



ACV como método de tomada de decisão no ecodesign de complemento arquitetônico: caso da prateleira de luz

Andréa Franco Pereira¹

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, andreafranco@ufmg.br

Resumo. O trabalho apresenta estudo sobre a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como método de tomada de decisão para a seleção de materiais no ecodesign de uma prateleira de luz. Prateleiras de luz são dispositivos para a construção civil, instalados em aberturas de janelas, com o objetivo de proporcionar maior aproveitamento da luz natural, refletindo-a para o teto do espaço construído e projetando esta luz a uma profundidade maior no ambiente. O conforto térmico e luminoso-visual tem impacto direto sobre o consumo energético da edificação. A construção civil consome cerca de 50% dos recursos mundiais. No que se refere à energia empregada nas edificações, seu consumo é de 39% do total de energia gasta no mundo. O uso de iluminação natural nas edificações é parte integrante do conceito de “edifícios sustentáveis”. Para o alcance adequado da incidência solar são necessários dispositivos arquitetônicos de controle, tais como as prateleiras de luz. Sendo assim, o produto em estudo gera ganhos em eficiência energética, bem como ganho em conforto para os usuários a partir da redução da incidência direta da radiação solar e da diminuição do ofuscamento no ambiente. O objetivo da ACV foi a comparação entre dois cenários de manufatura da prateleira de luz, em alumínio ou em PVC, visando a tomada de decisão quanto aos processos a serem empregados. O método foi aplicado seguindo diretrizes da ISO 14040 com o auxílio do software GaBi 6. Os limites do sistema foram definidos pelas fases de obtenção da matéria-prima e de produção da prateleira (cradle to gate). A unidade funcional adotada foi estabelecida pela superfície de reflexão de 1,3 m². A avaliação de impacto foi feita pelo método CML 2001 nas categorias de impacto referentes ao aquecimento global e à depleção da camada de ozônio. O escopo do estudo compreende a manufatura da prateleira de luz na cidade de Belo Horizonte - MG, tendo sido o inventário construído a partir de dados secundários. O uso de dados secundários se justifica em razão de sua aplicação em ecodesign como referencial de tomada de decisão. Os resultados obtidos demonstram que a emissão de CO₂ equivalente relativa ao uso de matéria-prima reciclada de alumínio é quase 10 vezes menor do que a de PVC reciclado. Já a emissão advinda do uso de alumínio virgem é aproximadamente 35 vezes menor em relação ao PVC virgem. O emprego do alumínio se apresenta, pois, como melhor alternativa para a fabricação do produto. A contribuição científica do estudo refere-se à adoção da ACV para embasamento das decisões de projeto e dirige-se a pesquisadores das áreas de design de produto, arquitetura e construção civil.

Palavras-chave. Ecodesign, ACV, Materiais, Conforto ambiental, Eficiência energética.

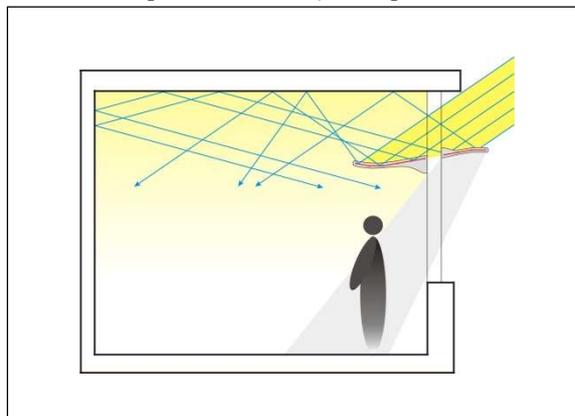
Introdução

A análise apresentada neste trabalho diz respeito à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de uma “prateleira de luz” (*light shelf*) arquitetônica (Figura 1). Trata-se de um dispositivo para a construção civil, instalado em aberturas de janelas, com o objetivo de proporcionar maior aproveitamento da luz natural, refletindo-a para o teto do espaço construído e, conseqüentemente, projetando esta luz natural a uma profundidade maior no ambiente (Figura 2).

Figura 1: Prateleira de luz arquitetônica oblíqua para iluminação natural (depósito de Desenho Industrial junto ao INPI)



Figura 2: Esquema da reflexão da luz natural no ambiente a partir da instalação da prateleira de luz.



O produto busca reduzir o consumo de luz elétrica, aumentando a eficiência energética das edificações. Seu uso em aberturas de janelas, de edifícios comerciais e residenciais, objetiva o controle de iluminação e difusão da luz natural no espaço, atendendo aos parâmetros de economia de energia das diversas certificações ambientais da construção civil, incluindo o Procel Edifica.

Desde 2009, entrou em vigor no Brasil o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) para a avaliação do edifício, classificando seu desempenho e de seus sistemas (envoltória, iluminação e ar condicionado) de nível “A”, mais eficiente, a “E”, menos eficiente, vinculado à etiquetagem do Procel Edifica (BRASIL, 2010).

A construção, bem como o uso de edifícios, requer enormes quantidades de energia, de água e de materiais, produzindo grande quantidade de resíduos. Onde e como os edifícios são construídos afetam o ecossistema de diversas maneiras.

A consideração dos aspectos ambientais no projeto arquitetônico, e dos impactos causados, baseia-se no crescente entendimento de que sua prática tradicional de desenvolvimento não é sustentável. Costuma-se dizer que um décimo da economia global é destinado às edificações, em suas fases de construção e uso, bem como no equipamento do ambiente construído. A construção civil consome aproximadamente 50% dos recursos mundiais, dentre estes, em torno de 45% da energia para sua construção e uso, 40% da água, 60% da terra cultivável, 70% da madeira (EDWARDS, 2004).

No que se refere especificamente à energia empregada nas edificações, seu consumo é de aproximadamente 39% do total de energia gasta no mundo. Edifícios comerciais consomem cerca de 18% e residenciais 21%. Nesse sentido, a instalação de equipamentos eficientes pode reduzir de 10 a 15% o consumo de energia no edifício (SCHNEIDER-ELECTRIC, 2008).

O conforto térmico e luminoso-visual tem impacto direto sobre o consumo energético da edificação. Entretanto, é possível promover a satisfação do usuário nesses aspectos a partir do conceito de “arquitetura bioclimática”, na qual a qualidade ambiental e a eficiência energética são obtidas por meio do aproveitamento racional dos recursos da natureza, de modo a contribuir com o equilíbrio do ecossistema no qual está inserida (LOURA e ASSIS, 2005).

Até o início do século passado, a luz natural era a mais importante fonte de luz para o uso diurno em fábricas, escritórios, prédios domésticos e públicos. No entanto, a disponibilidade de energia artificial a baixo custo levou à execução de projetos de edificações primariamente dependentes da energia elétrica (FONTOYMONT, 1999). A principal tarefa do projeto de iluminação natural é determinar exatamente o caminho da fonte de luz até os pontos a serem iluminados no interior do espaço edificado, e decidir sobre as soluções técnicas para atingir os objetivos de maneira suficiente e eficiente (SOUZA, 2005).



Para o alcance adequado da incidência solar são necessários dispositivos arquitetônicos de controle. Esses dispositivos dizem respeito a componentes tais como *brise-soleil*, venezianas e prateleiras de luz. Estudos mostram que as prateleiras de luz são comprovadamente eficientes para ampliar a profundidade de iluminação natural no ambiente (MAJOROS, 1998; SANTOS e SOUZA, 2012).

Desenhada de forma oblíqua para otimizar o aproveitamento de iluminação natural na edificação, a prateleira de luz, objeto deste estudo, apresenta ângulo de inclinação de 10° que favorece a reflexão da luz em distâncias maiores na sala em relação às janelas. O produto apresenta quatro módulos de dimensões diferentes para melhor adaptação às orientações de fachada.

Sabe-se que prateleiras de luz inclinadas atingem maior profundidade de reflexão da luz natural (MAJOROS, 1998), devido à lei de reflexão da luz, na qual o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Além disto, estudos mostram que a incidência da luz solar em orientações de fachada norte, sul, leste e oeste são diferentes, apresentando ângulos de inclinação distintos, o que, conseqüentemente, requer dimensões de prateleiras de luz diferentes de acordo com cálculos de iluminação (SANTOS e SOUZA, 2012).

A prateleira de luz ora analisada (Figura 1) é composta por duas peças laterais de forma sinuosa, semelhantes a uma mão-francesa para fixação à parede. Nestas peças, são fixados vergalhões redondos longitudinais nos quais se encaixam faixas de chapa lisa, que acompanham esta linha longitudinal. Uma dessas faixas longitudinais é perpendicular ao chão, as demais são oblíquas em inclinação de 10°.

A fabricação desta prateleira de luz prevê o emprego de alumínio reciclado fundido nas peças laterais, bem como vergalhões redondos e chapas em alumínio disponíveis no mercado para os demais componentes. Alternativamente, o conjunto poderá ser produzido em policloreto de polivinila (PVC) em sua totalidade, ou combinando peças laterais em alumínio reciclado fundido, bastões e chapas em PVC extrudados.

Sendo assim, o estudo ora apresentado busca a aplicação da ACV como método de tomada de decisão para a seleção de materiais no ecodesign da prateleira de luz, com vistas a embasar o argumento de redução de impacto, notadamente na categoria de aquecimento global, não somente pela redução de energia na fase uso, descrita acima, bem como pela escolha dos processos empregados nas fases de obtenção da matéria-prima e de produção.

Acredita-se que este estudo possa trazer contribuição científica para o avanço de pesquisas nas áreas de design de produto, arquitetura e construção civil, demonstrando a adoção da ACV para embasamento das decisões em nível de projeto, mesmo adotando dados de fontes secundárias – visto que o produto ainda não se encontra em linha de produção. Embora sendo necessária interpretação criteriosa e consciente, levando-se em consideração a omissão dos dados primários.

Observa-se que, apesar da ACV, a maioria dos métodos utilizados em ecodesign considera somente aspectos qualitativos ao longo do ciclo de vida do produto (por exemplo MET Matrix ou Roda Estratégia de Ecodesign - BREZET e VAN HEMEL, 1997). Iniciativas que forneçam referências ambientais quantitativas podem ajudar os designers de produto em suas tarefas (SOUSA e WALLACE, 2006; CHANG et al., 2014).

A avaliação quantitativa apresentada pelos resultados da ACV é importante para uma análise mais completa quanto aos impactos ambientais provocados pelo sistema do produto, em estágio de projeto, e pode contribuir para a tomada de decisão quanto à melhor alternativa a ser adotada em sua manufatura.

Materiais e Métodos

O método de Avaliação do Ciclo de Vida adotado neste estudo segue as diretrizes da Norma ISO 14040 (ABNT, 2001), tendo sido processado com o auxílio do software GaBi 6.

O objetivo da ACV foi a comparação entre dois cenários de manufatura da prateleira de luz, visando a tomada de decisão quanto ao material a ser empregado para sua futura produção. O estudo foi realizado em fase de projeto do produto e busca a compreensão dos impactos causados em ambos cenários, com vistas à adoção da melhor alternativa para a qualidade ambiental do produto.

Os limites do sistema compreendem *cradle to gate* e dizem respeito à fase de obtenção da matéria-prima e à fase de manufatura da prateleira de luz.



Entende-se como função do produto a reflexão de luz natural em abertura de janelas correspondentes ao comprimento de 1500 mm. A unidade funcional sendo, pois, estabelecida pela superfície de reflexão de 1,3 m², definida pelas dimensões de 865 x 1500 mm do módulo considerado padrão no projeto (dentre as demais dimensões para diferentes fachadas de edifícios citadas acima).

Parte-se da hipótese de que o emprego de uma parcela da matéria-prima oriunda de reciclagem gere menos impacto e que o uso do PVC possa ser uma alternativa de substituição do alumínio, levando-se em consideração seu peso final para o conjunto montado.

Para tanto, a avaliação de impacto foi feita pelo método do *Center of Environmental Science of Leiden University*, CML 2001, tendo sido realizada para as categorias de impacto referentes ao aquecimento global, medido em Kg CO₂-eq. e à depleção da camada de ozônio, medida em Kg R11-eq.

Optou-se pela avaliação do impacto na categoria de aquecimento global como referência, tendo em vista a importância do aumento das temperaturas do planeta e sua atual repercussão, não somente para Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) da ONU, bem como para organizações de defesa ambiental, tais como o Greenpeace¹¹.

Avaliação também foi feita em relação à categoria de impacto referente à depleção da camada de ozônio em razão da inversão de valores apresentada somente nesta categoria, dentre diversas outras.

O escopo do estudo compreende a manufatura da prateleira de luz na cidade de Belo Horizonte - MG. Sendo a matéria-prima proveniente de Poços de Caldas-MG (vergalhão e chapa de alumínio), de Pindamonhangaba-SP (lingote de alumínio reciclado), de Camaçari-BA (bastão e chapa de PVC) e de municípios do interior de São Paulo (granulado de PVC reciclado). As distâncias foram computadas nas entradas de transporte.

Os dados foram obtidos de fonte secundária em bases de dados disponibilizadas pelo software GaBi 6. Tomou-se como parâmetro o uso de processos realizados a partir de dados médios da Europa, com exceção (por ausência de base de dados) dos processos relativos à fundição do alumínio e injeção de plásticos, em que foram usados dados da Alemanha, dos transportes, em que foram usados dados globais de caminhões, e do diesel, em que foram usados dados do Brasil. Não foi considerada a energia para montagem do produto. Igualmente, não foram feitos ajustes quanto à matriz energética e aos processos de fabricação nacionais, tendo em vista que o produto ainda não se encontra em linha de produção, não sendo tais ajustes necessários para fins deste estudo, que busca a tomada de decisão em nível de projeto. Posteriormente, após manufatura, outro estudo de ACV deverá ser realizado, a fim de que sejam confirmados os resultados da etapa de design.

O uso de dados secundários se justifica em razão de sua aplicação em ecodesign, visto que servirá como referencial de tomada de decisão quanto à escolha do material. Além disto, o produto não estando em linha de produção dificulta a obtenção de dados primários.

Resultados e discussão

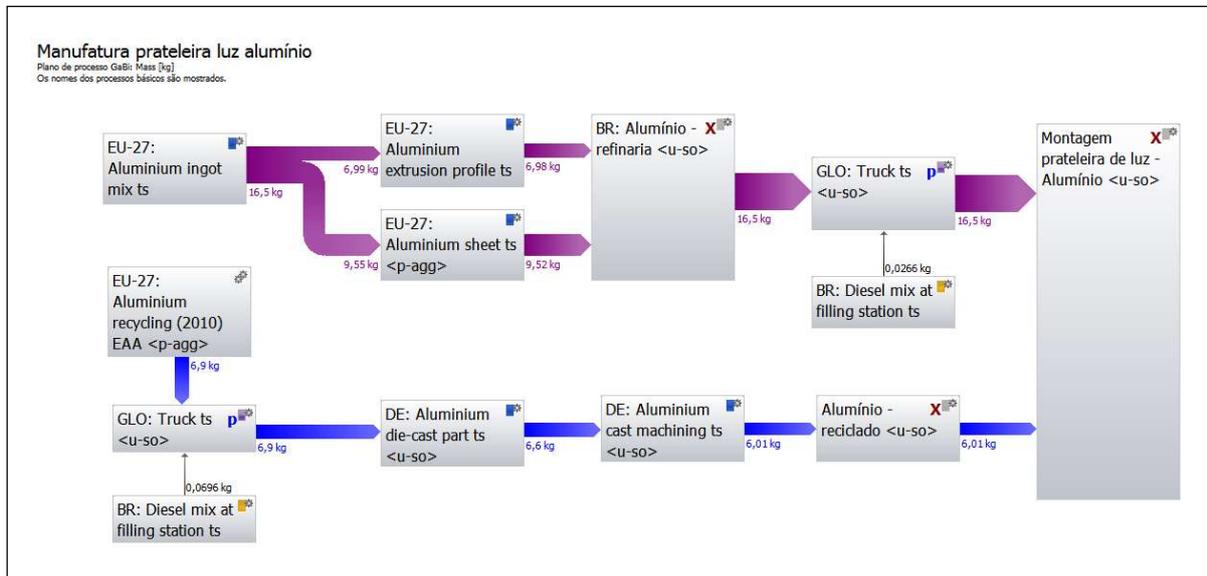
A Figura 3 mostra o modelo do inventário de ciclo de vida para prateleira de luz produzida em alumínio. Neste sistema foram definidas duas entradas: a) alumínio derivado de refinaria e b) alumínio derivado de reciclagem.

Vergalhões e chapas de alumínio são encontradas no mercado a partir de processos de transformação de alumínio primário obtidos pela mineração da bauxita e refinaria para obtenção da alumina. Neste estudo, adotou-se o fornecimento de refinaria situada em Poços de Caldas-MG à distância de 451 Km de Belo Horizonte-MG. As peças laterais da prateleira serão produzidas a partir de processo de fundição, empregando-se lingote de alumínio reciclado, obtido em Pindamonhangaba-SP à distância de 513 Km de BH.

Os dados quantitativos foram definidos da seguinte maneira: 6 peças de vergalhão de 19 mm = 6,976 kg, 5 peças de chapa de 1,5 mm = 9,518 kg e 2 peças laterais em alumínio reciclado fundido = 6,005 kg.

¹¹ - "Um planeta mais quente desequilibra o ultrasensível sistema climático da Terra. Como consequência, o gelo dos polos derrete e eleva o nível médio dos oceanos, ameaçando populações costeiras; tempestades se tornam mais frequentes, intensas e perigosas, assim como ondas de frio ou calor extremos; biomas como a Amazônia são ameaçados pela alteração no sistema de chuvas. Populações já vulneráveis ficam com a corda no pescoço, sofrendo impactos na produção de alimentos, fornecimento de água e moradia" (GREENPEACE, 2016).

Figura 3: Modelo do inventário de ciclo de vida para prateleira de luz produzida em alumínio.

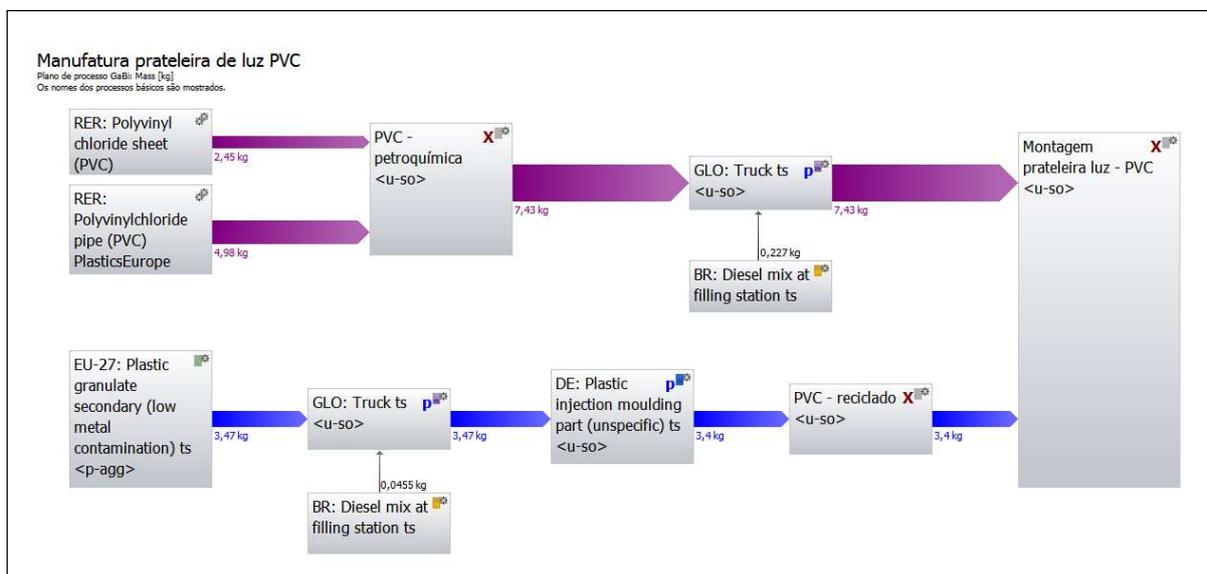


A Figura 4 mostra o modelo do inventário de ciclo de vida para prateleira de luz produzida em PVC. Neste sistema foram definidas duas entradas: a) PVC derivado de petroquímica e b) PVC derivado de reciclagem.

Bastões e chapas de PVC são encontradas no mercado a partir de processos de transformação oriundos de petroquímicas. Neste estudo, adotou-se o fornecimento de petroquímica situada em Camaçari-BA à distância de 1400 km de Belo Horizonte-MG. As peças laterais da prateleira serão produzidas a partir de processo de injeção, empregando-se granulado de PVC reciclado, obtido em municípios do interior de São Paulo à distância média 600 Km de BH.

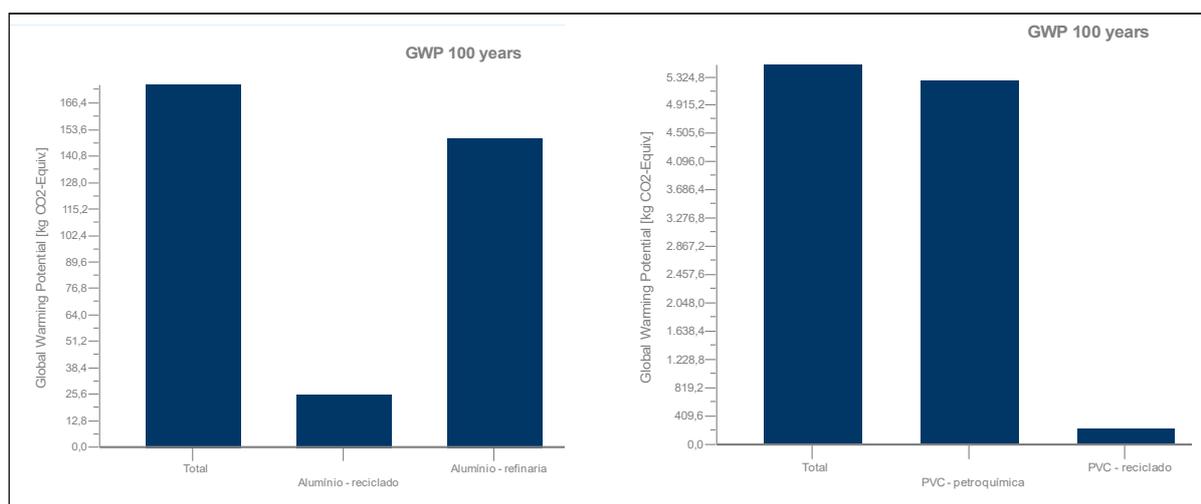
Os dados quantitativos foram definidos da seguinte maneira: 5 peças de chapa de 1,5 mm = 2,447 kg, 6 peças de bastão de 20 mm 4,983 kg e 2 peças laterais em PVC reciclado injetado = 3,401 kg.

Figura 4: Modelo do inventário de ciclo de vida para prateleira de luz produzida em PVC.



A Figura 5 mostra a avaliação de impacto feita pelo método CML 2001 para a categoria de aquecimento global, levando-se em conta os dois sistemas, ou seja, a prateleira em alumínio e em PVC.

Figura 5: Avaliação de impacto (CML 2001) em Kg CO₂-eq. para prateleiras em alumínio e PVC.

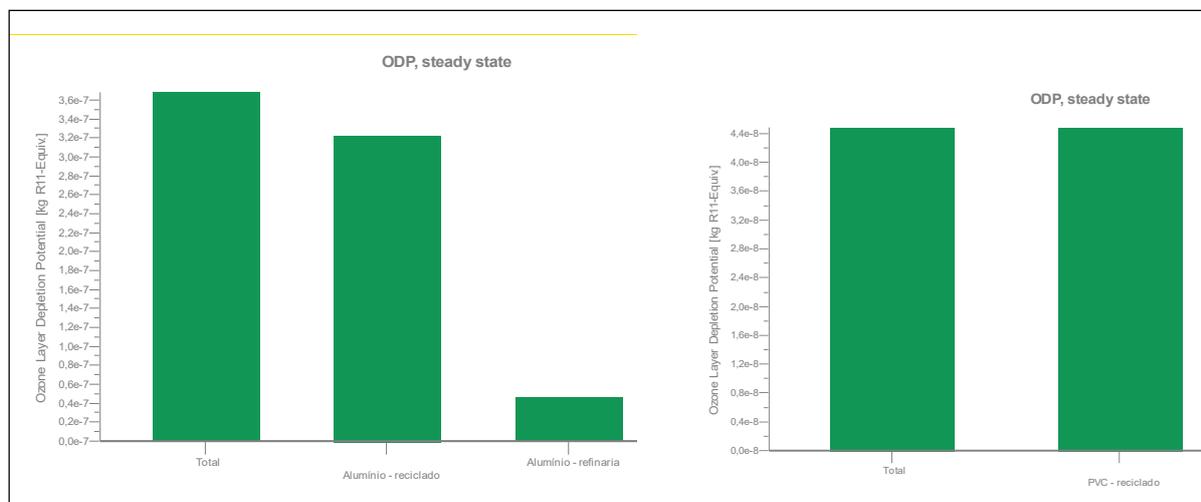


Observa-se que o alumínio reciclado emitiu 25,8 Kg CO₂-eq., sendo 24,2 Kg em emissões inorgânicas e 1,62 Kg em compostos orgânicos voláteis (COVs), enquanto que o alumínio oriundo de refinaria emitiu 152 Kg CO₂-eq., sendo 137 Kg em emissões inorgânicas e 15,4 Kg em COVs.

Quanto ao PVC reciclado houve emissão de 240 Kg CO₂-eq., sendo 233 Kg em emissões inorgânicas e 6,56 Kg em COVs, contra 5270 Kg CO₂-eq. emitidos pelo PVC oriundo de petroquímica, sendo 4140 Kg em emissões inorgânicas e 1130 em COVs.

Avaliação também foi feita em relação à categoria de impacto referente à depleção da camada de ozônio em razão da inversão de valores apresentada, ou seja, somente nesta categoria (dentre diversas outras) os materiais advindos de processos de reciclagem mostram maior impacto (Figura 6).

Figura 6: Avaliação de impacto (CML 2001) em Kg R11-eq. para prateleiras em alumínio e PVC.



Observa-se que o alumínio reciclado emitiu 3,22e-007 Kg R11-eq. relativos a emissões de COVs, enquanto que o alumínio oriundo de refinaria emitiu 0,463e-007 Kg R11-eq. em COVs.



Quanto ao PVC reciclado houve emissão de $0,448e-007$ Kg R11-eq. em COVs, contra zero emissão de R11-eq. do PVC oriundo de petroquímica.

Conclusão

A ACV demonstrou que o emprego de materiais reciclados representa ganho considerável em relação ao emprego de matéria-prima virgem, no que se refere à análise de impacto na categoria de aquecimento global.

No sistema analisado, o emprego de matéria-prima virgem de alumínio provoca a emissão de 152 Kg CO₂-eq., enquanto que o emprego de matéria-prima virgem de PVC gera emissão de 5270 Kg CO₂-eq. Em contrapartida, o uso de material reciclado chega a ser seis vezes menor para o alumínio, em relação ao material virgem, visto que sua emissão foi de 25,8 Kg CO₂-eq., e 22 vezes menor para o PVC, que teve emissão de 240 Kg CO₂-eq.

Na comparação entre os dois sistemas, a emissão relativa ao uso de matéria-prima reciclada de alumínio é quase 10 vezes menor do que a de PVC. Já a emissão advinda do uso de alumínio virgem é aproximadamente 35 vezes menor em relação ao PVC virgem.

Entretanto, no que se refere à análise de impacto na categoria de depleção da camada de ozônio, os processos de reciclagem demonstram-se mais impactantes, tanto para o alumínio quanto para o PVC. Houve emissão de $3,22e-007$ Kg R11-eq. no emprego de alumínio reciclado, valor este sete vezes maior em relação ao uso de alumínio virgem, $0,463e-007$ Kg R11-eq. Quanto ao PVC reciclado houve emissão de $0,448e-007$ Kg R11-eq. em COVs, contra zero emissão de R11-eq. do PVC virgem. Contudo, essas emissões são milhões de vezes menores em relação às emissões referentes à categoria de aquecimento global, o que torna esta última mais relevante para as conclusões e tomada de decisão.

Os resultados do estudo confirmam a hipótese levantada de que o emprego de parte da matéria-prima oriunda de reciclagem gere menor impacto. Por outro lado, e do ponto de vista dos aspectos ambientais, os resultados do estudo refutam a hipótese levantada de uso do PVC como alternativa de substituição ao alumínio.

Conclui-se, pois, que o emprego do alumínio se apresenta como melhor alternativa para a fabricação da prateleira de luz estudada.

Agradecimentos

Agradecimentos ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelos recursos concedidos, que permitiram a realização desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001). NBR/ISO 14040 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro.
- BRASIL (2010). Ministério de Minas e Energia. Eletrobrás. Procel Edifica. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (Ano-Base 2005): classe comercial alta tensão: relatório
- Brasil. Disponível em: <<http://www.eletobras.com/>>.
- BREZET, H. e VAN HEMEL, C. (1997). EcoDesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption, Paris: United Nations Environment Programme.
- CHANG, D., LEE, C.K.M. e CHEN, C-H. (2014). Review of life cycle assessment towards sustainable product development. Journal of Cleaner Production, Vol. 83 (15), pp. 48-60, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.050>
- EDWARDS, B. (2004). Guia básica de la sostenibilidad. Barcelona, Ed. Gustavo Gilli.
- FONTOYMONT, M. (1999). Daylight performance of buildings. ENTPE, European Commission Directorate General XII for Science, James & James, Lyons.
- GREENPEACE (2016). Energias renováveis contra o aquecimento global. Disponível em: http://www.greenpeace.org/brasil/pt/O-que-fazemos/Clima-e-Energia/?gclid=CN_Tm_zO2s0CFYFahgodKhaEDQ (Acessado: 4 de julho de 2016).



V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

19 a 22 de Setembro 2016 - Fortaleza, CE

LOURA, R. M.; ASSIS, E. S. (2005). Variáveis e critérios para a avaliação de desempenho termo-energético: estudo de caso. In: Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2005, Belo Horizonte. Anais do CBEE 2005. Belo Horizonte: Jota, Fábio G. e Jota, Patrícia R. S. (ed.), ABEE, v. 1. p. 161-166.

MAJOROS, A. (1998). Daylighting. PLEA Notes, Note 4. PLEA in Association with Department of Architecture, the University of Queensland. Edited by S.V.Szokolay.

SANTOS, I. G. e SOUZA, R. V. G. (2012). Proteções solares no Regulamento brasileiro de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 227-241, jan./mar.

SCHNEIDER-ELECTRIC (2008). Tackling energy challenges through Energy Efficiency Solutions. Schneider-Electric, July.

SOUSA, I. e WALLACE, D. (2006). Product classification to support approximate life-cycle assessment of design concepts. Technological Forecasting and Social Change, Vol. 73 (3), pp. 228-24.

SOUZA, R. V. G. (2005). Iluminação Natural, uma fonte renovável para Eficiência Energética: uma revisão. In: Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2005, Belo Horizonte. Anais do CBEE 2005. Belo Horizonte: Jota, Fábio G. e Jota, Patrícia R. S. (ed.), ABEE, 2005. v. 1. p. 146-150.