

Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de vedação vertical *Quarter log*.

Thalles Costa dos Reis

Laboratório de Planejamento e Projetos da Universidade Federal do Espírito Santo – LPP/Ufes, Brasil.
thallescosta_r@hotmail.com

Cristina Engel de Alvarez

Laboratório de Planejamento e Projetos da Universidade Federal do Espírito Santo – LPP/Ufes, Brasil.
cristina.engel@ufes.br

Emanuella Sossai Altoé

Laboratório de Planejamento e Projetos da Universidade Federal do Espírito Santo – LPP/Ufes, Brasil.
manualtoe@hotmail.com

ABSTRACT: The study presents an evaluation of the Life-cycle Analysis (LCA) of external wall system *Quarter log*. The objective was to simulate and evaluate qualitative and quantitative through the software SimaPro, a Life-cycle Analysis (LCA) of the external wall system of a house at Espírito Santo, Brazil. As main result, it was found that *Quarter log* system – Eucalyptus wood – presents itself like a system that corresponds to environmental principles of sustainability. In your LCA, the flow with higher environmental significance is associated with difficulty to manage the construction waste in this zone and the impact generated in the manufacture of materials that make the system. In this sense, not only recommended the use of the system studied, but also a possible improvement of the same through changes in materials that have a higher environmental impact diagnosed.

Keywords: LCA, sustainability, SimaPro, external wall system, wood.

RESUMO: O presente estudo apresenta uma avaliação da Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de vedação vertical em madeira *Quarter log*. O objetivo da pesquisa é simular e avaliar de modo qualitativo e quantitativo através da ferramenta SimaPro, a ACV do sistema de vedação de uma edificação unifamiliar, na região do Espírito Santo, Brasil. Como principal resultado, constatou-se que, o sistema *Quarter log* – em madeira de eucalipto –, apresenta-se como uma opção construtiva coerente aos princípios ambientais do conceito de sustentabilidade, onde em sua ACV, o fluxo de maior significância ambiental é associado à dificuldade em gerenciar os resíduos da construção na região e pelo impacto gerado na fabricação de materiais que o compõem. Nesse sentido, conclui-se que o uso do sistema de vedação pode ser recomendado, sendo que, uma possível melhora pode ser obtida através de alterações nos materiais diagnosticados como ambientalmente impactantes.

Palavras-chave: ACV, sustentabilidade, SimaPro, vedação, madeira.

1 INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

Marques Neto (2005), afirma que o setor da construção civil é tecnologicamente atrasado decorrente principalmente da variabilidade dos processos construtivos, da falta de qualificação profissional, pouca utilização de novas tecnologias e alto grau de desperdício de materiais. O setor é ainda responsável por fundamental participação econômica no produto interno bruto (PIB) de diversos países. Neste contexto, há a preocupação dos profissionais responsáveis em promover melhorias nos processos construtivos e também na metodologia projetual.

A fim de avaliar os impactos ambientais gerados pelo setor da construção civil, a Análise do Ciclo

de Vida (ACV) apresenta-se como metodologia internacionalmente reconhecida que permite estabelecer de maneira estruturada e holística, um resultado para visualização e quantificação dos possíveis impactos resultantes de todos os estágios do ciclo de vida do produto, processo ou sistema, sendo ferramenta auxiliadora para melhoria de processos construtivos de caráter mais sustentável.

Para essa pesquisa, buscou-se utilizar o ACV como metodologia de análise, considerando como objeto de estudo um sistema inovador de vedação vertical em madeira que, já avaliado sob os aspectos físico-mecânicos (Altoé 2015) e, teoricamente, com melhores resultados em termos ambientais quando comparado ao método tradicional de construção para vedações verticais em toras. O sistema de vedação vertical estudado foi denominado como *Quarter log*, composto por toras de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) na forma roliça, que busca a facilidade de execução, uso de matéria prima local e mínima necessidade de mão de obra especializada (Altoé 2015), visando atender como população alvo, a parcela rural residente no Estado do Espírito Santo, Brasil.

2 OBJETIVO

O objetivo foi aplicar a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de acordo com a ISO 14040 em um sistema de vedação vertical em madeira *Quarter log* e analisar os principais impactos ambientais resultantes. Os resultados obtidos visaram, prioritariamente, obter informações para que, se necessário, possam ser propostas alterações no método de construção de edifícios rurais no Espírito Santo, Brasil, de modo a possibilitar menores impactos ambientais.

3 METODOLOGIA

Segundo a norma ISO 14040, a metodologia do ACV respeita quatro fases: 1. definição de objetivo e escopo do estudo; 2. realização de um inventário dos consumos (matéria e energia) e as emissões de cada etapa do ciclo de vida; 3. avaliação dos impactos que estes consumos e emissões podem provocar no meio ambiente; e por fim, 4. interpretação dos resultados.

Considerando a interpretação do ciclo de vida do “berço ao túmulo” (Silva 2005), as fases de avaliação incluem a fabricação deste produto ou de materiais que compõem um sistema; a produção de suas matérias-primas; a sua utilização e manutenção; e a gestão de resíduos, uma vez terminado sua vida útil.

3.1 Unidade funcional

A função do sistema de vedação é a proteção dos ambientes contra a ação de agentes externos indesejáveis (correntes de ar, águas da chuva, raios visuais, som, calor ou frio, animais, ação do fogo, etc.) e como suporte de instalações prediais e de equipamentos diversos, atendendo aos padrões de habitabilidade e de segurança de seus usuários e à normalização pertinente (Silva e Nascimento 2007).

A unidade funcional é a unidade que será encaminhada para todas as entradas e saídas do sistema. Para uma análise entre dois sistemas, a unidade funcional deve servir de parâmetro, de maneira a possibilitar um comparativo honesto e igualitário entre os diferentes materiais ou sistemas que atendam a uma mesma função, neste caso, a de vedação. Assim, a unidade funcional usada foi a “quantidade de material (kg) usado para atender a área de 1m² de vedação da edificação”.

3.2 Sistema

O sistema *Quarter log* é um sistema de vedação vertical desenvolvido a partir da configuração básica de toras de madeira divididas longitudinalmente em quatro partes iguais, após a retirada

das costaneiras, empilhadas e costuradas por uma barra rosqueada, como apresentado nas figuras 1 e 2 (Altoé, 2014).

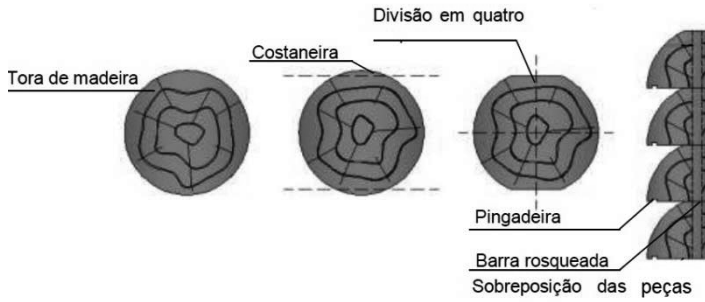


Figura 1. Detalhe de execução e montagem do sistema *Quarter log*. Fonte: adaptado de Altoé (2014)



Figura 2. Teste inicial de montagem do sistema. Imagem: Emanuella Sossai Altoé

O sistema estudado é representado pelo diagrama de processos. São considerados os subsistemas de fabricação e processamento de matérias-primas, montagem e instalação dos sistemas e processamento e gestão de resíduos.

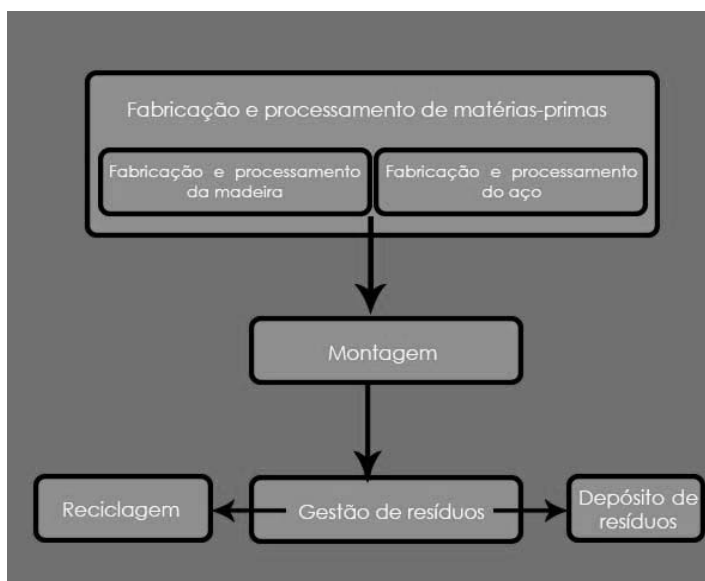


Figura 3. Diagrama de processo do sistema *Quarter log*.

No sistema *Quarter log*, a fabricação e processamento de matérias-primas se dividem em fabricação e processamento da madeira (*Eucalyptus grandis*) e fabricação e processamento do aço (usado na fixação das toras em madeira).

A montagem e instalação inclui o transporte de matérias-primas de seu local de origem, a montagem, a distribuição dos elementos auxiliares à instalação dos painéis *Quarter log*, e por fim, a instalação do próprio painel.

Na gestão de resíduos, foi considerado que com o fim do uso do painel, as peças serão desmontadas e separados seus materiais, direcionando-os a um depósito ou a um processo de reciclagem, quando possível. Foram excluídos da análise do processo os resíduos de produtos não significativos, como por exemplo, materiais de vedação usados como reparo ao longo do uso do painel. Tampouco foi considerado o subsistema de uso e manutenção, ou possíveis materiais necessários para a manutenção, visto que tais valores não poderiam ser estimados de uma forma confiável.

3.3 O inventário do Ciclo de Vida

Para análise do inventário foi feita uma avaliação dos materiais e da energia do sistema. O inventário foi executado a partir dos subsistemas já descritos na figura 3. Nas etapas de obtenção de energia, de transporte, e de gestão de resíduos foram considerados:

- A energia térmica utilizada e as emissões associadas, que incluem desde a extração do combustível até a origem final de sua combustão;
- As emissões de energia elétrica utilizada dependem do seu perfil de geração, que no caso do Brasil tem 75% de sua origem a partir de recursos hídricos e 25% de fontes térmicas (ANEEL 2008);
- Por considerar como limite espacial o Estado do Espírito Santo e por abranger um projeto de uma residência unifamiliar, foi considerado para o transporte (urbano e interurbano) o uso de caminhão de 16 toneladas para distâncias inferiores a 60km. As emissões produzidas pelo transporte dependem diretamente da quantidade de material (em toneladas) e da distância percorrida (em km);
- Para a gestão de resíduos assumiu-se o tratamento através de reciclagem para alguns materiais, não computando as cargas ou emissões vinculadas ao processo de reciclagem, visto que, nesse caso, seria parte de outro sistema de análise. Para outros materiais, foi avaliado o descarte em depósitos, não considerando o cálculo de materiais inertes ou emissões vinculadas ao processo de decomposição ou pós-vida.

3.3.1 Subsistema 1: Fabricação e processamento dos materiais

Para os dados de consumo e emissão de cada material utilizado no sistema *Quarter log*, foi utilizada a base de dados contida no *software* Simapro. Sendo adotado para o sistema *Quarter log*, a base de dados existente para madeira de eucalipto. Gonçalves (2009) cita que o eucalipto apresenta a densidade com valores entre 0,20 e 1,20g/cm³, adotando como densidade média do Eucalipto 0,70g/cm³, calculou-se a massa (em quilos) do material usado na unidade funcional (quilos de material usado em uma área de 1m² de vedação). Para o aço, utilizou-se densidade média fornecida pelo fabricante, de 7,5g/cm³ (Tabela 1).

Tabela 1. Materiais que compõem o *Quarter log*

Materiais	Massa (kg)	Especificação
Madeira	48.02	<i>Eucalyptus grandis</i>
Aço	1.08	Barra rosqueada e porcas

3.3.2 Subsistema 2: Montagem e instalação

Foram calculadas as cargas ambientais vinculadas ao transporte de cada material, admitindo que as peças de madeira e perfis de fixação são oriundas de um mesmo estabelecimento, que

dista aproximadamente 20km, tomando como local de construção a cidade de Jaguaré (Altoé, 2015), localizado no interior norte do Estado do Espírito Santo, Brasil (Tabela 2).

Tabela 2. Distância percorrida para montagem do *Quarter log*

Materiais	Distância(km)	Especificação
Madeira	20	<i>Eucalyptus grandis</i>
Aço	20	Barra rosqueada e porcas

3.3.3 Subsistema 3: Gestão de resíduos

A desinstalação consiste em remover os sistemas e seus materiais após o fim de sua vida útil. A seleção é feita a partir de separação dos materiais que compõem o sistema. Considerando o potencial de reuso e reciclagem de cada material, foi escolhida a destinação final adequada, ou seja, uma central de tratamento de resíduos com certificação ISO 9001, distante 230Km da cidade de Jaguaré (Tabela 3).

Tabela 3. Destinação final de resíduos

Materiais	Peso (Kg)	Distância (Km)	Destinação
Madeira	48.02	230	Central de tratamento de resíduos
Aço	01.08	230	Central de tratamento de resíduos

4 RESULTADOS

Utilizando a ferramenta SimaPro como instrumento de análise, bem como o método de avaliação de impactos *Eco-indicator 99 (H)*, desenvolvido pela *Pré Consultants BV* da Holanda; e, adotando a base de dados Ecoinvent, disponível no *software* SimaPro, foram escolhidas as categorias de impacto a serem analisadas, e simulados os sistemas apresentados.

As categorias de impacto ambientais analisadas foram definidas a partir da seleção do *Eco-indicator 99 (H)*, sendo avaliadas as classes de impactos com efeitos sobre a categoria de danos relacionados à utilização de *recursos naturais* (minerais e combustíveis fósseis), *qualidade dos ecossistemas* (acidificação/eutrofização, ecotoxicidade e uso do solo) e *saúde humana* (liberação de compostos orgânicos e inorgânicos respiráveis, substâncias carcinogênicas, mudança climática, depleção da camada de ozônio, radiação).

4.1 Resultados do sistema *Quarter log*

A partir da caracterização dos efeitos ambientais e avaliação de danos (Figuras 4 e 5), da normalização e valoração dos impactos ambientais (Figuras 5 e 6), agregação dos impactos ambientais em um índice ambiental do sistema (Figura 7), valoração dos impactos ambientais (Figuras 8 e 9) e expressão por índice ambiental dos efeitos da produção (Figuras 10 e 11), nota-se que o processo de produção do aço usado como método de fixação das peças corresponde ao fluxo de maior impacto ambiental do sistema, como pode ser observado na Figura 12. Os principais impactos constatados foram sobre as categorias de *saúde humana*, a partir de liberação de substâncias inorgânicas respiráveis; e *utilização de recursos naturais* com o consumo de minerais e combustíveis fósseis, tendo efeitos sobre a ecotoxicidade e depleção da camada de ozônio (Figura 6).

Ainda que resultem em contribuições menores, há de se considerar também as cargas ambientais vinculadas ao transporte de matéria para a destinação de gestão de resíduos.

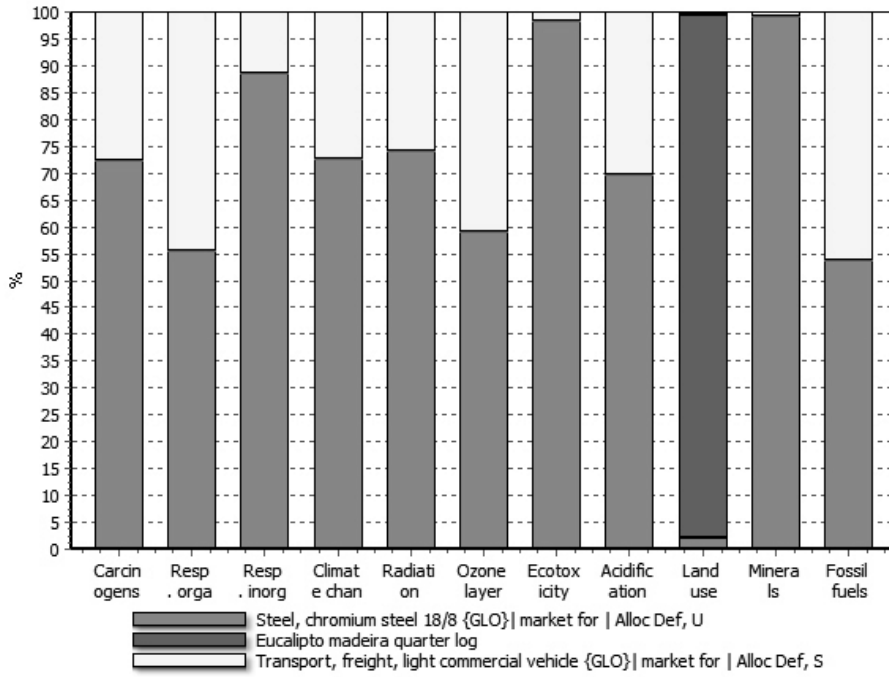


Figura 4. Caracterização dos impactos ambientais intrínsecos ao ciclo de produção do sistema.

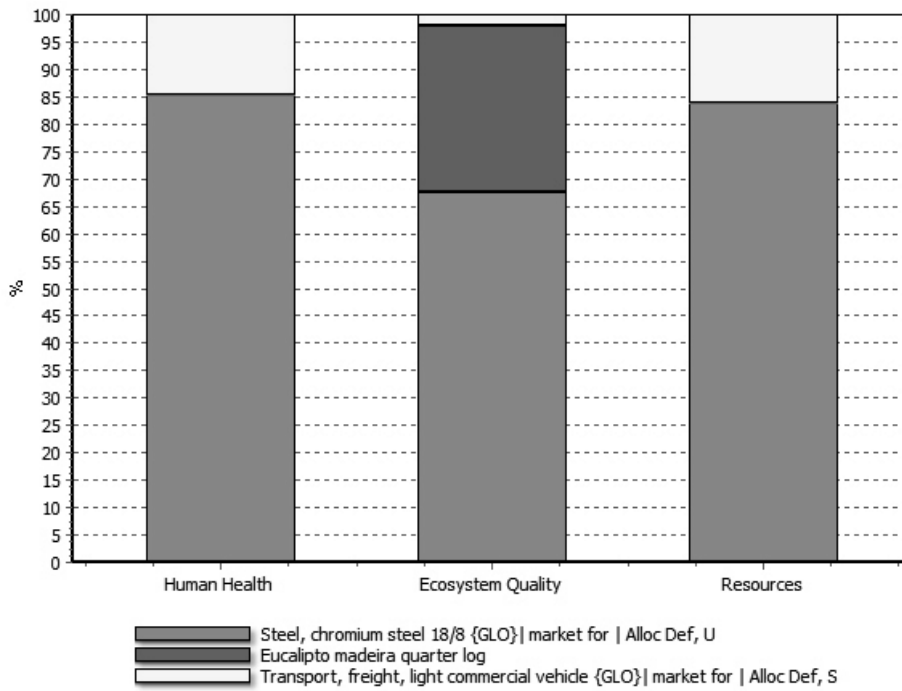


Figura 5. Danos ambientais associados ao ciclo de produção. As substâncias caracterizadas são agrupadas em classes de impactos antes de serem agregadas em categorias de danos.

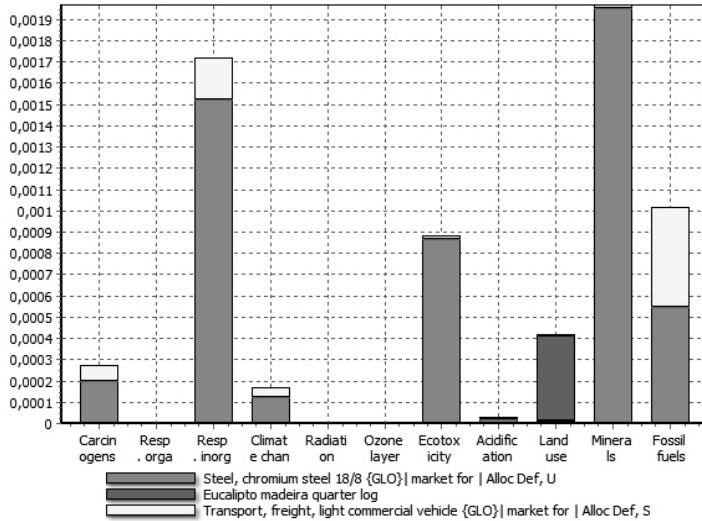


Figura 6. Normalização dos impactos ambientais do ciclo de produção do sistema com base nos efeitos provocados por um cidadão médio europeu em um ano, considerando inexistirem dados referenciais para o Brasil.

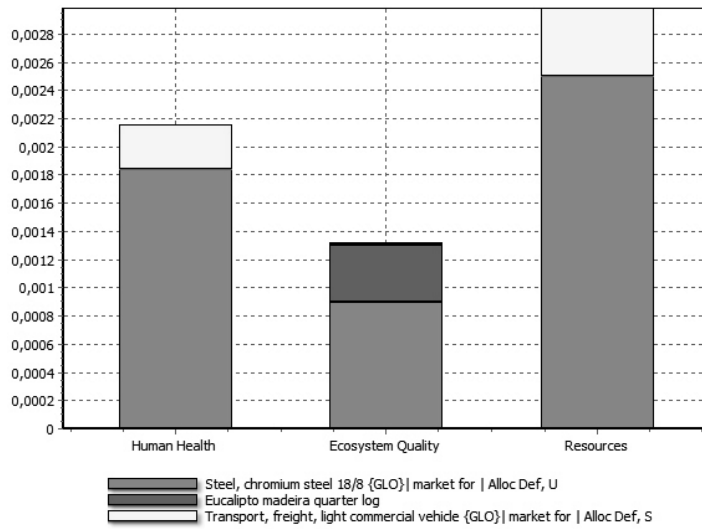


Figura 7. No gráfico acima, os efeitos associados a cada classe de impacto foram multiplicados pelos respectivos fatores de referência e agregados em categorias de danos.

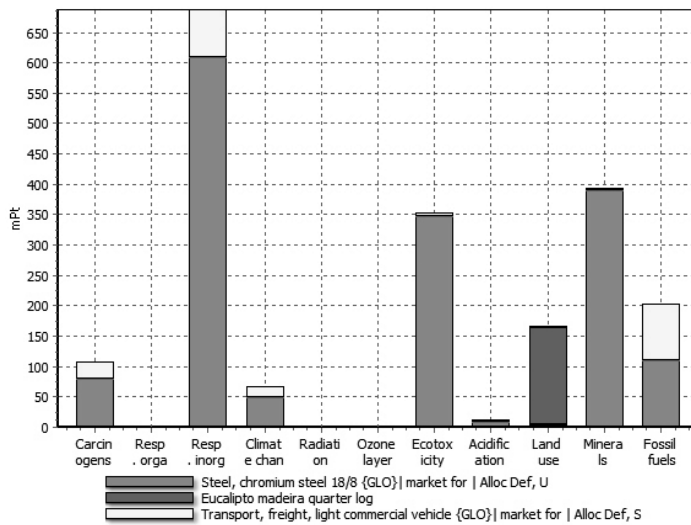


Figura 8. Valoração dos impactos ambientais causados pelo ciclo de produção.

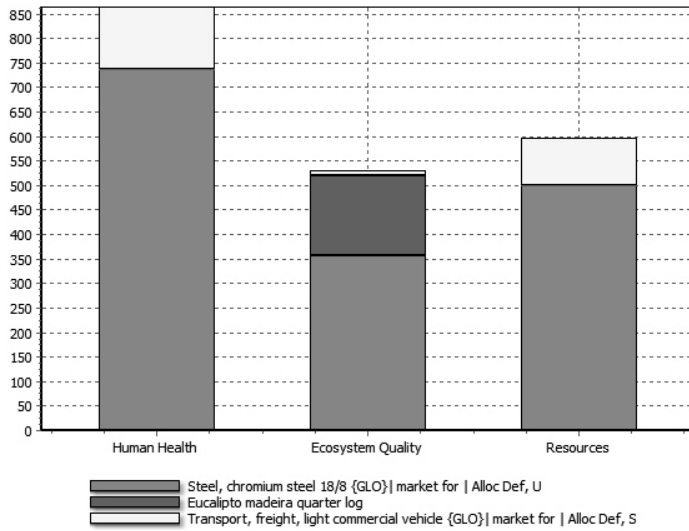


Figura 9. Valoração dos impactos ambientais causados pelo ciclo de produção em categorias de danos.

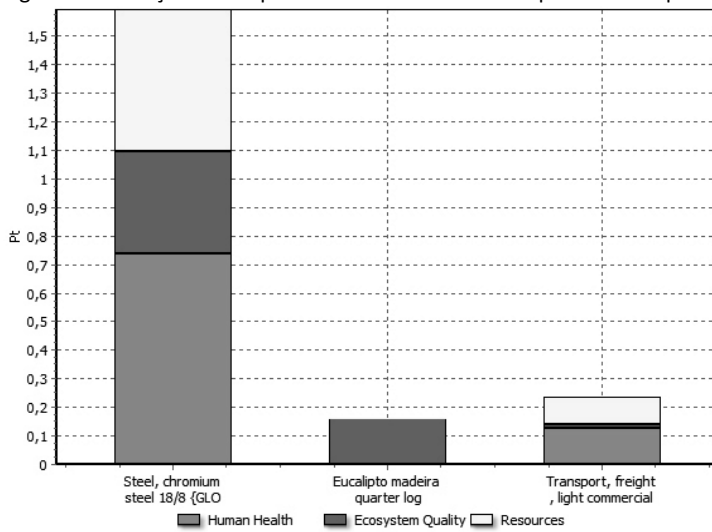


Figura 10. Índice ambiental relativo ao sistema de produção do sistema expresso por classe de impactos.

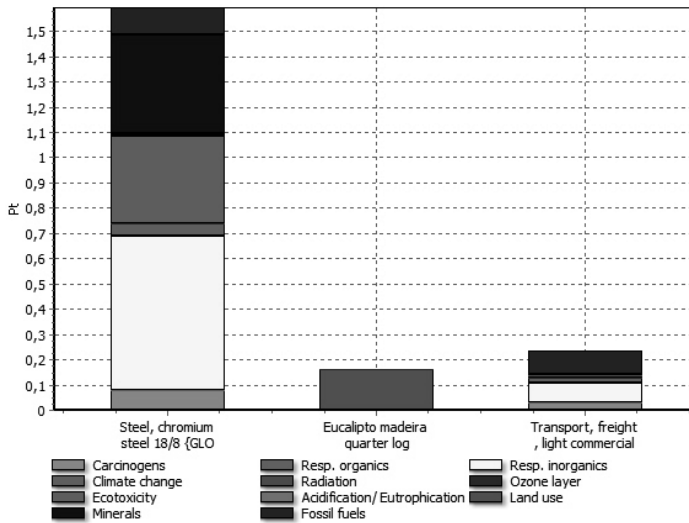


Figura 11. Índice ambiental relativo ao sistema de produção do sistema expresso por categorias de danos.

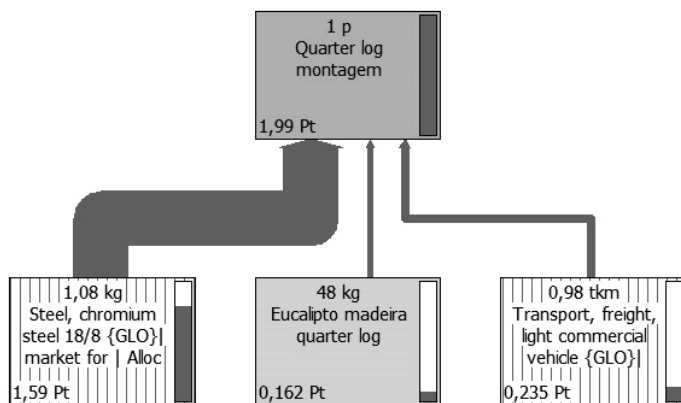


Figura 12: Árvore de processo relativa ao ciclo de fabricação do sistema *Quarter log* evidenciando que o processo de extração e fabricação do aço utilizado representa o fluxo de maior significância ambiental do sistema.

Para avaliar o perfil ambiental do sistema *Quarter log*, foram apresentados resultados agregados em categorias de danos sobre a *saúde humana* (substâncias carcinogênicas, compostos orgânicos respiráveis, compostos inorgânicos respiráveis, mudança climática e radiação); *qualidade dos ecossistemas* (depleção da camada de ozônio, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização e uso do solo); e *recursos* (minerais e combustíveis fósseis), como observado na Tabela 4.

Tabela 4. Agregação das classes de impactos ambientais em categorias de danos.

Categorias de danos	Unidade	Total	Aço	Madeira de eucalipto	Transporte
Total	Pt	1,99	1,59	0,162	0,235
Saúde Humana	Pt	0,864	0,737	0,000135	0,128
Qualidade do ecossistema	Pt	0,53	0,358	0,162	0,0103
Recursos	Pt	0,597	0,499	0,0005	0,0975

A metodologia *Eco-indicator 99* está fundamentada no princípio dos *ecopoints* (*Swiss Ecopoints Weighting System*), logo, os indicadores resultantes são expressos em pontos. Analisando a Figura 10, nota-se que no total de 1.99 pt, 0.864 pt resulta no impacto incidente sobre a *saúde humana*, sendo que deste valor, 0.737 está associado à participação do ciclo de vida do aço, seguido por 0.128 do transporte e apenas 0.000135 da madeira de eucalipto.

Ainda quanto aos *recursos naturais*, o aço aparece como material mais impactante, diferenciando-se significativamente da madeira de eucalipto.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se com este estudo que o subsistema de fabricação de matéria-prima, apresenta-se como a categoria mais impactante das estudadas e, portanto, deve-se buscar uma melhoria em seu método de desenvolvimento, especialmente para o aço, que apresentou os maiores índices de impacto ambiental, sendo o material de maior relevância para o impacto da *saúde humana*, *recursos* e *qualidade do ecossistema* durante seu processo de fabricação, ainda que a quantidade do material utilizado no produto seja mínima.

A madeira apresentou-se como material de baixo impacto ambiental se considerado seu potencial de reuso e reciclagem. Assim, pode-se afirmar que o sistema *Quarter log*, além de eficaz como sistema de vedação, economicamente viável para a região estudada e representar um avanço no uso da madeira como material na construção civil (Altoé 2015), é ainda um sistema ambientalmente adequado.

Propõe-se, portanto, para a otimização do sistema e estratégia para minimizar os impactos gerados pelo mesmo, a substituição do aço por material de desempenho próximo e que contenha menores impactos ambientais incidentes em seu processo de fabricação ou que contenha material reciclado em sua composição. Ainda, a distância da localidade da edificação para o centro de gestão de resíduos contribuiu significativamente para que o transporte apareça como categoria de dano de impacto a se considerar. Trata-se de uma melhoria nas políticas públicas a criação de centros de gestão de resíduos melhor distribuídos no interior do Estado, em conjunto com ações de educação ambiental, seja na comunidade em geral, seja nas pequenas marcenarias da região.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada pela CAPES – Coordenação de Pessoal de Aperfeiçoamento de Nível Superior.

REFERENCIAS

Altoé, E.S. 2015. *Sistema construtivo para habitação rural no Brasil: vedação vertical Quarter log em Eucalyptus grandis*. Universidad del Bío Bío: Santiago: Chile.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2008. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. Brasília: Brasil.

Gonçalves, F. G. *et al.* 2009. Densidade básica e variação dimensional de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore* 33(2): 277-288.

Neto, J. C. M. 2005. *Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil*. São Carlos: São Paulo: RiMa.

Silva, M. M. A. & Nascimento, D. M. 2007. *Paredes de vedação: integração entre projeto e canteiro*. In: Anais do IV Colóquio de Pesquisas em Habitação: Coordenação Modular e Mutabilidade. Belo Horizonte: MOM / EAUFMG.

Silva, J. G. 2005. *Análise do Ciclo de Vida de Tijolos Prensados de Escória de Alto-Forno*. Vitória: PPGEC / UFES.

Rodrigues, C. R. B.; Zoldan, M. A.; Leite, M. L. G. & Oliveira, I. L. 2008. Sistemas computacionais de apoio a ferramenta análise de ciclo de vida do produto (ACV). In XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.

Ferreira, J. V. R. 2004. *Análise de ciclo de vida dos produtos*. Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu: Portugal.