



XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

IMPACTO AMBIENTAL NO CICLO DE VIDA DO ALUMÍNIO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.

INVIDIATA, Andrea (1); LIBRELOTTO, Lisiane (2); GUTHS, Saulo (3)

(1) UFSC, e-mail: a.invidiata@gmail.com (2) UFSC, e-mail: lisiane.librelotto@arq.ufsc.br (3) UFSC, e-mail: saulo@lmpt.ufsc.br

RESUMO

O setor da construção civil é, em todo o mundo, o responsável pelo consumo de 50% de recursos naturais e 40% dos insumos energéticos de todas as fontes. Essa afirmação considera o Ciclo de Vida das edificações, o que inclui, além do consumo de energia no período de operação das edificações, também a energia gasta na fabricação dos materiais de construção, na obra propriamente dita e na desconstrução destas. Os materiais de construção respondem por grande parte dos impactos ambientais relacionados ao setor da Construção Civil. Entre eles, o alumínio é um dos materiais mais impactantes, devido aos processos de fabricação e extração. Porém, o alumínio é um material infinitamente reciclável, sem perder suas propriedades. Além disso, o processo de reciclagem consome apenas 5% da energia originalmente utilizada para a produção do alumínio primário. Nesta pesquisa avaliou-se o processo de fabricação e as características do alumínio para analisar o impacto ambiental no uso na construção civil. No estudo de caso escolhido, será avaliado o impacto ambiental no ciclo de vida das esquadrias em alumínio em uma Habitação de Interesse Social (HIS). As janelas em alumínio resultaram ser altamente impactantes na maioria dos fatores de impacto ambiental. Além disso, para a produção das esquadrias o consumo de energia elétrica foi de 2800 kW/h enquanto as emissões de CO₂ de 540 kg.

Palavras-chave: Alumínio, Ciclo de vida dos edifícios, Athena.

ABSTRACT

The building construction industry is responsible for the consumption of 50% of natural resources and 40% of total global energy. This consumption consider the Life Cycle Assessment (LCA) of buildings, which includes all the stages of a product's life of material, the use of building and demolition. Construction materials account for a large part of the environmental impacts in the Construction sector. Among them, aluminum is one of the most impactful materials, due to manufacturing processes and extraction. The aim of this study is evaluate the manufacturing process and characteristics of aluminum to analyze the environmental impact in building construction. In the case study chosen, a social house, will be evaluated the environmental impact of aluminum windows. The aluminum windows resulted the most highly damaging environmental in the impact factors. Furthermore, for the production of aluminum frames the electricity consumption was 2,800 kW/h while the CO₂ emissions was 540 kg.

Keywords: *Aluminium, Life Cycle Assesment, Athena.*

1 INTRODUÇÃO

A construção e o uso dos edifícios consomem grande quantidade de recursos naturais, correspondendo à 16,6% do fornecimento mundial de água potável, 25% de madeira extraída e 40% de combustíveis fósseis e materiais manufaturados durante todo o ciclo de vida (DIXIT, 2010), desde a extração dos materiais até a demolição da edificação. Estes mesmos materiais, quando direcionados ao fluxo de resíduos, contribuem em cerca de 50% de toda a geração de resíduos (KORONEOS, 2007).

Nas últimas décadas a análise do ciclo de vida das edificações vem sendo utilizada cada vez mais como meio de minimizar estes efeitos e para entender o impacto ambiental dos diferentes componentes da construção civil. Porém o processo de avaliação do ciclo de vida é complexo, mas pode ser simplificado através de programas computacionais que avaliam o impacto ambiental dos diferentes materiais que compõem um edifício.

Entre os materiais mais impactantes produzidos, também para utilização em edificações, tem-se o alumínio. O alumínio é um metal industrial relativamente novo, tendo em vista que o início da sua utilização foi a cerca de 150 anos. Atualmente, a produção mundial de alumínio supera os 65 milhões de toneladas por ano. Durante todos os processos de sua fabricação o alumínio consome uma quantidade relevante de energia, além das emissões de gás poluentes (IAI, 2011). Porém, é um material infinitamente reciclável, e que mantém suas propriedades. Além disso, o processo de reciclagem consome apenas 5% da energia originalmente utilizada para a produção do alumínio primário.

O uso de alumínio nas edificações de baixa renda vem se tornando cada vez mais comum, de modo particular nas esquadrias. Nas últimas décadas o Brasil sofreu um forte desenvolvimento econômico e imobiliário, gerando um aumento do poder aquisitivo da população de baixa renda junto à facilidade de crédito, que impulsionou a procura por moradias (BODACH, 2012). Consequentemente, agravou-se o déficit habitacional no país. Visando a resolução desse problema, o programa “Minha Casa, Minha Vida”, que faz parte de um conjunto de iniciativas do Governo Federal intitulado Programa de Aceleração do Crescimento - PAC, tem como meta reduzir este déficit habitacional brasileiro. Na primeira fase do programa foram contratadas mais de um milhão de moradias. Agora, na segunda fase, se pretende construir dois milhões de habitações, sendo que, 60% destas moradias serão voltadas para famílias de baixa renda (PAC 2, 2013). A construção de novas moradias pode gerar um grande impacto ambiental dependendo dos materiais utilizados na construção.

Por estas razões a proposta da pesquisa é avaliar o impacto ambiental do alumínio durante o ciclo de vida, a fim de orientar o projetista à melhor escolha dos materiais na fase projetual. Para realizar esta pesquisa será abordado, como estudo de caso, um edifício unifamiliar de interesse social, onde será avaliado o impacto ambiental das esquadrias em alumínio presentes na edificação.

2 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

O ciclo de vida de uma edificação pode se resumir em seis etapas: extração de matérias primas, fabricação, construção, uso e manutenção, demolição e reciclagem/deposição (TAVARES, 2006).

A norma ISO 14040 (1997) define a Análise do Ciclo de Vida (ACV) como uma investigação abrangente do uso de todos os insumos relativos a um processo de

obtenção de um bem ou serviço e suas consequências em termos de impactos ambientais. A ACV avalia os aspectos e impactos potenciais associados a produtos, processos e serviços mediante a associação dos dados do inventário do ciclo de vida a categorias de impacto específicas, num processo que consiste na Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV). Na AICV são consideradas várias categorias de impacto selecionadas de acordo com o objetivo e escopo definido no estudo. De acordo com CCI (2010), as emissões e recursos são atribuídos as categorias de impacto e convertidos em indicadores utilizando métodos de avaliação de impacto (HAUSCHILD et al, 2008).

A avaliação do ciclo de vida das edificações é uma análise complexa que pode ser simplificada através da utilização de software de ACV. Embora no Brasil os estudos sobre ACV na construção civil estejam em fase inicial, existem tentativas de utilização de softwares estrangeiros, juntamente com bancos de dados nacionais de inventários (ICVs) de materiais da construção civil (SILVA, 2012 e SOARES, 2006). O Instituto Brasileiro de Ciência e Tecnologia (IBICT), vinculado ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), é responsável por implementar e normalizar a ACV. Recentemente foi aprovado por meio do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO), o Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida (PBACV). Este programa tem como objetivo principal a implantação de um sistema reconhecido em âmbito internacional capaz de organizar, armazenar e disseminar informações padronizadas sobre Inventários do Ciclo de Vida (ICV) da produção brasileira e identificar as principais categorias de impactos ambientais para o Brasil. Além disso, o programa busca disseminar informação, incentivar trabalhos em ACV e elaborar inventários de ciclo de vida base da indústria brasileira.

Atualmente, no mundo, existem vários softwares sobre ACV, que atendem aos diversos setores da economia e softwares próprios para materiais e sistemas da construção civil. Como exemplo desses softwares, pode-se citar o: Simapro (holandês), Gabi (alemão), Umberto (alemão) e Athena Ecoclaculator (EU).

A avaliação do ciclo de vida através da ferramenta Athena, leva em conta todas as fases de vida de uma edificação: extração de recursos e processamento, fabricação do produto, construção no local do conjuntos de materiais, transportes, manutenção e substituição, reciclagem dos materiais de construção após a vida útil assumida de 60 anos, e a demolição e transporte de materiais de metal para o aterro sanitário. Todas as ferramentas Athena cumprem com as normas desenvolvidas pela International Organization for Standardization (ISO) 14040 e 14044. A base de dados de impacto ambiental do software usa dados do Inventário do Ciclo de Vida dos EUA. A avaliação dos edifícios residenciais é feita por elementos construtivos: Fundações, Parede externas, Esquadrias e Cobertura. O resultado obtido é o impacto ambiental da edificação por elementos construtivos (ATHENA, 2002). As sete categorias de impacto ambiental são: consumo de matéria prima, aquecimento global, acidificação, saúde humana, eutrofização, redução de ozônio e poluição.

3 ALUMÍNIO

O alumínio vem se tornando um material cada vez mais utilizado na Construção Civil. Todos os anos é produzido mais de 65 milhões de toneladas de alumínio. Nos últimos 20 anos a produção de alumínio cresceu 4% por ano. Destes, 33 % é destinado ao uso na construção civil (ALTECH, 2010).

3.1 História e características do alumínio

O alumínio, apesar de ser o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, é o metal mais jovem usado em escala industrial.

O alumínio só começou a ser produzido comercialmente há cerca de 150 anos. Em 1855 Deville mostra na exposição de Paris o primeiro lingote de um metal muito mais leve que o ferro. Torna-se público o processo de obtenção de alumínio por meio da redução eletrolítica da alumina dissolvida em banho fundido de criolita. Esse procedimento foi desenvolvido separadamente pelo norte-americano Charles Martin Hall e pelo francês Paul Louis Toussaint Héroult, que o descobriram e o patentaram quase simultaneamente. Esse processo ficou conhecido como Hall-Héroult e foi o que permitiu o estabelecimento da indústria global do alumínio. Em 1945 na cidade de Ouro Preto (MG) foi produzido o primeiro lingote de alumínio do Hemisfério Sul, na fábrica da Elquisa. Sua produção atual supera a soma de todos os outros metais não ferrosos. Esses dados já mostram a importância do alumínio para a sociedade moderna.

Hoje, o primeiro produtor mundial de alumínio é a China com 42%. O Brasil, com mais de dois milhões de toneladas, é o sexto produtor mundial (IAI, 2011).

3.2 Ciclo de vida do alumínio

A produção de alumínio é um processo que exige tempo e consome bastante energia. No entanto, uma vez produzido, o alumínio pode ser reciclado infinitamente, sem perder suas propriedades.

O processo de produção do alumínio é constituído por muitas etapas, todavia seu ciclo de vida pode ser resumido da seguinte forma:

- processo de obtenção do alumínio;
- produção do produto/ objeto em alumínio (este artigo enfatiza o produto esquadria), através do processo completo de fabricação;
- uso do objeto, que dependendo da utilização pode chegar a 60 anos;
- reciclagem no fim da vida útil do produto.

O primeiro passo para a produção do alumínio e a extração da matéria prima: a bauxita. Até hoje, a bauxita é o único minério comercial utilizado para a produção do alumínio.

Normalmente, a bauxita é coberta por uma camada de vários metros de rochas e argila, a qual tem que ser removida, para que a bauxita possa ser extraída. A seguir, a bauxita é transportada para a usina, onde é lavada e britada, antes de ser transportada para o refino. Anualmente, as novas terras usadas em todo o mundo para a lavra da bauxita correspondem a um total entre 40 e 50 quilômetros quadrados. O impacto ambiental da extração da bauxita para a produção do alumínio é relativamente pequeno considerando que a taxa global de destruição das florestas tropicais é de 80.000 km² por ano, e que a extração da bauxita representa o 0,01% da perda anual das florestas tropicais (IAI 2011).

O passo seguinte, após a extração, será a obtenção da alumina. O óxido de alumínio, ou alumina, é extraído da bauxita em refinarias e, a seguir, é utilizado para a produção do alumínio primário. A alumina é separada da bauxita por meio de uma solução aquecida de soda cáustica (hidróxido de sódio) e de cal (óxido de cálcio). A mistura é bombeada para o interior de recipientes de alta pressão e aquecida. A soda cáustica dissolve a alumina, que se precipita da solução saturada. A alumina é, então, lavada e aquecida para a remoção da água. O material precipitado é filtrado e lavado, para remover e

recuperar a solução cáustica. Todo o restante é eliminado por filtragem e a alumina é seca até atingir a forma de pó branco.

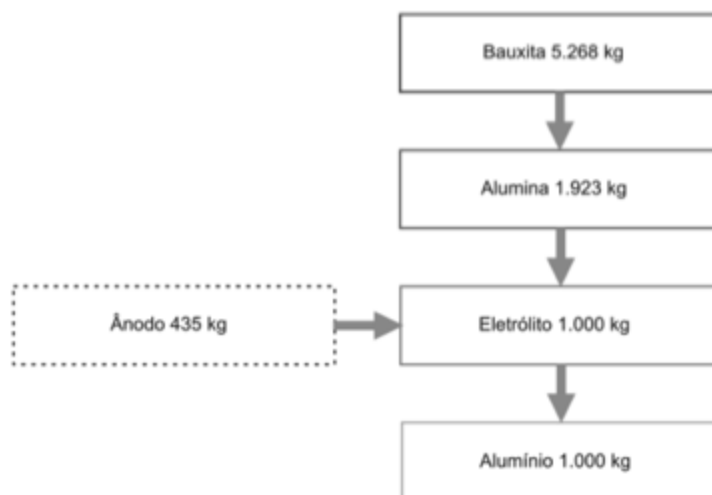
A maior parte das refinarias de alumina está localizada nas proximidades de minas de bauxita, ou próxima de um porto, onde a alumina pode facilmente ser transportada até as fábricas de produção de alumínio. Nesta fase do Processo da fabricação do Alumínio, por 1 tonelada de Alumina é emitida 0,6 tonelada de gás carbono (CO₂). O consumo de água varia entre 2 e 3 metros cúbicos por tonelada de alumina.

A produção do alumínio é um processo que requer muita energia, aproximadamente 14 kW/h de eletricidade são necessários para a produção de 1 Kg de alumínio, o equivalente a energia utilizada por 30 televisores durante uma hora. No Brasil, mais de 6% da energia elétrica gerada é consumida somente por essa indústria. Assim, a energia é um fator decisivo na competição das empresas, representando cerca de 29%. No Brasil, a média é de 35% (CRU, 2009).

Além disso, a indústria do alumínio é responsável por emissões de gases poluentes. A indústria brasileira de alumínio, por meio dos investimentos em auto produção de energia hidrelétrica, somada às ações voluntárias de reduções de emissões de CO₂ colocam os produtos do país entre os mais competitivos em relação à emissões de carbono. Enquanto a média mundial de emissões do processo de produção de alumínio primário é de 7,1 toneladas de CO₂ eq/t de alumínio, no Brasil a média é de apenas 2,7 toneladas de CO₂ eq/t de alumínio.

A Figura 1 mostra o balanço de massa na produção do alumínio primário. Para 5t métricas de bauxita, correspondem a 2t métricas de alumina, que equivale a 1t métrica de alumínio (EAA, 2012).

Figura 1– Balanço de massa na produção de alumínio primário



Fonte: EAA(2012).

Dependendo do uso do produto final, o alumínio pode ter uma vida útil diferente. No caso de produtos em alumínio para a construção civil, esta pode chegar a 60 anos.

O alumínio é um material que pode ser reciclado infinitamente sem perder suas propriedades. Além disso, o processo de reciclagem consome apenas 5% da energia originalmente utilizada para a produção do alumínio primário. Com a energia necessária para produzir alumínio para uma lata nova, pode-se fabricar 20 latas recicladas. A cada ano, cerca de 13 milhões de toneladas de alumínio são usadas na construção civil. Além disso, a reciclagem tem vantagens ecológicas. A produção mundial de alumínio

corresponde a cerca de 2% dos gases de efeito estufa (GEE), entre os quais, CO₂. Em contraste, no processo de reciclagem, por exemplo, há uma emissão de apenas 5% do CO₂ normalmente emitido pelo modo de produção de alumínio primário.

Após a demolição de uma construção, o alumínio, em oposição aos outros materiais de construção, pode ser reciclado de forma sustentável em termos econômicos e ambientais. Um estudo feito em 2008 (ABAL,2009) demonstrou que as taxas de coleta do alumínio de construções na Europa variavam entre 96 e 98%. Muitos produtos de alumínio têm vida longa como, por exemplo, automóveis e construções. Por isso, o alumínio reciclado atende apenas de 20 a 25% da demanda atual de alumínio. A demanda restante é atendida pelo alumínio primário.

4 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa está dividida em: (1) obtenção do ciclo de vida do alumínio e seus impactos, (2) análise da edificação em estudo de caso, (3) avaliação do impacto ambiental da casa e mais especificamente das esquadrias em alumínio.

4.1 Estudo de caso

A edificação avaliada neste estudo de caso é um projeto padrão de habitação popular unifamiliar desenvolvido pela CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. A edificação possui um pavimento e pé-direito de 2,60m. É composta por uma cozinha, um banheiro, uma sala e dois dormitórios, com uma área interna total de 38,16m² (Figura 2).

Figura 2– Planta baixa do edifício estudo de caso



Fonte: Adaptado CAIXA (2014).

A casa apresenta as seguintes características construtivas:

- Fundação: direta tipo baldrame, composta com blocos tipo calha e blocos de concreto, preenchidas com concreto armado;
- Estrutura: A estrutura é composta por baldrame, viga de travamento após a última fiada da alvenaria e laje sobre o banheiro e circulação;
- Alvenaria: paredes externas e internas em blocos de concreto (9x19x39cm);
- Revestimentos: chapisco com argamassa de cimento e areia de espessura de 1,5cm nas paredes internas e reboco tipo paulista com argamassa de cimento de espessura de



2,0cm nas paredes externas e no teto da laje do banheiro. As áreas molhadas receberão azulejo 20x20cm;

- Pisos e Pavimentos: lastro de concreto para contrapiso, na espessura de 6cm; calçada ao redor da edificação calçada de em concreto magro, com espessura de 5cm e largura de 60cm; acabamento piso cerâmico esmaltado linha popular 33x33cm;

- Cobertura: o telhado será executado em telha cerâmica tipo plan. O madeiramento da estrutura deverá ser de parajú ou ipê. A edificação receberá forro de PVC de 1cm branco e,

- Esquadrias: portas em madeira e janelas em alumínio anodizado fosco e vidro de 4mm; sala e quartos receberão janelas de correr em duas folhas; cozinha e banheiro com janelas do tipo maxim-ar. (Tabela 1).

Tabela 1 – Características das aberturas da edificação

Tipo Janela	Caraterísticas	Nº	Localização
	Janela em alumínio de correr duas folhas	3	Sala e quartos
	Janela maxim-ar em alumínio	2	Banheiro e Cozinha

Fonte: Própria (2014).

Foram avaliados 90% dos materiais presentes na edificação, com 19,8 toneladas. O concreto, é o material mais representativo com 92 %. O alumínio, material estudado, representou 1% da quantidade total dos materiais que integram o edifício (cerca de 200 kg).

4.2 Avaliação do impacto ambiental

Após o levantamento das características construtivas e dos materiais da casa, foi avaliado o impacto ambiental durante o ciclo de vida da HIS através do programa Athena Eco Calculator for Residencial Assembles. A avaliação é feita com uma planilha eletrônica em Exel (ATHENA, 2013).

A análise das edificações é feita por elementos construtivos, que no estudo de caso podem ser divididos em 6 elementos: fundações, vigas, laje, paredes externas, esquadrias, paredes internas e cobertura.

Os sete indicadores ambientais utilizados no software para avaliar os diferentes componentes da casa de interesse social considerados foram: consumo de recursos naturais, aquecimento global, saúde humana, eutrofização, redução de ozônio e emissões de gás poluentes.

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos da avaliação da casa de interesse social que serão apresentados, mostram o impacto ambiental dos diferentes componentes da casa durante todo o ciclo de vida da edificação, que é de 60 anos.

O software *Athena EcoCalculator for Residential Assemblies*, avalia os edifícios residenciais por elementos construtivos.

A Tabela 2 apresenta o impacto ambiental dos diferentes componentes construtivos no ciclo de vida da edificação. A avaliação do impacto ambiental é feita através de 7 indicadores. Percebe-se que, as paredes externas em blocos de concreto são os componentes construtivos mais impactantes na maioria das categorias de impacto ambiental avaliadas. É assim nas categorias de consumo de recursos naturais com 45%, no aquecimento global, 45%, na saúde humana, 41%, na redução do Ozônio, 50% e na emissão de gases poluentes com 30%.

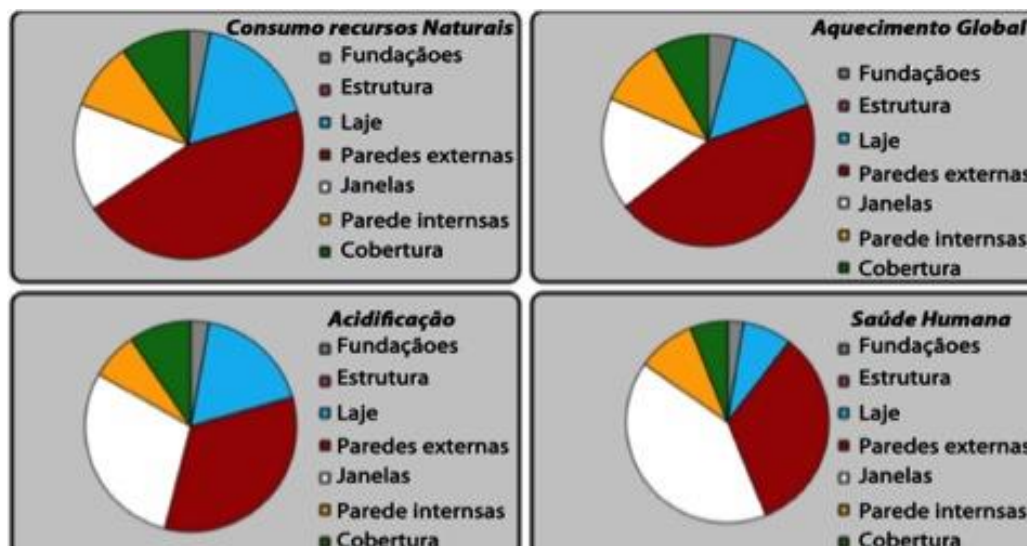
Tabela 2– ACV da edificação nas diferentes categorias de impacto ambiental

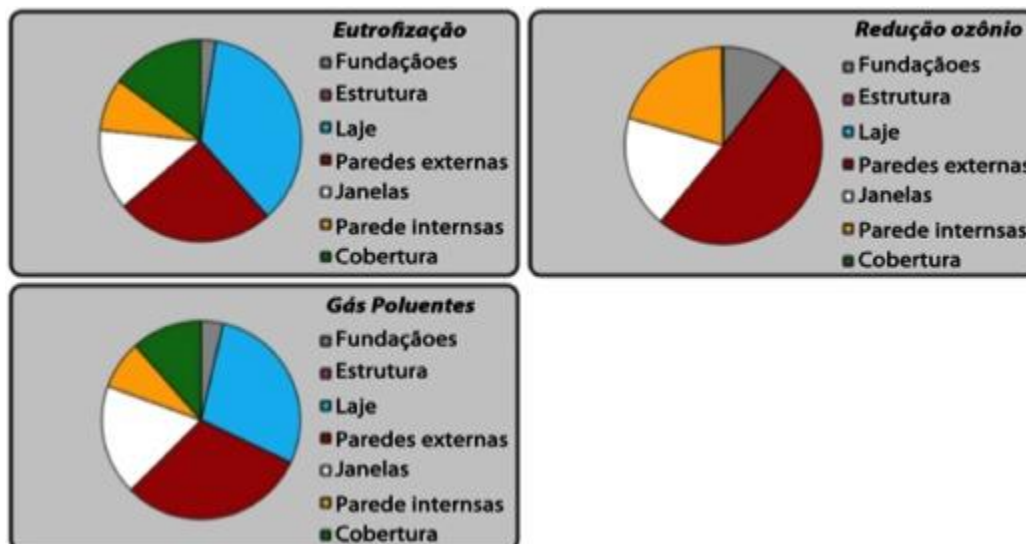
Elemento construtivo	Área [m ²]	Consumo recursos naturais	Aquecimento Global	Acidificação	Saúde humana	Eutrofização	Redução o ozônio	Gás poluentes
Fundações	38	3%	4%	3%	3%	2%	10%	4%
Estrutura	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Laje	38	17%	15%	8%	8%	36%	0%	28%
Paredes ext.	85	45%	45%	33%	33%	25%	50%	30%
Janelas	9	15%	17%	29%	41%	13%	19%	18%
Paredes int.	36	10%	10%	7%	9%	8%	20%	8%
Cobertura	38	10%	8%	10%	6%	15%	0%	12%

Fonte: Adaptado ATHENA(2014).

A Figura 3 também mostra os componentes construtivos onde o material predominante é o concreto (fundações, laje, parede internas e paredes externas), e são eles os mais impactantes na maioria das categorias de impacto de todo o ciclo de vida. Por outro lado, nas categorias de acidificação e saúde humana, as janelas em alumínio resultam ser altamente impactantes com uma porcentagem respectivamente de 29% e 41%, mesmo representando 1% de material no total da edificação (200 kg aproximadamente)

Figura 3– Categorias de impacto ambiental nos diferentes componentes da casa





Fonte: Adaptado ATHENA(2014).

6 CONCLUSÕES

Essa pesquisa teve como principal objetivo a avaliação do impacto ambiental durante o ciclo de vida do material alumínio em uma Habitação de Interesse Social.

Nas últimas décadas, o uso do alumínio nos diferentes setores industriais cresceu rapidamente, também na construção civil. As características físicas e mecânicas do material e a fácil trabalhabilidade permitiram uma rápida expansão no mercado mundial.

Em termos de impacto ambiental, o alumínio demonstrou-se um material altamente impactante para consumo energético e de uso de recursos. Ao todo, considerando os dados obtidos para avaliação do ciclo de vida do alumínio, pode-se dizer que para o edifício estudo de caso consumiu os recursos demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de recursos para o alumínio das janelas da edificação

Recursos	Consumo por kg	Total
Bauxita	5,268 kg	1053,6 kg
Energia	14 kW/h	2800 kW/h
Emissões de CO ₂	2,7 kg	540 kg

Fonte: Própria

Nos últimos anos surgiram várias pesquisas voltadas para a avaliação do ciclo de vida dos materiais, tendo como objetivo a avaliação do impacto ambiental dos diferentes materiais. A maioria das pesquisas são estudos internacionais, assim como os principais softwares de avaliação do ciclo de vida. Tudo isso, complicou a busca de referências e de dados nacionais para a avaliação da casa. Por isso a análise do impacto ambiental com o programa Athena, é baseada em dados internacionais, que certamente diferem dos parâmetros energéticos e de emissões brasileiros.

Mesmo assim os resultados fornecidos pela avaliação da edificação unifamiliar demonstraram como o alumínio, no caso específico utilizado como esquadrias externas

da edificação, resultou ser um material altamente impactante nas diferentes categorias de impacto, apesar de representar apenas 1% entre os materiais da casa.

Este resultado demonstra a importância do reaproveitamento do alumínio, uma vez acabada a vida útil do produto. A reciclagem do alumínio permite não só reduzir o consumo energético na produção do material, mas também reduzir as emissões de gases de efeito estufa, minimizando o impacto ambiental.

Concluindo, nesta pesquisa procurou-se ressaltar a importância da análise do ciclo de vida dos diferentes materiais da construção civil e seus impactos ambientais, já nas primeiras fases de projeto.

REFERÊNCIAS

ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Anuário Estatístico 2009**. São Paulo: 2010. O alumínio: alumínio primário. Disponível em: <http://www.abal.org.br/aluminio/producao_alupri.asp>. Acesso em: 7 dez. 2010. 2009.

ATHENA - **Athena Sustainable Materials Institute**. Disponível em: <http://www.athenasmi.org/>. Acesso em: 9 nov. 2013.

ALCOA. **Annual Report**. Pittsburgh, 2009.

CCI . **ILCD Handbook: analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment, 2010**. Disponível em: <<http://ict.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/ILCD-Handbook-LCIA-Background-analysis-online-12March2010.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2012.

CRU – COMMUNITY RESEARCH UNIT. **The Long Term Outlook for Aluminium**. Londres, 2009.

DIXIT, M. et al. Identification of parameters for embodied energy measurement: a literature review. **Energy and Buildings**, v.42, p.1238-1247, 2010.

EAA, - **Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry**. 2012.

HAUSCHILD, M. et al. Building a Consensus Model for Life Cycle Impact Assessment of Chemicals: the Search for Harmony and Parsimony. **Environmental Science Technology**, v.42, n.19, 2008.

IAI. **Global Aluminium Industry Sustainability Performance**. 2010.

KORONEOS, C., DOMPROS, A. Environmental assessment of brick production in Greece. **Building and Environment**, v. 42, n. 5, p. 2114-2123, 2007.

RAO, A. et al. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, v.50, p. 71–81, 2007.

SILVA, D. A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Departamento de Programa de Pós-graduação.

SOARES, S.; SOUZA, D.; PEREIRA, S. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In: SATTTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay (Org.). **Construção e meio ambiente**. 1. ed. Porto Alegre: **ANTAC**, 2006. p. 96-127.

TAVARES, S. FERNANDO. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.