por meio da metodologia de análise do ciclo de vida (LCA) permite quantificar e qualificar os benefícios ambientais resultantes da reciclagem dos co-produtos siderúrgicos. Surge, porém, uma dificuldade real quando se consideram as complexas interações existentes entre o ciclo de vida do produto e do co-produto, uma vez que a carga ambiental do processo deve ser ponderadamente dividida. Como instrumento de solução, podem ser utilizados diferentes critérios de alocação de impactos (com base na massa, no valor econômico ou no consumo energético do produto e de seus co-produtos).

O resultado fundamental deste artigo é o entendimento da influência da escolha do critério de alocação de impactos na metodologia de Análise do Ciclo de Vida (LCA), fornecendo informações que fundamentam uma avaliação mais adequada e consciente do processo em questão.

A avaliação dos impactos ambientais indicou que a adoção do critério de alocação por massa implica numa maior contribuição da carga ambiental das escórias siderúrgicas para o total de potenciais impactos ambientais do processo siderúrgico, quando comparado à adoção do critério de alocação por valor econômico.

Partindo dessas diferenças, destaca-se a necessidade de buscar um equilíbrio quanto à alocação dos impactos, de forma a encontrar uma percentagem de distribuição que, ao mesmo tempo, garanta a atratividade econômica, ambiental e social das escórias siderúrgicas (entendida como valor de uso), sem prejudicar o também valor econômico, ambiental e social do aço.

Recomenda-se, para tanto, o desenvolvimento de pesquisas complementares que comparem a bagagem ambiental das escórias siderúrgicas e de suas alternativas como matéria-prima, em um cenário de competitividade mercadológica, avaliando e discutindo a

influência da decisão tomada quanto à alocação de impactos em processos industriais que utilizem as escórias siderúrgicas como matérias-primas (caso das escórias de alto-forno na indústria cimenteira e das escórias de aciaria como agregado siderúrgico na pavimentação rodoviária). Pesquisa desenvolvida por Saade, Silva e Silva (2011, 6) evidenciou a influência do critério de alocação de impactos no potencial de uso da escória de alto-forno na indústria cimenteira, destacando possíveis consequências da escolha do critério de alocação sobre aspectos ambientais e econômicos relevantes; relativos, por exemplo, a pegada de carbono e potenciais variações do valor de mercado.

Da realização da LCA simplificada do processo siderúrgico utilizando somente dados de bases estrangeiras, cujos resultados demonstraram maior potencial de geração de impactos, quando comparados aos resultados do estudo com dados da Empresa A, extraíram-se duas relevantes observações: a importância da elaboração de inventários brasileiros, e a necessidade de formulação de indicadores e metas de desempenho ambiental setoriais para estimular o desenvolvimento sustentável e sustentado da indústria siderúrgica nacional.

Referências

- BAUMANN, H.; TILLMAN, A. **The hitch hiker's guide to LCA: An orientation in life cycle assessment methodology and application.** Londres: Studentlitteratur, 2004. 543 p.
- CURRAN, M. A. **Environmental life cycle assessment.** Nova York: Macgraw - Hill, 1996. 363 p.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2009.** Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/Relatorio_2009.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2010.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14040: Environmental Management – Life cycle principles and Framework.** Switzerland, 1997.
- _____. **ISO 14042: Environmental Management – Life cycle impact assessment,** 2000.
- OLIVEIRA, B. M.; SAADE, M. R. M.. **Contribuição à aplicação da análise do ciclo de vida na indústria siderúrgica: critérios para alocação de impactos.** 2010. 94 f. Projeto (Graduação) - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

REAJUSTES no preço do aço comprometem inflação. Disponível em: <<http://economia.ig.com.br/empresas/reajustes+no+preco+do+aco+comprometem+inflacao/n1237561719877.html>>. Acesso em: 24 maio 2010.

SAADE, M. R. M.; SILVA, M. G.; SILVA, V. G. Application of LCA in the construction sector: considerations on impact allocation in steelmaking processes and its reflection on the cement industry. In: SB11 Helsinki World Sustainable Building Conference. **Anais...** SB11 Helsinki, Helsinki, 2011, p. 1-8. (Em fase de publicação).

SILVA, V. G.; SILVA, M. G. Análise do ciclo de vida aplicada ao setor de construção civil: revisão da abordagem e estado atual. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** ENTAC 2000, Salvador, 2000, p. 51-59.

SUCATA e ferro gusa. Disponível em: <<http://foundrygate.com/br/noticias/ver/181/sucata-e-ferro-gusa>>. Acesso em: 24 maio 2010.

Notas

¹ <http://www.economia.ig.com.br>, capturado em 24/05/2010

² <http://www.foundrygate.com>, capturado em 24/05/2010