

## Avaliação do Ciclo de Vida na indústria cerâmica de revestimento

Lucas Leonardo dos Santos Andreoli Vieira (UTFPR) [vieiral@alunos.utfpr.edu.br](mailto:vieiral@alunos.utfpr.edu.br)

Kílvia de Freitas Alves (UTFPR) [kilvia@alunos.utfpr.edu.br](mailto:kilvia@alunos.utfpr.edu.br)

Marina de Medeiros Machado (UNISUL) [marina.machado@hotmail.com](mailto:marina.machado@hotmail.com)

Cássia Maria Lie Ugaya (UTFPR, Bolsista Produtividade CNPq) [cassiaugaya@utfpr.edu.br](mailto:cassiaugaya@utfpr.edu.br)

### Resumo:

A fabricação de cerâmica de revestimento consome recursos naturais e provoca significativos e diversos impactos no meio ambiente, tais como depleção de recursos e poluição do ar, água e solo. O presente estudo apresenta uma ACV simplificada para identificar os indicadores que mais contribuem para o impacto no meio ambiente para 1m<sup>2</sup> de cerâmica de revestimento em dois diferentes cenários: com tratamento de resíduos e com aproveitamento de resíduos como coproduto. A avaliação mostrou que o esmalte representa o indicador mais impactante dentro do processo produtivo, devido à obtenção e tratamento de metais pesados, cujos resíduos são os principais poluentes decorrentes do processo. As categorias responsáveis por maior parcela do impacto (93%) são: ecotoxicidade marinha (39%), ecotoxicidade de água doce (30%), toxicidade humana (9%), depleção de metais (6%), eutrofização de água doce (5%) e depleção fóssil (4%). O aproveitamento de resíduos levou a uma redução significativa nos impactos ambientais associados à produção de cerâmica, constituindo uma sugestão econômica e ambientalmente viável.

**Palavras chave:** Indicador Ambiental, ReCiPe, Impacto Ambiental.

## Life Cycle Assessment in the ceramic coating industry

### Abstract

The ceramic coating manufacturing process consumes natural resources and causes significant and diverse environmental impacts, such as resources depletion and air, water and soil. The present study presents a screening LCA to identify most contributing indicators to the environmental impact for 1m<sup>2</sup> of ceramic coating in two different scenarios: with waste treatment and with waste exploitation as a co-product. The evaluation showed that the glaze represents the highest impacting indicator within the productive process, due to the obtaining and treatment of heavy metals, whose residues are the main pollutants resulting from the process. The categories responsible for the largest impact amount (93%) are: marine ecotoxicity (39%), freshwater ecotoxicity (30%), human toxicity (9%), metal depletion (6%), freshwater eutrophication (5%) and fossil depletion (4%). The waste exploitation led to a significant reduction in the environmental impacts associated with the ceramics production, representing an economical and environmentally feasible suggestion.

**Key-words:** Environmental Indicators, ReCiPe, Environmental Impact.

### 1. Introdução

Na indústria brasileira, o setor da construção civil caracteriza-se como um dos mais relevantes para a economia do país, devido ao uso significativo de diversos materiais nas construções residencial, comercial e industrial (LASSIO et al., 2016), sendo que desses materiais de grande importância para o mercado é a cerâmica de revestimento.

Conforme aponta a Anfacer (2014), o mercado internacional de revestimentos cerâmicos continuou sofrendo com a crise que abalou a economia em 2008, porém a consistência que o setor da construção civil provocou no mercado americano gerou um cenário otimista na economia mundial, principalmente para os grandes e pequenos fabricantes de cerâmica.

A indústria cerâmica brasileira representa participação estimada superior a 1% do PIB, desempenhando assim um importante papel na economia do país. Essa evolução no país ocorreu devido à abundância de matérias primas naturais, fontes de energia e disponibilidade de tecnologias embutidas nos equipamentos. As regiões Sudeste e Sul se destacam nesse contexto, em razão da maior densidade demográfica, infraestrutura e distribuição de renda, associadas à disponibilidade de matéria prima, energia, centros de pesquisa, universidades e escolas técnicas (ABC, 2014).

A fabricação de cerâmica de revestimento, desde a extração e processamento de matérias-primas até a formação e transporte, inevitavelmente, consome recursos naturais e provocam significativos e diversos impactos no meio ambiente (GIACOMINI, 2010; TIKUL e SRICHANDR, 2010; LASSIO et al., 2016), tais como a poluição do ar, água e solo, poluição sonora e desmatamento, provenientes do processo produtivo (PENG et al., 2012).

A busca por melhorias de desempenho ambiental nos processos de produção de peças cerâmicas, que proporcionam o uso eficiente de recursos naturais, minimizando perdas de processos, estimula a melhoria contínua e a busca por um mercado competitivo no âmbito nacional e internacional (BARBIERI, 2011).

De acordo com Vince et al. (2008), uma das técnicas que as empresas podem utilizar na busca da melhoria contínua de seus processos, visando à quantificação, gerenciamento e, posterior redução de impactos é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Esta técnica avalia e quantifica os impactos potenciais associados ao ciclo de vida de um produto, processo ou serviço (GUINÉE et al., 2011). A ACV pode ser usada por empresas como uma ferramenta de suporte à tomada de decisão ambiental, para providenciar respostas diretas, cientificamente embasadas e utilizar indicadores ambientais relevantes (UDO DE HAES et al.; 2002). De acordo com Löfgren, Tillman e Rinde (2011), a ACV é tida como a técnica mais importante na gestão ambiental na atualidade.

Diversas pesquisas são reportadas na literatura em relação à condução da metodologia de ACV para avaliar os potenciais impactos em processos produtivos industriais no intuito de comparar diferentes cenários, sendo alguns deles da indústria cerâmica (NICOLETTI et al. (2002); IBÁÑEZ-FORÉS et al. 2011; PINI et al. 2014; LASSIO et al. 2016.; ALMEIDA et al. 2016).

Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo conduzir uma ACV simplificada na indústria cerâmica para identificar os indicadores que produzem maior impacto no meio ambiente em dois diferentes cenários.

## **2. Materiais e métodos**

A metodologia aplicada neste trabalho consiste na avaliação do desempenho ambiental com base na ACV, estabelecida nas normas NBR ISO 14040 e 14044. O local de estudo corresponde a uma indústria de revestimento cerâmico, a qual contempla o processo de fabricação de peças cerâmicas de revestimento por via úmida.

### **2.1. Objetivo e escopo**

A unidade funcional (UF) do presente estudo foi definida como a produção de 1m<sup>2</sup> de peças cerâmicas para revestimento, através do processo de via úmida. O sistema de produto é caracterizado como do berço ao portão, ou seja, desde a obtenção das matérias-primas até o fim

do processo do produtivo, sem considerar transporte, uso e descarte do produto final. Portanto, os processos elementares abrangem: obtenção de matéria-prima, preparação de massa, preparação do esmalte, a prensagem e secagem, a esmaltação, a queima e, por fim, a escolha, conforme Figura 1.

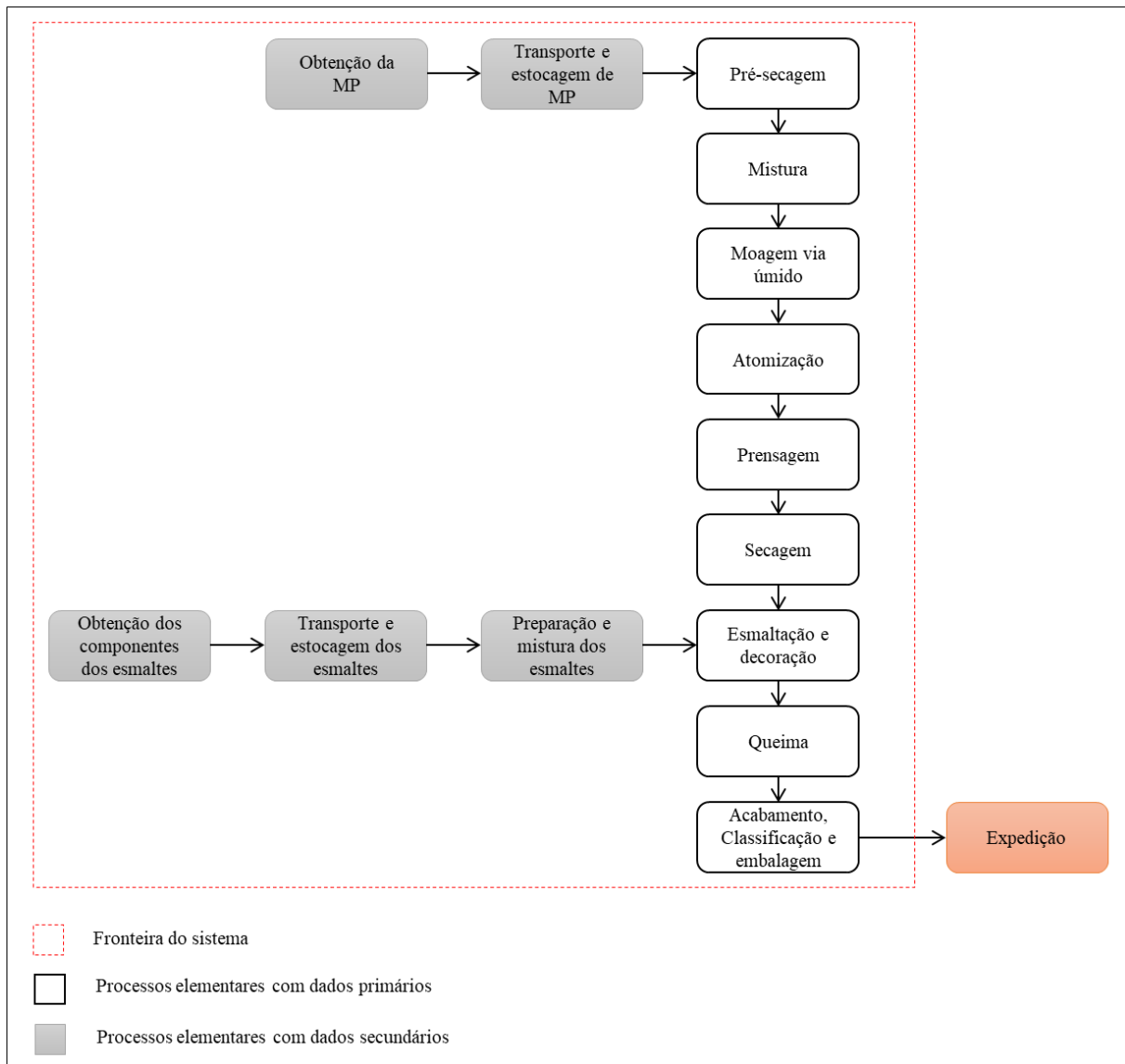


Figura 1 – Processos elementares do sistema de produto

**a) Preparação de Massa:** No processo industrial, as matérias-primas utilizadas, provenientes de jazidas próprias ou de terceiros, são estocadas no interior da fábrica. A dosagem de cada matéria-prima é feita segundo uma formulação percentual fornecida pelo laboratório, com base nos resultados obtidos em testes. A matéria-prima, posteriormente é, então, transportada por correias até os moinhos. Após a moagem, tem-se como produto a barbotina, que é estocada em tanques apropriados. Depois ela é bombeada até o atomizador, que retira a água em excesso e confere ao pó atomizado umidade e granulometria (distribuição de tamanho dos grãos que facilita a compactação) uniformes, ideais para o processo de prensagem.

**b) Prensagem e Secagem:** O pó atomizado é alimentado em cavidades da prensa e submetido a uma pressão específica, tendo sua forma definitiva denominada bolacha cerâmica

que, posteriormente, é secada garantindo que quase toda a água contida na peça seja eliminada.

c) **Esmaltação:** Para realizar o processo de esmaltação devem-se seguir algumas etapas para garantir a qualidade do produto: pós-secagem, aplicação de água, aplicação de engobe, aplicação de esmalte e decoração serigráfica.

d) **Queima:** É efetuada a queima da peça cerâmica nos fornos, logo após o processo de esmaltação no produto. O processo de queima é o que dá ao material as propriedades adequadas ao uso: dureza mecânica, resistência às águas, as intempéries e aos agentes químicos. Nos fornos a peça adquire resistência mecânica, abrasiva e baixa absorção que o produto adquire suas características finais, tais como alta resistência mecânica, alta resistência à abrasão e baixa absorção. Antes da queima e após a esmaltação podemos ver dois tipos de resíduos, o chamote e o caco cerâmico.

e) **Escolha:** Na saída de cada forno está instalada a linha de escolha automática. Nela, os defeitos superficiais são identificados visualmente pelo colaborador, enquanto os dimensionais são verificados por equipamentos eletrônicos apropriados. Após os processos de escolha e classificação, as peças são encaixotadas, identificadas, paletizadas e, em seguida, estocadas na expedição. Devem-se estruturar indicadores que interpretem cada uma das etapas de produção em específico, porém é importante fornecer parâmetros de comparação como um todo. Exemplo disso é um indicador proposto na etapa de escolha de peças com qualidade (última etapa do processo produtivo) estar associado e em harmonia com indicadores ou fontes que alimentem tais indicadores no processo de preparação de massa (primeira etapa do processo).

## 2.2. Inventário de ciclo de vida (ICV)

Os indicadores ambientais para construção do ICV foram coletados de setembro de 2013 a agosto de 2014, por meio de medições diretas (dados primários) realizadas *in loco*. Foram realizadas coletas uma vez por mês, durante 12 meses, e posteriormente, divididos pela produção de peças cerâmicas em nível comercial no mesmo período. Os dados foram obtidos através de planilhas abastecidas pelos setores responsáveis.

Para a massa e esmalte, a quantificação foi feita por meio de pesagem em balança de precisão na saída do box de armazenamento. A água e o gás natural foram quantificados por meio de medidor de vazão na entrada da fábrica e fornos, respectivamente. O consumo de energia foi verificado através da conta de energia mensal. Os resíduos sólidos foram pesados ao fim do processo produtivo.

O gráfico 1 apresenta a proporção de entradas e saídas do processo produtivo para produção de 1 m<sup>2</sup> cerâmica de revestimento.

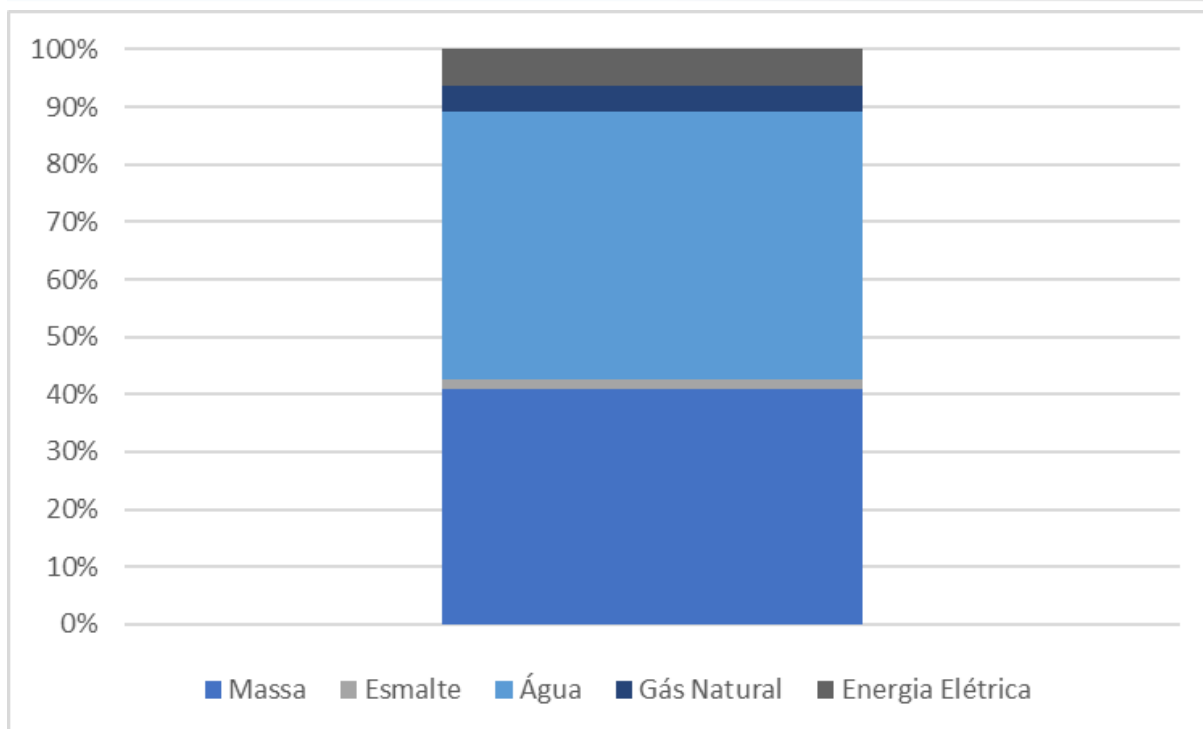


Gráfico 1 - Indicadores de entradas e saídas do processo de produção de cerâmica

A qualidade de um estudo de ACV é definida pela qualidade das informações utilizadas. Para garantir a qualidade dos dados utilizados no presente trabalho, foram atribuídas pontuações aos parâmetros coletados de acordo com os indicadores estabelecidos na Matriz Pedigree (WEIDEMA; WESNAES, 1996). A pontuação seguiu os critérios estabelecidos no software Simapro 8.0.3. A Tabela 2 apresenta os valores obtidos para cada um dos indicadores sugeridos por Weidema e Wesnaes (1996).

|                  | Confiança na fonte | Completeza | Correlação Temporal | Correlação Geográfica | Correlação Tecnológica |
|------------------|--------------------|------------|---------------------|-----------------------|------------------------|
| Massa            | 2                  | 4          | 2                   | 1                     | 1                      |
| Esmalte          | 2                  | 4          | 2                   | 1                     | 1                      |
| Água             | 1                  | 4          | 2                   | 1                     | 1                      |
| Gás Natural      | 1                  | 4          | 2                   | 1                     | 1                      |
| Energia Elétrica | 1                  | 4          | 2                   | 1                     | 1                      |

Tabela 2 – Pontuação dos indicadores de qualidade dos dados

É possível perceber que a maioria dos indicadores obteve o melhor desempenho com relação à qualidade dos dados (pontuação 1). Os indicadores “massa” e “esmalte” tiveram desempenho inferior aos demais no quesito “confiança na fonte” por terem sido extraídos da literatura e não com base em medições, como os outros indicadores. No tocante à completeza, todos os

indicadores tiveram pontuação 4, devido ao fato de terem sido coletados apenas para uma indústria produtora de cerâmica e não para todas as indústrias relevantes no mercado. A correlação temporal teve pontuação 2 para todos os indicadores por conta de os dados terem sido coletados em um período superior a 3 e inferior a 6 anos da data da realização do estudo.

A massa utilizada no processo produtivo da cerâmica de revestimento é composta por materiais argilosos, desengordurantes e de solda, que garantem, respectivamente, a plasticidade, resistência e viscosidade do produto final. Os dados relativos à composição de 1kg de massa foram obtidos com base nas informações de Nicoletti et al. (2002) (dados secundários), descritos na Tabela 3.

|          | Indicador       | Quantidade | Unidade |
|----------|-----------------|------------|---------|
| Entradas | Argila          | 0,5333     | kg/kg   |
|          | Feldspato       | 0,2964     | kg/kg   |
|          | Areia de Silica | 0,1703     | kg/kg   |
| Saídas   | Massa           | 1          | kg      |

Tabela 3 - Indicadores de entradas e saídas do processo produtivo da massa

O esmalte corresponde ao revestimento da superfície da cerâmica, cujo objetivo é melhorar a impermeabilidade e resistência da peça, além de promover seu acabamento. A Tabela 4 apresenta os dados secundários correspondentes aos constituintes do esmalte, também de acordo com Nicoletti et al. (2002).

|          | Indicador          | Quantidade | Unidade |
|----------|--------------------|------------|---------|
| Entradas | Óxido de zinco     | 0,0677     | kg/kg   |
|          | Zircônio           | 0,0294     | kg/kg   |
|          | Borato de cálcio   | 0,1158     | kg/kg   |
|          | Dolomita           | 0,1451     | kg/kg   |
|          | Borax              | 0,0980     | kg/kg   |
|          | Areia              | 0,2235     | kg/kg   |
|          | Feldspato          | 0,1968     | kg/kg   |
|          | Óxido de alumínio  | 0,0062     | kg/kg   |
|          | Chumbo             | 0,1149     | kg/kg   |
|          | Dióxido de estanho | 0,0009     | kg/kg   |
|          | Dióxido de titânio | 0,0018     | kg/kg   |
| Saídas   | Esmalte            | 1          | kg      |

Tabela 4 - Indicadores de entradas e saídas do processo produtivo do esmalte

Insumos como água, gás natural e energia elétrica foram utilizados em vários dos processos elementares considerados no sistema de produto. Estes foram, portanto, contabilizados em conjunto, representando o consumo total das entradas em todo o processo produtivo.

Dados de inventário relacionados à produção de reagentes químicos, matéria-prima, energia e gás natural foram obtidos na base de dados ecoinvent 3.1, assim como uma média dos dados de transporte desde local de extração/obtenção até o local onde ocorre o processo de produção.

A composição dos resíduos sólidos e o tratamento dos mesmos foram considerados como não-especificados, utilizando processos da base de dados ecoinvent 3.1, priorizando processos globais (tipo “GLO”).

### **2.3. Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)**

A avaliação de impacto foi realizada no software Simapro 8.0.3. Foi utilizada a versão hierárquica do método ReCiPe H/A, em nível de ponto médio, para todas as categorias de impacto, ou seja: mudanças climáticas, depleção de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, eutrofização marinha, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de matéria particulada, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, radiação ionizante, uso de solo agrícola, uso de solo urbano, transformação de terras naturais, depleção hídrica, depleção de metais e depleção fóssil.

A escolha do método ReCiPe justifica-se pela adoção de mecanismos de impacto com escopo global. Para este método, existem categorias de ponto médio e ponto final. Nesse estudo, adotou-se método ReCiPe para ponto médio, por apresentar o mais amplo conjunto de categorias e baixas incertezas quando comparado aos métodos de ponto final.

### **2.4. Interpretação**

Com o intuito de avaliar o impacto de possíveis mudanças no processo produtivo, foi proposto um cenário alternativo A com aproveitamento dos resíduos sólidos gerados como coproduto, tendo em vista que estes resíduos podem ser aproveitados no próprio processo de produção de cerâmica de revestimento ou podem ser comercializados para indústrias produtoras de cerâmica vermelha e cimento.

Para tanto, foi realizada alocação física, utilizando a massa de cerâmica e de resíduos por unidade funcional do produto final. A massa de cerâmica foi obtida a partir da média estimada por Nicoletti et al. (2002) e a massa de resíduos, contabilizada por meio de medição como saída do processo produtivo. Os valores de alocação para cada produto, utilizando a massa, estão descritos na Tabela 5.

|                          | Quantidade | Unidade |
|--------------------------|------------|---------|
| Saída                    |            |         |
| Cerâmica de revestimento | 18,00      | kg      |
| Resíduos sólidos         | 8,24       | kg      |
| Alocação mássica         |            |         |
| Cerâmica de revestimento | 68,6       | %       |
| Resíduos sólidos         | 31,4       | %       |

Tabela 5 – Alocação mássica para cenário com aproveitamento de resíduos

### 3. Resultados e discussões

O gráfico 2 apresenta os resultados não-normalizados da avaliação do potencial impacto ambiental do processo produtivo de 1 m<sup>2</sup> de cerâmica de revestimento, com a contribuição de cada indicador para primeiras 9 categorias de ponto médio, sendo estas: mudanças climáticas, depleção de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, eutrofização marinha, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de matéria particulada e ecotoxicidade terrestre.

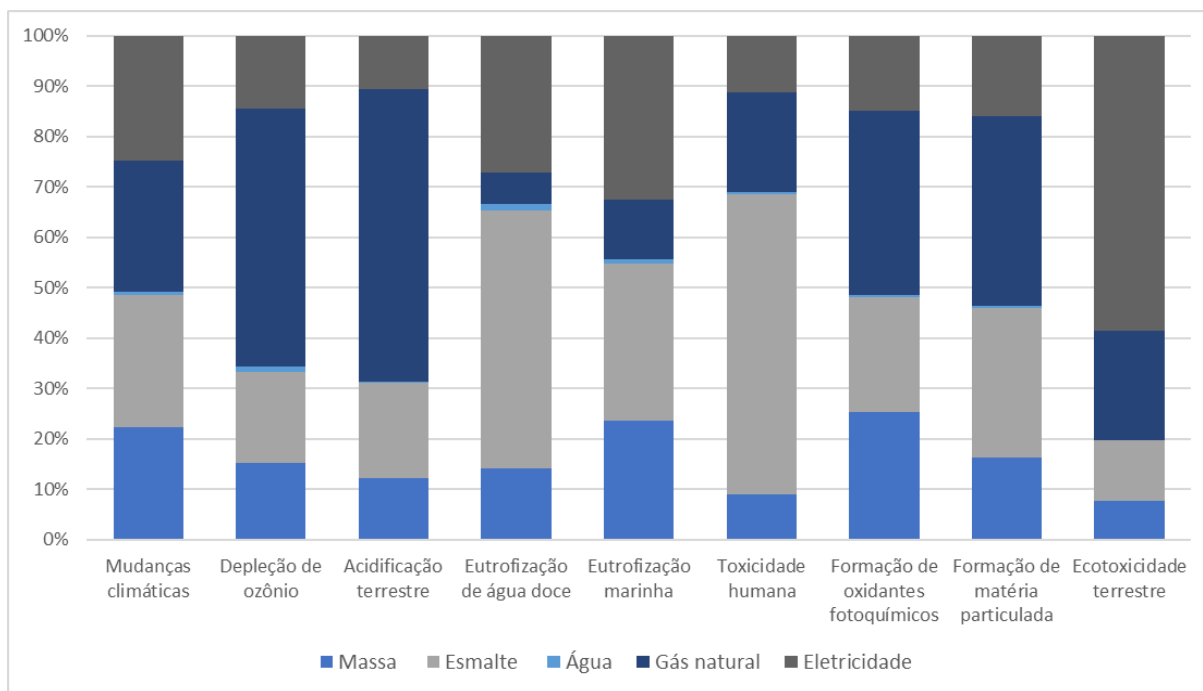


Gráfico 2 – Contribuição dos indicadores para potencial ambiental da produção de cerâmica de revestimento I

O gráfico 3 apresenta os resultados para as demais 9 categorias de ponto médio, sendo estas: ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, radiação ionizante, uso de solo agrícola, uso de solo urbano, transformação de terras naturais, depleção hídrica, depleção de metais e depleção fóssil.

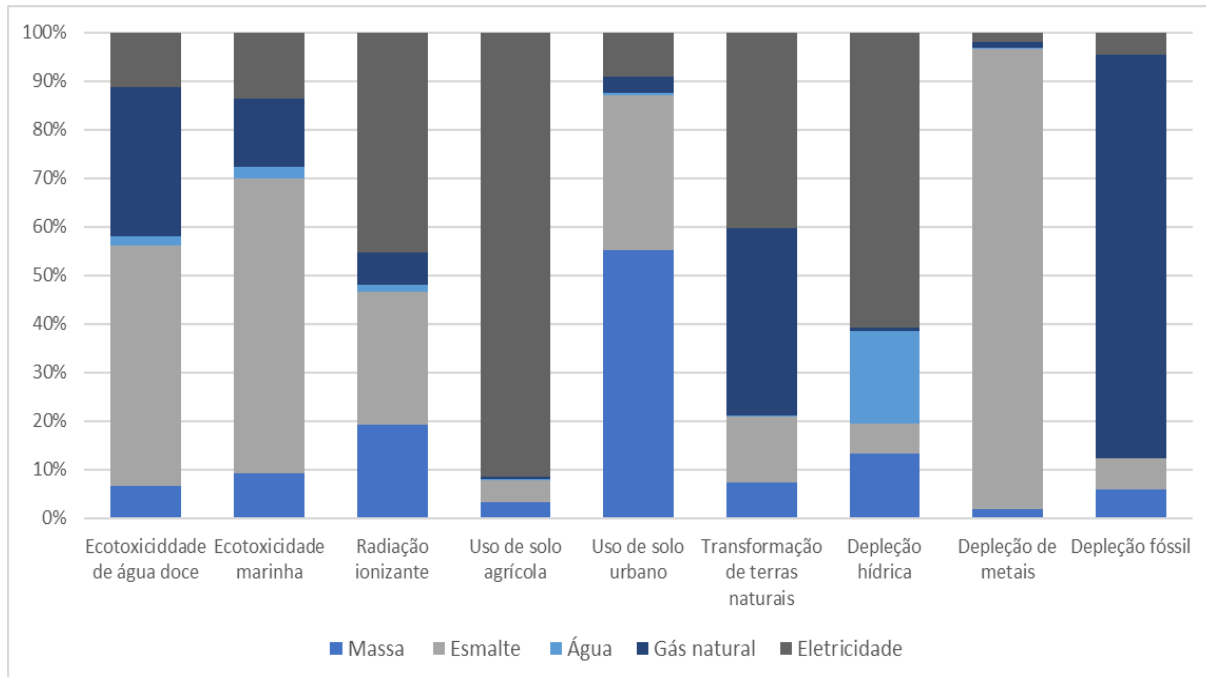


Gráfico 3 – Contribuição dos indicadores para potencial ambiental da produção de cerâmica de revestimento II

É possível observar que os indicadores influenciam de maneira diferenciada as categorias de impacto, por conta dos consumos e emissões específicos de cada um. Dessa maneira, existem aspectos, como emissões e consumos, que contribuem significativamente para o impacto potencial em determinada categoria, enquanto para outras, não.

Analisando as categorias nas quais um único indicador foi responsável por 50% ou mais do impacto potencial, nota-se que o esmalte foi aquele que representou mais da metade do impacto total para o maior número de categorias, sendo estas a depleção de metais, ecotoxicidade marinha, toxicidade humana e eutrofização de água doce.

Este comportamento se deve à utilização de metais pesados, em especial o estanho, na composição do esmalte, levando esse indicador a ser responsável por 95% do impacto na categoria de depleção de metais. O despejo irregular de reagentes e outros componentes residuais no tratamento desses metais, majoritariamente o chumbo, contribuem em 61% para ecotoxicidade marinha e 60% para toxicidade humana. Além do chumbo, a disposição de outros metais como zircônio, bórax e alumínio leva o indicador “esmalte” a ser responsável por 51% do impacto na eutrofização de água doce.

A eletricidade corresponde, individualmente, a mais de 50% dos impactos ambientais potenciais em três categorias: uso de solo agrícola, depleção hídrica e ecotoxicidade terrestre. O uso de energia elétrica proveniente da matriz energética brasileira contribui em 91% na categoria de uso de solo agrícola por conta do desmatamento de madeira para queima na produção de energia. A depleção hídrica é afetada em 61% por conta do consumo de água nas diversas fontes energéticas, principalmente em hidrelétricas. Com relação à ecotoxicidade terrestre, o uso de eletricidade é responsável por 59% do impacto, em decorrência das práticas relacionadas ao cultivo de cana-de-açúcar, como o uso de fertilizantes.

O gás natural, analisado unicamente, tem influência superior à metade do impacto potencial total para a depleção fóssil, depleção de ozônio e acidificação terrestre. A depleção fóssil é afetada em 83% pelo uso de gás natural por conta da extração de gás e consumo de petróleo, ambos de origem fóssil. O uso destes dois componentes (petróleo e gás) também é responsável por 51% do impacto na categoria de depleção da camada de ozônio. Para a acidificação

terrestre, 58% do impacto é devido ao uso de gás natural, por conta dos processos e despejos oriundos do tratamento de gás azedo (componente rico em sulfeto de hidrogênio).

A composição da massa contribui em mais de 50% apenas para uma categoria, o uso de solo urbano por conta das práticas relacionadas à produção de feldspato, sendo responsável por 55% do impacto. O uso de água não afeta em mais da metade do impacto potencial em nenhuma das categorias avaliadas, assim como as outras sete categorias (mudanças climáticas, eutrofização marinha, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de matéria particulada, ecotoxicidade de água, radiação ionizante e transformação de terras naturais) não receberam contribuição maior que 50% por parte de um único indicador.

Da mesma maneira que cada indicador tem influência maior ou menor em cada uma das categorias de impacto, estas categorias por si tem contribuição maior ou menor no impacto potencial no meio ambiente. Como estas são mensuradas em diferentes unidades de medida, é necessário realizar uma normalização para que possam ser expressas na mesma unidade e, então, comparadas. O gráfico 4 representa o resultado do impacto potencial normalizado.

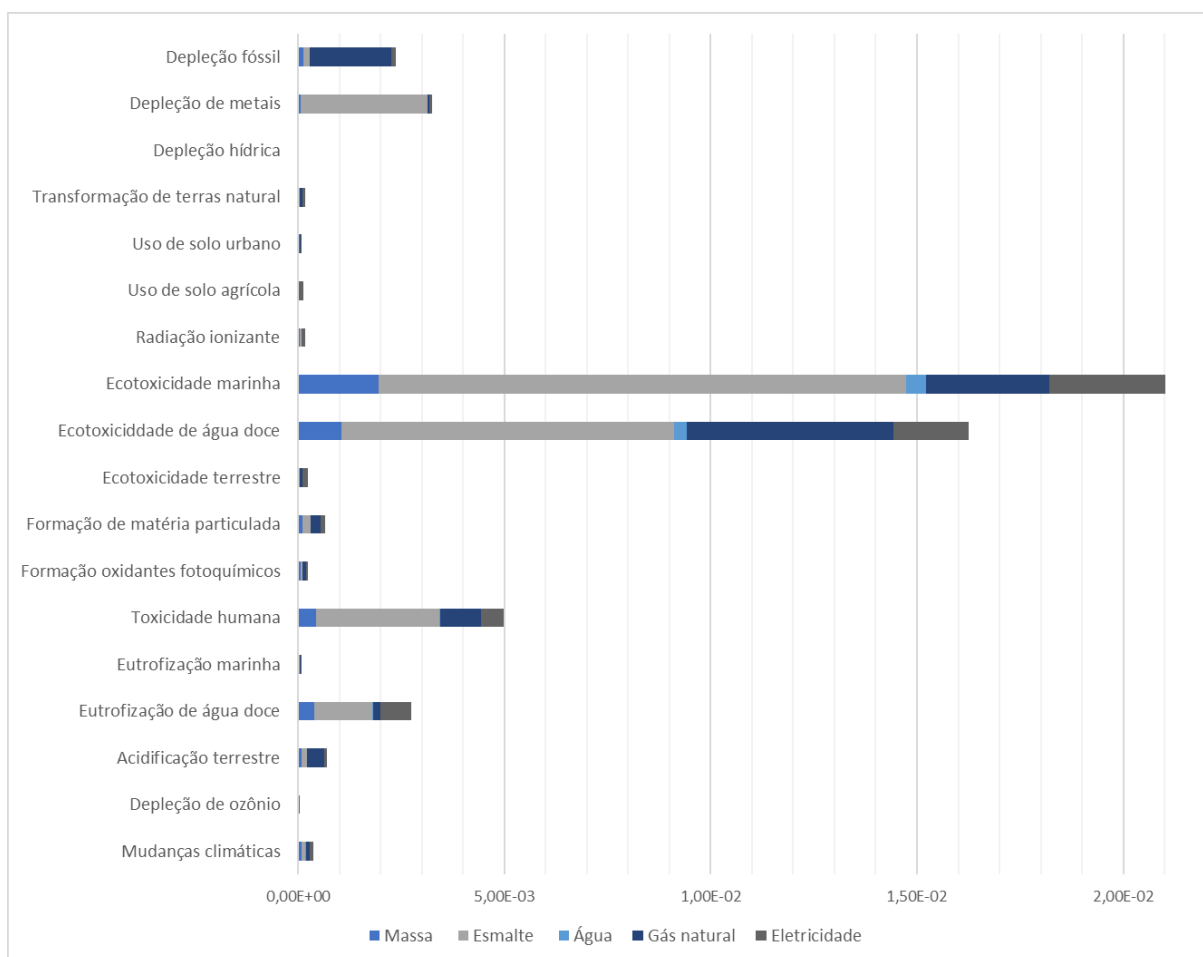


Gráfico 4 – Resultado normalizado da caracterização

A categoria com maior potencial impacto ambiental associado é a de ecotoxicidade marinha (39% do impacto total), seguida pela ecotoxicidade de água doce (30%). As categorias de toxicidade humana (9%), depleção de metais (6%), eutrofização de água doce (5%) e depleção fóssil (4%) seguem com contribuições respectivamente menores. Nota-se, então, que os impactos relacionados à toxicidade, à depleção de recursos e à eutrofização correspondem a

93% do impacto total associado ao processo produtivo da cerâmica de revestimento, de modo que as outras 12 categorias correspondem a apenas 7% do impacto total.

Dentre as seis categorias que mais contribuem para o impacto potencial total, quatro delas são afetadas majoritariamente pela produção de esmalte, que são eutrofização de água doce, toxicidade humana, depleção de metais e ecotoxicidade marinha, sendo esta última a categoria mais impactante entre todas. Além disso, entre as outras duas categorias restantes, a ecotoxicidade de água doce não tem contribuição maior que 50% por parte de nenhum dos indicadores, porém o esmalte contribui em 49% para o impacto desta categoria. Considerando a depleção fóssil, a maior parte do impacto (83%) é associada ao uso de gás natural.

Para avaliar uma possibilidade de melhoria dentro do processo produtivo, foi proposto um cenário A, no qual os resíduos sólidos, em vez de serem descartados, seriam aproveitados como um co-produto, tal que o processo seria multifuncional com saída de dois produtos: cerâmica e resíduos.

O aproveitamento de resíduo resultou na redução de 31% dos impactos potenciais em todas as categorias de ponte médio avaliadas. Esta redução aconteceu por conta da alocação dos impactos, antes associados 100% à produção de cerâmica e agora particionados entre a cerâmica e os resíduos em função de suas propriedades físicas (massa).

#### 4. Conclusões e sugestões

No presente estudo, foi realizada uma avaliação do desempenho ambiental da produção de cerâmica de revestimento, utilizando a ACV como ferramenta. É possível afirmar que as informações utilizadas na condução do trabalho atendem aos requisitos de qualidade dos dados e garantem a robustez do estudo, tendo em vista o bom desempenho dos mesmos com relação aos indicadores da Matriz Pedigree. Além disso, os dados coletados para o período de um ano evitam o uso de dados não-representativos, considerando que o setor da construção civil sofre flutuações ao longo do ano. Resultados mais expressivos para o setor poderiam ser obtidos por meio de coleta de dados em outras indústrias produtoras de cerâmica, além do uso de dados mais recentes e, preferencialmente, coletados ou medidos.

A partir dos resultados da avaliação de impacto e da normalização, é possível concluir que o esmalte representa o indicador mais impactante dentro do processo produtivo, por ser o maior responsável pelo impacto para cinco das seis categorias que mais contribuem no resultado final. Este comportamento está relacionado, especialmente, ao processo de obtenção e tratamento de metais pesados, cujos resíduos são os principais poluentes decorrentes do processo. Sugere-se, então, repensar a composição do esmalte e considerar a substituição de metais pesados por componentes alternativos menos agressivos ao meio ambiente.

Outra sugestão, para compreender melhor o processo produtivo da cerâmica de revestimento, é realizar a coleta dos dados de inventário dos indicadores por processo elementar. Dessa maneira, torna-se possível quantificar os impactos associados a cada um dos processos e identificar onde estão os pontos críticos a serem avaliados dentro da linha de produção.

O aproveitamento de resíduos proposto no cenário A levou a uma redução significativa nos impactos ambientais associados à produção de cerâmica. Esse cenário representa uma opção viável para a indústria da cerâmica, posto que os resíduos tem valor comercial para produtores de cerâmica vermelha e cimento, além da possibilidade de reaproveitamento dentro da própria indústria. Dessa maneira, é uma sugestão econômica e ambientalmente lucrativa. Uma outra alternativa seria propor novos cenários, evitando a alocação, por meio de substituição ou expansão do sistema, ou adotando diferentes critérios de alocação, além de considerar emissões para o ar e água.

Sugere-se ainda a avaliação do ciclo de vida completo da cerâmica para outros estudos, considerando o uso e o descarte do produto, além de caracterizar os resíduos e detalhar seu tratamento. Além disso, outra possibilidade é a utilização de diferentes bases de dados e métodos de avaliação de impacto. Também pode-se realizar a comparação da cerâmica com outros tipos de revestimento, como concreto ou mármore, comparando seu desempenho ambiental com possíveis substitutos.

## Referências

**ABC.** Associação Brasileira de Cerâmica. 2014.

**ANFACER.** Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. 2014.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR ISO 14040: *Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro. 21 p., 2009.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR ISO 14044: *Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações*. Rio de Janeiro. 46 p., 2009.

**BARBIERI, J. C.** *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. 3. ed. São Paulo: Saraiva. 376 p., 2011.

**GIACOMINI, P.** *World production and consumption ceramic tiles*. Ceramic World Review, 88, p. 52 – 68, 2010.

**GUINÉE, J. B.; REINOUT, H.; GJALT, H.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P.; BUONAMICI, R.; EKVALL, T.; RYDBERG, T.** *Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future*. Environmental Science & Technology, v. 45, n. 1, p. 90-96, 2011.

**LÖFGREN, B.; TILLMAN, A.; RINDE, B.** *Manufacturing actor's LCA*. Journal of Cleaner Production, Amsterdam, v. 19, n. 17/18, p. 2025-2033, 2011.

**NICOLETTI, G.W.; NOTARNICOLA, B.; TASSIELLI, G.** *Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles*. Journal of Cleaner Production, v. 10, p. 283 – 296, 2002.

**PENG, J.; ZHAO, Y.; JIAO, L.; ZHENG, W.; ZENG, L.** *CO2 Emission Calculation and Reduction Options in Ceramic Tile Manufacture -The Foshan Case*. Energy Procedia, v.16, p. 467 – 476, 2012.

**TIKUL, N.; SRICHANDR, P.** *Assessing the environmental impact of ceramic tile production in Thailand*. Journal of the Ceramic Society of Japan, 118 (1382), p. 887–894, 2010.

**UDO DE HAES, H.A.; JOLLIET, O.; FINNVEDEN, G.; GOEDKOOP, M.; HAUSCHILD, M.; HERTWICH, E.G.; HOFSTETTER, P.; KLÖPPFER, W.; KREWITT, W.; LINDEIJER, E.W.; MUELLER-WENK, R.; OLSON, S. I.; PENNINGTON, D. W.; POTTING, J.; STEEN, B.** *Towards best available practice for life cycle impact assessment*. SETAC-Europe, 272p, 2002.

**VINCE, V.; Aoustin, E.; BRÉANT, P.; MARECHAL, F.** *LCA tool for the environmental evaluation of potable water production*. Desalination, 220, p. 37–56, 2008.

**WEIDEMA, B.P.; WESNAES, M.S.** *data quality management for life cycle inventories – an example of using data quality indicators*. Journal of Cleaner Production, v. 4, p. 167-174, 1996.