

## Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): Uma ferramenta para a redução do impacto ambiental dos revestimentos cerâmicos

Flavia Contartesi<sup>a</sup>, Fábio G. Melchiadés<sup>a,b</sup>, Anselmo O. Boschi<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Laboratório de Revestimentos Cerâmicos – LaRC. Departamento de Engenharia de Materiais – DEMA. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, SP, Brasil.*

<sup>b</sup> *Centro de Revestimentos Cerâmicos – CRC, Parque Eco Tecnológico Damha I, São Carlos, SP, Brasil*

\*E-mail: [anselmo.ufscar@gmail.com](mailto:anselmo.ufscar@gmail.com)

### Resumo

Por razões diversas, legislação, ética, imagem da empresa, marketing, etc. os produtores de revestimentos cerâmicos têm se interessado cada vez mais por estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Esses estudos, baseados em uma relação de entradas e saídas ao longo de toda a vida do produto, permitem identificar as etapas mais críticas na geração de impactos ambientais. A identificação dessas etapas é fundamental para aumentar a eficácia das medidas que visam tornar os revestimentos cerâmicos cada vez mais amigáveis para o meio ambiente. Nesse cenário o presente trabalho buscou, através do levantamento e análise crítica dos trabalhos mais relevantes dedicados a essa área do conhecimento, identificar as ações mais efetivas para reduzir os impactos ambientais provocados por esses produtos, os revestimentos cerâmicos. De um modo geral, os trabalhos concluem que o maior impacto ocorre durante a fabricação, mais especificamente as etapas que envolvem energia térmica, secagem (atomização) e queima. Outras etapas destacadas são a produção de fritas e o transporte. Nesse sentido, as sugestões para a redução do impacto ambiental sugeridas pelos artigos internacionais podem ser agrupadas em três frentes principais: energia, resíduos e matérias-primas. Muito embora alguns fabricantes brasileiros já tenham implementado medidas alinhadas com as recomendações dos estudos internacionais, as peculiaridades da indústria nacional de revestimentos cerâmicos, como a predominância da via seca e a fusibilidade de algumas argilas, por exemplo, indicam a necessidade de se avaliar o ciclo de vida (ACV) para a nossa realidade. Nesse sentido, infelizmente, são muito poucas as avaliações dos ciclos de vida que levam em consideração as mencionadas peculiaridades da nossa indústria.

**Palavras-chave:** ACV, revestimento cerâmico, desenvolvimento sustentável, hotspots, via seca.

## 1 Introdução

Desenvolvimento sustentável é assunto cada vez mais discutido no mundo todo [1–5], inclusive no que diz respeito ao papel desempenhado pelos materiais neste âmbito [6]. O conceito de desenvolvimento sustentável é definido como o atendimento das necessidades da geração atual – o que engloba manutenção e desenvolvimento de sua atividade industrial –, sem, contudo, comprometer a capacidade das gerações futuras de também o fazer-lo [7].

Por conta deste apelo crescente para a necessidade de desenvolvimento cada vez mais sustentável, foram criados vários conceitos como economia circular [8–10], Sistema de Gestão Ambiental (SGA) [11] e Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) [12–15]. Para a indústria de revestimentos cerâmicos o maior estímulo vem da indústria da construção civil que sente a demanda crescente por construções cada vez mais sustentáveis.

É notória a posição de destaque do Brasil no setor de revestimentos cerâmicos mundial. Ocupa a posição de terceiro maior produtor de revestimentos cerâmicos do mundo, já tendo ocupado por vários anos a segunda posição, tem capacidade instalada de mais de um bilhão de metros quadrados, com consumo anual de 790 milhões de m<sup>2</sup> em

2017 [16]. Os impactos ambientais associados a um setor tão expressivo também são significativos [17].

Monfort (2012) [18] menciona o interesse de países emergentes em reproduzir certas práticas ambientais que nascem nos países desenvolvidos, principalmente movidos pelo interesse comercial que nasce de conceitos como a compra verde e da necessidade de certificações ou selos de qualidade ambiental, como LEED ou Aqua [19,20]. Uma destas práticas é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), uma técnica que tem sido bastante utilizada por diversos setores. No universo cerâmico, inclusive, ganhou espaço em âmbito internacional em estudos que abarcam desde partes do processo produtivo [21,22] a produtos recentes e mais complexos [23–25].

Segundo a norma ISO 14040:2006, que rege seus princípios e estrutura, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica para a compilação e a avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida [26]. Em outras palavras, através dela é possível mapear os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a um produto ou processo através

do levantamento de tudo que entra e sai do sistema, desde a extração das matérias-primas (berço) até a disposição do produto final (túmulo).

Mas o conhecimento do ciclo de vida do produto é apenas uma das etapas importantes, assim como as questões comerciais o são. A ACV deve servir, não como fim, mas como ferramenta para identificar, dentro de uma análise ampla do processo, as etapas mais críticas, ou *hotspots*. A partir dessa informação, identificar oportunidades de melhoria no desempenho ambiental e redução dos impactos, a fim de concretizar ações que tornem o processo e os produtos mais sustentáveis.

Considerando que esse não é um problema exclusivamente nosso e que os principais produtores mundiais de revestimentos cerâmicos já aplicaram o método de ACV a seus distritos industriais e publicaram os resultados obtidos, o objetivo deste é procurar aprender com esses estudos e ao mesmo tempo avaliar as conclusões dos mesmos à luz das peculiaridades da indústria brasileira.

## 2 Avaliação do Ciclo de Vida

Como apresenta a Figura 1 a técnica de ACV consiste de quatro fases.

A primeira etapa é a definição de um objetivo claro que oriente o projeto quanto ao que se pretende lograr com ele. O escopo deve descrever e/ou definir alguns aspectos como a função do produto a ser analisado e a unidade funcional, elementos centrais de uma ACV, e o sistema com todas as etapas que fazem parte do processo [15]. A unidade funcional quantifica a função e fornece uma referência sobre a qual as entradas e saídas do sistema são relacionadas. No caso dos revestimentos, por exemplo, a função está relacionada ao recobrimento de superfície e, por isso, a unidade funcional mais utilizada é o m<sup>2</sup> de produto ou superfície revestida.

A análise de inventário do ciclo de vida é o corpo de uma ACV, pois é nesta etapa que todos os dados serão compilados e quantificados. O objetivo do inventário é identificar e quantificar tudo que entra e que sai do

sistema analisado, entre materiais, energia, rejeitos, emissões atmosféricas, emissões na água, no solo e o próprio produto ou coprodutos. Dados primários são coletados diretamente do sistema produtivo, mas dados secundários, como de produção energética, são oriundos de bases de dados.

Diante do elevado número de informações geradas no inventário, a avaliação de impacto “visa o entendimento e a avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto” [27]. A norma utiliza o termo “potenciais” ao se referir aos impactos, portanto, deve ficar claro que esta avaliação não identifica, mede ou prediz impactos reais [28]. Para tanto, são definidas categorias de impacto que possam quantificar esses impactos potenciais. Cada estudo tem liberdade para selecionar as categorias de impacto a serem analisadas, podendo incluir quantas categorias sejam necessárias, mas sempre com a preocupação de priorizar os impactos mais relevantes no sistema analisado. Dentre elas, podemos citar: potencial de aquecimento global, eutrofização, acidificação, toxicidade humana, entre outros.

Cada categoria é impactada por determinadas emissões. Impactam o aquecimento global, por exemplo, tanto as emissões de CO<sub>2</sub> quanto as de CH<sub>4</sub>. Entretanto o potencial de impacto do CH<sub>4</sub> é muito maior do que o de CO<sub>2</sub>, o que quer dizer que, comparativamente, um mesmo volume de emissões de ambos gera impactos distintos. Assim, um fator de conversão padroniza todas as emissões relevantes ao aquecimento global em uma unidade comum: kg de CO<sub>2</sub> equivalente. Existem métodos consolidados para esta conversão numérica, a partir dos quais os cálculos são realizados. Ao final, os resultados são expressos na unidade convencional estabelecida para cada categoria de impacto. O esquema da Figura 2 ilustra esta etapa.

Na fase final os resultados obtidos devem ser avaliados para que se possa elaborar as conclusões, recomendações e sugerir medidas identificadas como mais eficazes para a redução dos impactos ambientais resultantes do processo e produto avaliados.

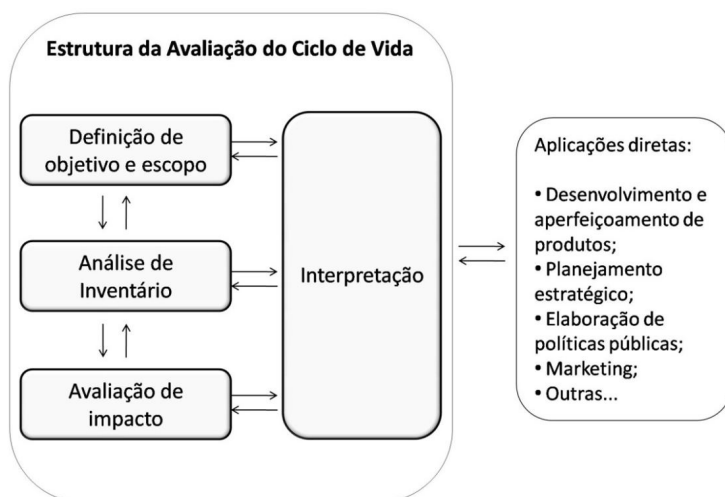


Figura 1. Fases de uma ACV [27].

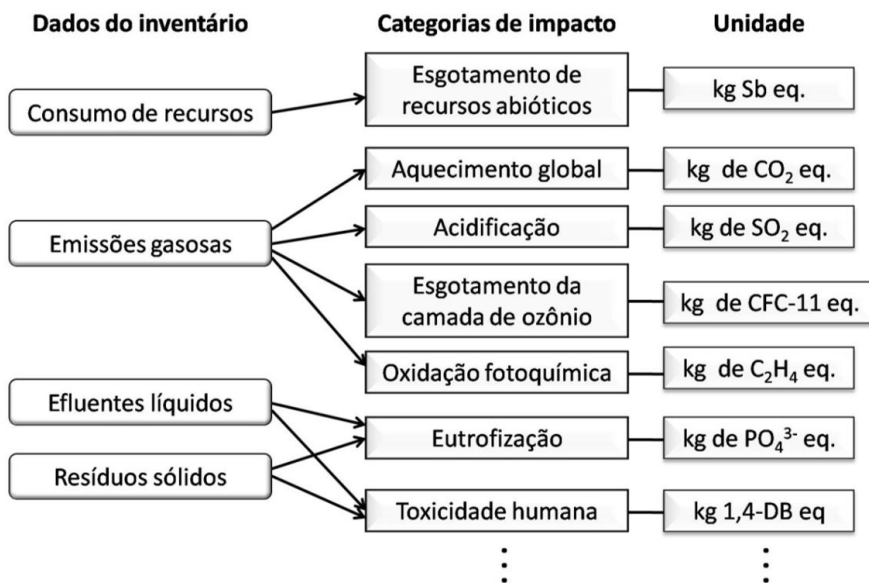


Figura 2. Esquema ilustrativo da avaliação de impacto e os elementos que a compõe.

### 3 Levantamento bibliográfico – ACV no mundo

Países como Espanha [29–32], Itália [33], Portugal [34] e China [35], importantes produtores de revestimentos cerâmicos, já realizaram estudos de ACV em seus respectivos polos, mapeando a situação dos seus produtos. Para isso cada estudo adotou um enfoque próprio, o que dificulta a comparação dos resultados [34,35].

Todos esses estudos desenvolveram a ACV com enfoque na preocupação ambiental, uma vez que esta é a própria motivação inicial que fez nascer este tipo de análise. Entretanto, devido às liberdades próprias da ACV esses estudos podem envolver avaliações econômicas (Custo do Ciclo de Vida – CCV) e sociais (Avaliação Social do Ciclo de Vida – ACV-S). Todos juntos dão origem a um conceito mais amplo de sustentabilidade, conhecido como Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida (LCSA). Alguns dos trabalhos analisados, selecionados pela abrangência e relevância, englobam os aspectos econômicos e sociais (Tabela 1). Entretanto, o enfoque deste trabalho se limitou apenas aos aspectos ambientais.

Cada estudo segue diretrizes próprias para a realização da ACV. Apesar disso, eles apresentam semelhanças e alguns resultados se repetem. A Tabela 2 apresenta algumas das principais características e considerações que diferenciam os trabalhos, enquanto a Tabela 3 apresenta as principais conclusões dos mesmos.

Uma das conclusões comuns à maioria dos trabalhos é que a etapa mais crítica no que se refere ao impacto ambiental durante todo o ciclo de vida dos revestimentos cerâmicos é a produção, sobretudo a queima. Isso se deve principalmente ao elevado consumo de gás natural. Muitos estudos optam por fazer uma avaliação só até o portão

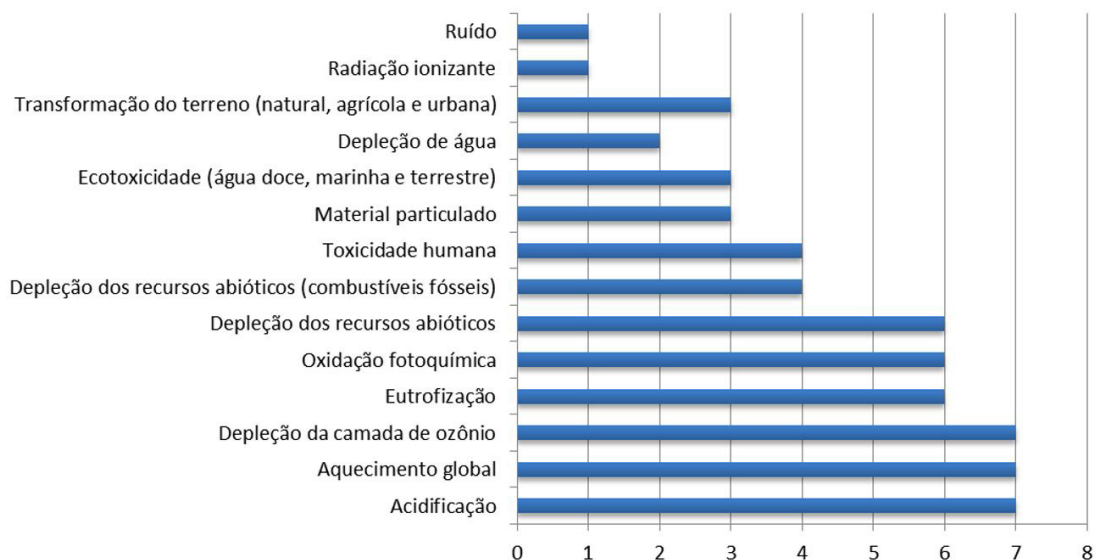
da fábrica, pois os revestimentos cerâmicos têm uma longa vida útil, são de fácil limpeza e manutenção e a os resíduos, no fim da vida útil, são praticamente inertes [36].

Entretanto, outras conclusões interessantes e menos esperadas também aparecem. Um estudo sobre o polo cerâmico de Sassuolo, na Itália, um dos mais importantes do mundo, concluiu que o transporte das matérias-primas até as fábricas é a etapa que causa o maior impacto ambiental [33]. Neste caso específico, atribui-se a significância desta etapa às emissões de NO<sub>x</sub>, aliada às longas distâncias entre as minas e as fábricas, uma vez que as matérias-primas são oriundas de outras partes da Itália (Toscana, Piemonte, Sardenha) e do exterior (Alemanha, Turquia e Ucrânia). Além disso, neste mesmo estudo as categorias de impacto foram agrupadas entre saúde humana, qualidade do ecossistema e mudança climática e concluíram que a categoria de danos à saúde humana é a que sofre os maiores impactos, muito por responsabilidade da emissão de material particulado respirável.

De maneira geral, categorias de impactos globais são mais comuns que as relativas a impactos locais. Dentre as categorias mais comuns, o aquecimento global é sem dúvidas uma das que recebe maior atenção nos estudos, principalmente pela sua significativa contribuição para a carga ambiental global. Por este motivo, a produção e, sobretudo, a etapa de queima é considerada por quase todos os estudos a maior responsável pelos impactos ambientais (Tabela 3). A conclusão do estudo de Ye et al. (2018) também foge do comum às conclusões da maioria dos estudos apontando as matérias-primas do esmalte como as maiores responsáveis pelo impacto ambiental das indústrias estudadas. Isto porque, apesar de essas matérias-primas não afetarem diretamente o aquecimento global, causam grandes prejuízos às outras categorias,

**Tabela 1.** Resumo dos estudos referência de interesse.

	<b>Título</b>	<b>ACV</b>	<b>CCV</b>	<b>ACV-S</b>
(Bovea et al., 2010) [29]	Desempenho ambiental de revestimentos cerâmicos: propostas de melhoria <i>Environmental performance of ceramic tiles: Improvement proposals</i>	x		
(Benveniste et al., 2011) [30]	Avaliação do ciclo de vida e regras de categorias de produtos para o setor da construção. Estudo de caso do setor de pisos e revestimentos <i>Life cycle assessment and product category rules for the construction sector. The floor and wall tiles sector case study</i>	x		
(Ibanez-Fores et al., 2011) [31]	Avaliação do ciclo de vida de revestimentos cerâmicos. Análise ambiental e estatística <i>Life cycle assessment of ceramic tiles. Environmental and statistical analysis</i>	x		
(Almeida et al., 2016) [34]	Perfil ambiental dos revestimentos cerâmicos e seu potencial de melhoria <i>Environmental profile of ceramic tiles and their potential for improvement</i>	x		
(Ye et al., 2018) [35]	Avaliação ambiental e econômica do ciclo de vida da produção de revestimentos cerâmicos: um estudo de caso na China <i>Life cycle environmental and economic assessment of ceramic tile production: A case study in China</i>	x	x	
(Ros-Dosdá et al., 2018a) [32]	Perfil ambiental dos porcelanatos espanhóis <i>Environmental profile of Spanish porcelain stoneware tiles</i>	x		
(Blundo et al., 2018) [33]	Sustentabilidade como fonte de vantagens competitivas em setores maduros: o caso do distrito cerâmico de Sassuolo (Itália) <i>Sustainability as source of competitive advantages in mature sectors: the case of Ceramic District of Sassuolo (Italy)</i>	x	x	x



**Figura 3.** Frequência das categorias de impacto nos sete estudos analisados.

**Tabela 2.** Características comparativas entre alguns dos estudos mais relevantes.

	(Bovea et al., 2010)	(Benveniste et al., 2011)	(Ibanez-Fores et al., 2011)	(Almeida et al., 2016)	(Ye et al., 2018)	(Ros-Dosdía et al., 2018a)	(Blundo et al., 2018)
Pais de origem	Espanha	Espanha	Espanha	Portugal	China	Espanha	Itália
Unidade Funcional	1 m <sup>2</sup> para cerâmica fabricada e classificada, pronta a ser vendida.	Cobertura de 1 m <sup>2</sup> de superfície por 50 anos, para uso residencial, comercial ou sanitário	1 m <sup>2</sup> de cerâmica ao longo de um período de 20 anos	1 m <sup>2</sup> de revestimento cerâmico, para uso residencial por 50 anos	Produção de 1 m <sup>2</sup> de revestimento cerâmico (0,4 m <sup>2</sup> de azulejo e 0,6 m <sup>2</sup> de revestimento polido)	1 m <sup>2</sup> de revestimento de piso residencial de porcelanato por 50 anos	1 m <sup>2</sup> de cada uma das categorias de produtos selecionadas
Abordagem	Berço ao portão	Berço ao túmulo	Berço ao túmulo	Berço ao túmulo	Berço ao portão	Berço ao túmulo	Berço ao túmulo
Empresas	Provincia de Castellón	56 (mais de 50%) - Castellón	35	4	1	26	79
Software	SimaPro	GaBi-4	SimaPro 7.3	Não informado	SimaPro 8.2	GaBi 4	SimaPro 8.0.2
Método de Avaliação	CML 2001	CML 2001	CML 2001	CML 2001 e ILCD	ReCiPe	CML 2001	IMPACT 2002
Origem dos dados secundários	BUWAL250 e Ecoinvent	PE International	Ecoinvent	Ecoinvent	Banco de dados chinês e Ecoinvent	PE International, ELCD 3.2. e Thinkstep	Ecoinvent
Origem dos dados primários	Empresas localizadas na provincia de Castellón (Espanha). Dados anuais referentes aos anos 2004-2006	Recolhidos via questionários, com posterior visita às empresas e medidas experimentais	Setor mineiro, fábricas de atomização, de fritas e esmaltes, fábricas de revestimentos, empresas de eliminação de resíduos de C&D	Diretamente das fábricas através de questionários, auditorias ou medições diretas ao longo da cadeia de suprimentos	Obtido de uma fábrica de produção localizada na provincia de Jiangxi, na China	75% diretamente de fabricantes de revestimentos cerâmicos e 24% de literatura e médias setoriais	Empresas localizadas em dez municípios abrangendo as provincias de Modena e Reggio Emilia
Produtos	Revestimentos de piso e parede, analisados conjuntamente	Azulejo branco e vermelho; revestimentos de piso esmaltados branco e vermelho; porcelanato	Revestimento cerâmico de monoqueima	Revestimentos cerâmicos dos grupos B1a e B1b, esmaltados e não esmaltados.	Azulejo e revestimento polido, analisados conjuntamente	Porcelanato, discriminado em parâmetros de espessura, teor de esmalte e tratamento mecânico	Azulejo de dupla queima, monoporosa, porcelanato esmaltado e não esmaltado

Tabela 2. Continuação...

	(Bovea et al., 2010)	(Benveniste et al., 2011)	(Ibanez-Fores et al., 2011)	(Almeida et al., 2016)	(Ye et al., 2018)	(Ros-Dosdá et al., 2018a)	(Blundo et al., 2018)
	1. Recebimento da argila	1. Extração de MP, transporte e fabricação	1. Mineração	1. Produção de matérias-primas e auxiliares, transporte e processo de fabricação	1. Preparação do material	A1-A3. Produto (A1. Suprimento de matéria prima, A2. Transporte, A3. primas Fabricação)	1. Extração, transporte e moagem de matérias-primas
	2. Prensagem	2. Transporte para construção e instalação	2. Atomização	2. Transporte	2. Prensagem	A4-A5. Processo de construção	2. Prensagem, esmaltação, decoração, queima e embalagem dos revestimentos
	3. Secagem	3. Uso e manutenção	3. Produção de fritas e esmaltes	3. Instalação	3. Esmaltação	B1-B7. Uso	3. Uso, manutenção e descarte de equipamentos
Sistema	4. Esmaltação	4. Fim da vida.	4. Produção de cerâmica	4. Uso e manutenção	4. Queima	C1-C4. Fim de vida.	
	5. Queima		5. Distribuição	5. Disposição final.	5. Retífica		
	6. Classificação e embalagem		6. Instalação e utilização		6. Polimento individual para a produção de revestimentos polidos		
	7. Armazenamento		7. Construção e demolição.				
	8. Processos auxiliares (laboratório, escritório)						

**Tabela 3.** Conclusões comparativas dos estudos mais relevantes. (ADP, potencial de depleção dos recursos abióticos; ADP-f, depleção dos recursos abióticos – combustíveis fósseis; AP, acidificação; EP, eutrofização; ET, ecotoxicidade; GWP, aquecimento global; HT, toxicidade humana; LU, transformação do terreno; PM, material particulado; POCP, formação fotoquímica de ozônio; WD, depleção de água).

	Comparação entre produtos	Principal origem dos impactos ambientais	Principal origem dos impactos ambientais por categoria	Outras conclusões significativas	Vantagens/boas práticas
(Bovea et al., 2010)	-	Etapa de queima para a maioria das categorias de impacto.	Para o ruído, a etapa de prensagem; a categoria destruição da camada de ozônio é afetada pelas fases de classificação e embalagem e armazenamento.	-	-
(Benveniste et al., 2011)	O estudo apresenta alguns dados comparativos, mas não os discute.	Etapa de fabricação.	POCP e consumo de água foram mais impactados pela etapa de uso.	O consumo de gás natural na queima, secagem por atomização e secagem das peças prensadas, contribuem com 71% do GWP.	-
(Ibanez-Fores et al., 2011)	-	Etapa de fabricação seguida pelas plantas de atomização.	-	A produção de fritas e esmaltes destaca-se pelo estágio que gera a maior quantidade de resíduos perigosos, além do alto consumo de água na fusão.	-
(Almeida et al., 2016)	Maior impacto nos porcelanatos que nas cerâmicas esmaltadas (Bib). As condições de operação do forno, consumo de eletricidade, matérias-primas utilizadas e transporte são elementos-chave que justificam a variabilidade dos impactos	Etapa de fabricação, representando mais de 40% da maioria dos tipos de impacto.	A produção de combustíveis (especialmente gás natural) para OD e ADf; e a produção de embalagens para ET e LU.	-	-

Tabela 3. Continuação...

	Comparação entre produtos	Principal origem dos impactos ambientais	Principal origem dos impactos ambientais por categoria	Outras conclusões significativas	Vantagens/boas práticas
(Ye et al., 2018)	-	Produtos químicos inorgânicos como matérias-primas.	O Cl no solo, gerado a partir da produção de produtos químicos inorgânicos, forneceu a contribuição mais significativa para ET e HT. O SO <sub>2</sub> no ar para AP e formação de partículas. O Ni na água para ecotoxicidade marinha. Em termos de mudança climática, o CO <sub>2</sub> no ar foi o contribuinte mais significativo.	Os poluentes gerados por produtos químicos inorgânicos foram removidos em grandes proporções através do controle de ar residual e tratamento de efluentes, chegando a reduções de impacto de mais de 98% em algumas categorias.	-
(Ros-Dosdá et al., 2018a)	-	Etapa de fabricação.	Produção e consumo de gás natural na fabricação de ADP-f e GWP; esmaltes para ADP, AP, EP e POCP; produção de eletricidade e consumo para ODP e ADP-f; distribuição para AP e POCP e matérias-primas para ODP e adesivos usados no estágio de instalação para ADP.	Nas categorias de impacto do GWP e no ADP-f, o consumo de gás natural no processo de fabricação representou mais de 70%.	Grande número de sistemas de cogeração instalados no cluster de revestimentos cerâmicos reduziram significativamente os impactos na grade de energia espanhola, especialmente nas categorias de ADP-f, AP, POCP e GWP.
(Blundo et al., 2018)	Maior impacto nos porcelanatos que nas cerâmicas porosas.	Transporte de matérias-primas (20-25% relacionado às emissões de Nox).	-	O maior impacto para todos os produtos corresponde à categoria de danos à saúde humana.	-



representando mais de 50% na maioria delas [35]. O estudo de Ye et al. (2018) também conclui que, no que se refere ao clima as emissões diretas ao ar são as mais relevantes, com destaque para o CO<sub>2</sub>.

As categorias de impacto são escolhas particulares de quem realiza a ACV, por este motivo, podemos identificar entre os estudos analisados, variações entre as categorias escolhidas. A Figura 3 identifica a frequência das categorias presentes nos estudos analisados, sendo que algumas estão presentes em praticamente todos os estudos.

Fica claro, portanto, que a definição das categorias pode afetar os resultados da ACV. As categorias mais comuns têm grande importância, mas não são as únicas relevantes. Almeida et al. (2016) [34] e Ros-Dosdá et al. (2018a) [32] classificam as etapas mais críticas para cada impacto, o que permite um detalhamento muito mais completo de todo o sistema. Entretanto, os dois estudos consideram a produção como uma etapa única, o que impede que se possa identificar a contribuição de cada uma das etapas do processo produtivo, informação importante para nortear a tomada de decisão visando minimizar os impactos ambientais do processo de fabricação.

### 3.1 Potencial de melhoria ambiental

Historicamente, a indústria de revestimentos já avançou bastante no que diz respeito a diminuição dos impactos ambientais causados por suas fábricas. Nesse sentido dentre outras medidas, cabe destacar, por exemplo: a implementação da monoqueima, com eliminação de uma das etapas de queima, a eliminação de metais pesados das composições de esmalte e a adoção dos filtros para eliminar as emissões de flúor. Entretanto, ainda há muito por fazer.

A CETESB, por exemplo, ainda vem trabalhando para implantar uma ação setorial de controle de emissões de material particulado, visando à redução das desconformidades registradas na qualidade do ar, com o “Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias - Setor das Indústrias de Pisos Cerâmicos e Mineração de Argila” referente à região de Santa Gertrudes, aprovado em 2016. A problemática das emissões de material particulado está diretamente relacionada com a saúde humana e os casos de silicose, motivo pelo qual outros programas anteriores já foram implementados focando sua redução [37].

Uma linha bastante comum de abordagem da sustentabilidade em diversos setores é o reaproveitamento de rejeitos, tanto industriais, gerados durante a fabricação, como dos produtos descartados ao final de sua vida útil. Para isso, a solução, muitas vezes, não envolve somente uma empresa, mas várias que inclusive podem produzir produtos diversos. Os estudos propõem que o desperdício de um sistema pode ser usado como insumo em outro sistema, em um conceito de economia circular [38]. No caso da indústria de pisos, propõe-se, por exemplo, a reutilização de seus resíduos de produção na fabricação de blocos de pavimentação [39], argamassa [40], asfalto [41], concreto [42], etc. O aproveitamento de resíduos de esgoto [43] ou resíduos de outros ramos da indústria cerâmica, como a de sanitários [44] ou do próprio polimento de porcelanatos [45] na fabricação de revestimentos, já

foram também propostos. Com isso, além de diminuir o descarte, pode-se atingir alguns ganhos nas propriedades finais do produto.

A grande dificuldade neste tipo de abordagem é que, muitas vezes, os rejeitos inseridos não trazem grandes vantagens ao novo produto. Ademais, neste aspecto há de se considerar a importância do ciclo de vida para que não se baseie numa visão muito ingênua do assunto. Ao reaproveitar um rejeito, as implicações de reprocessamento e logística de transporte podem trazer impactos significativos que devem ser considerados. A abordagem do ciclo de vida nestes casos ajuda a tomada de decisão com rigor científico [30].

Com relação aos processos mais diretamente envolvidos na produção de revestimentos, a etapa da mineração foi muito bem mapeada quanto aos impactos que gera por Christofletti e Moreno (2011) [46]. Em um trabalho amplo, eles levantaram as dificuldades e apontaram soluções ou, ao menos, minimização dos impactos negativos, conforme Figura 4.

Entretanto, no que se refere a redução dos impactos ambientais, em um espectro mais amplo do ciclo de vida, as melhorias relacionadas a fabricação são mais significativas.

A Figura 5 apresenta, de maneira resumida, as principais propostas de melhoria que a literatura apresenta a partir dos dados de ACV levantados [29,32,34–36,47], agrupadas em três grandes grupos: energia (térmica e elétrica), resíduos e matérias-primas. Como esperado, as propostas relacionadas a fatores energéticos são a maioria e recorrentes entre os estudos. Uma vantagem do mercado espanhol neste sentido é a presença de cogeração para a rede, já consolidada no país [32].

Propostas como a substituição da geração de energia baseada em carvão, presente no setor chinês, não se aplicam à realidade brasileira, assim também com o uso de secagem por micro-ondas, pois não é economicamente viável.

A discussão sobre resíduos engloba três ações. A primeira está relacionada as conhecidas tecnologias de “fim de tubo”, tecnologias ambientais convencionais que trabalham principalmente o tratamento de resíduos e das emissões geradas em um processo produtivo. Portanto a intervenção é feita apenas no final do processo. A segunda é a reciclagem dos resíduos gerados no processo produtivo. A terceira é a ação no processo visando a redução dos resíduos. Sob o ponto de vista da efetividade da redução do impacto ambiental, a terceira ação é a mais interessante, pois as demais buscam remediar as coisas.

Dentre as propostas, algumas já foram implementadas em algumas fábricas brasileiras através de ações como: recuperação de energia térmica dos fornos, uso de filtros para controlar as emissões de flúor, reciclagem dos resíduos do processo no próprio processamento de nova massa cerâmica ou redução de espessura das placas. Além destas, outras que não apareceram entre as propostas, como reuso de efluentes industriais tratados, uso de impressão jato de tinta com economia de pigmentos em relação a outras técnicas ou implementação de novo sistema de impressão

Impactos ambientais negativos		
Meio biótico	Meio físico	Meio social
(1) Depreciação da qualidade da água superficial em função de turbidez ocasionado por carreamento de finos nas redes de drenagens. (2) Supressão da vegetação, destruição de nichos ecológicos. (3) Alteração nas águas subterrâneas e superficiais.	(1) Geração de particulados finos na atmosfera (poluição atmosférica). (2) Desconfiguração da paisagem. (3) Turbidez na água superficial.	(1) Falta de abastecimento público. (2) Impacto visual. (3) Conflitos com outros usos de solo. (4) Problemas de saúde humana.
Medidas mitigadoras		
(1) Umectação de vias de circulação. (2) Criação de reserva legal, compensação por revegetação em áreas desnudas em APPs. (3) Instalação de bacias de decantação de finos.	(1) Cortina vegetal, umectação de vias de circulação, eliminação dos pátios de secagem substituição dos pátios de secagem por fontes alternativas. (2) Recuperação concomitante da área degradada. (3) Instalação de bacias de decantação de finos.	(1) Utilizar as medidas mitigadoras do meio biótico para evitar o carreamento de finos para as redes de drenagens. (2) Recuperação concomitante da área degradada. (3) O município deve possuir um instrumento (mapa) detalhado de uso e ocupação de solo. (4) Eliminar pátios de secagem, umectar as vias e instalação de cortina vegetal.

Figura 4. Principais impactos ambientais negativos da mineração no polo cerâmico de Santa Gertrudes e medidas mitigadoras. [46]

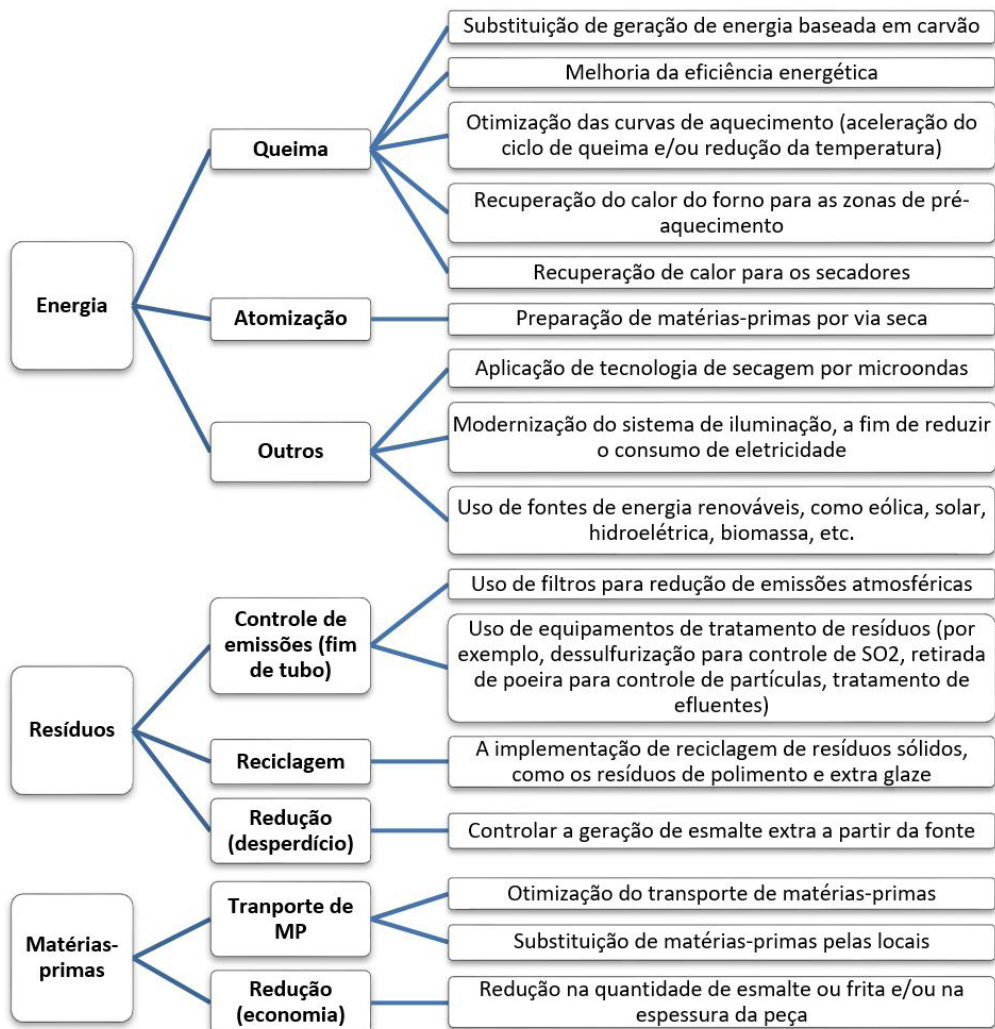


Figura 5. Principais sugestões de melhoria ambiental presentes na bibliografia, agrupadas por motivação principal.

nas embalagens também são citadas pelas empresas comoecoinovações [48].

Essas inovações em clusters cerâmicos brasileiros ainda são impulsionadas principalmente por legislação específica e exigências do mercado [48] e, as reduções efetivas dos impactos potenciais não costumam ser devidamente quantificadas.

Diante de muitas propostas já implementadas, em maior ou menor nível, cabe a reflexão: quais serão as mudanças mais efetivas para o desenvolvimento sustentável do setor? Alguns apostam para a inovação radical dos revestimentos cerâmicos através da agregação de mais tecnologia. Alguns exemplos dessas inovações são as placas com células fotovoltaicas na superfície, capazes de suprir parte da demanda de energia de um edifício, placas com superfícies com nanoestruturas que permitem converter o poluente  $\text{NO}_x$  em  $\text{NO}_3$ , contribuindo para a diminuição das concentrações de  $\text{NO}_x$  da atmosfera, e revestimentos com superfície autolimpante, também baseado em nanotecnologia.

Outros projetos estão menos vinculados aos produtos propriamente dito e dizem respeito a projetos arquitetônicos, como fachadas ventiladas, a fim de manter a temperatura reduzida nos edifícios, pisos elevados que permitem a instalação de tubulações e sistemas de captação de águas pluviais ou estratégias estéticas para reduzir o consumo de argamassa. Todas essas ações contribuem para reduzir os impactos ambientais e a melhoria do meio ambiente e sua potencial contribuição nesse sentido pode ser determinada através da avaliação do ciclo de vida das edificações.

### 3.2 O cenário brasileiro

Depois de termos apresentado as principais conclusões de alguns dos mais relevantes estudos de ACV em alguns dos mais importantes polos produtores de revestimentos cerâmicos do mundo, Tabela 3, é oportuno avaliarmos a aplicabilidade dessas recomendações à indústria brasileira que tem peculiaridades que a diferenciam consideravelmente dos polos produtores de outros países.

Os escassos estudos brasileiros concordam em grande parte com os resultados e conclusões encontrados em outros países, discutidos anteriormente. A queima do gás natural, combustível dos atomizadores e fornos, e o transporte de matérias-primas são apontados como os que mais impactam o meio ambiente na fabricação de revestimentos cerâmicos, como conclui Hansen, Seo e Kulay (2010) [49]. Vieira et al. (2017) [50], por outro lado, em consonância com Ye et al. (2018) [35], destacam os impactos causados pelos esmaltes devido a sua significância em cinco das seis categorias analisadas.

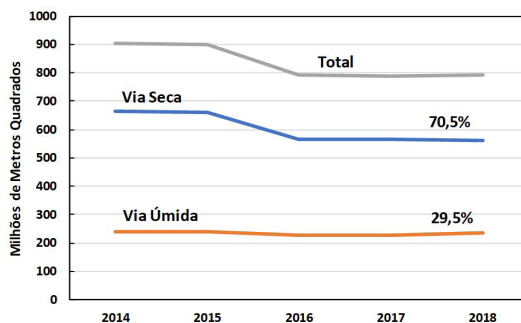
Sendo assim, as sugestões desses poucos estudos focados na indústria de revestimentos cerâmicos brasileira são similares aos dos estudos internacionais e dizem respeito ao aumento da eficiência na geração de calor, a redução da perda de material no processo, o aperfeiçoamento dos parâmetros operacionais, a substituição do combustível para fontes mais limpas, a substituição de metais pesados nas composições dos esmaltes. Entretanto, é importante salientar que os dois estudos sobre a indústria brasileira

mencionados acima analisam apenas processo e produtos relacionados à tradicional via úmida e como pode ser claramente visto na Figura 6, os produtos fabricados por via úmida representavam em 2018 apenas 29,5% da produção nacional ao passo que os produzidos por via seca representavam 70,5%. Ou seja, as conclusões resultantes de estudos que não levem em consideração a via seca não podem ser vistas como representativas e aplicáveis a indústria de revestimentos cerâmicos brasileira como um todo.

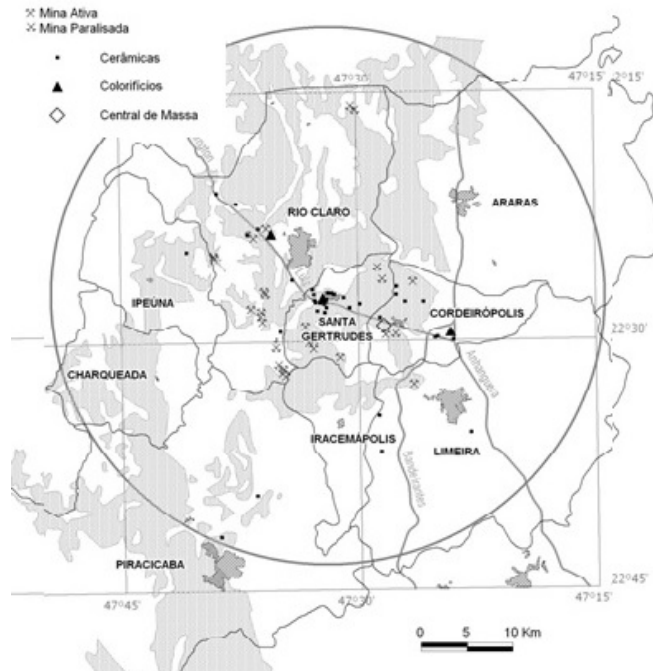
Quando comparadas as duas rotas de fabricação, quanto às emissões de  $\text{CO}_2$ , constata-se que a via seca praticada no Brasil emite à atmosfera quase 50% menos de  $\text{CO}_2$  por tonelada de produto em relação à via úmida [51]. Três fatores determinam esta importante redução:

- A via seca dispensa a etapa de atomização
- Utiliza ciclos de queima mais curtos
- Utiliza matérias-primas com baixos teores de carbonatos (muito presentes nas matérias-primas espanholas e nas formulações de monoporosas)

Outra peculiaridade da indústria brasileira de revestimentos cerâmicos, extremamente importante no que diz respeito aos impactos ambientais causados pela mesma, é o fato de que, como pode ser visto na Figura 7, as jazidas de matérias-primas utilizadas nas massas de via seca, que representam 70,5% da produção nacional, estarem relativamente próximas das unidades fabris, menos de 10 km e no máximo 35 km das fábricas [52], o que reduz consideravelmente o impacto ambiental devido ao transporte das mesmas. Para que se tenha noção da importância disso, retoma-se o estudo recente do polo de Sassuolo, na Itália, que concluiu que o transporte das matérias-primas até as empresas era o fator que mais impactava o meio ambiente. Cabe mencionar que, nesse caso específico, considerável parte das matérias-primas vem de outros países, como a Ucrânia, Turquia, etc. No Brasil, muito embora não se tenha informações sobre a diferença desse fator, distância percorrida pelas matérias-primas até as unidades fabris nas rotas via úmida



**Figura 6.** Variação do volume de revestimentos cerâmicos produzidos no Brasil entre 2014 e 2018 segundo a rota de fabricação, Via Úmida x Via Seca, com as porcentagens que cada rota representava em 2018. [55]



**Figura 7.** Polo de Santa Gertrudes: Perímetro de abrangência e distribuição das principais unidades produtivas. Adaptado de [56].

e seca, na ACV, é evidente que, via-de-regra, as diferenças são bastante consideráveis sendo as distâncias na via seca significativamente menores.

Outra peculiaridade da via seca brasileira é o fato de que as argilas da formação Corumbataí, utilizadas pelo polo de Santa Gertrudes são bastante fundentes, o que possibilita ciclos de queima muito curtos. A característica fundente das matérias-primas também é destacada no processo de via úmida brasileiro, que permite o uso de ciclos de queima mais curtos quando comparado às empresas espanholas [51]. Esta característica se torna ainda mais importante em vista do fato de a grande maioria dos estudos de ACV concluírem que a etapa de queima é a maior responsável pelos impactos ambientais do processo de fabricação de revestimentos cerâmicos.

Em vista do exposto acima pode-se concluir que, no Brasil, as indústrias que fabricam por via seca têm, sob o ponto de vista ambiental, pelo menos três grandes e importantes vantagens em relação à via úmida: 1) a inexistência dos atomizadores, responsáveis por cerca de 39% do consumo de gás natural; 2) a proximidade das jazidas em relação às unidades fabris, peculiaridade do Polo de Santa Gertrudes que não necessariamente se aplica a outras regiões, e 3) ciclos rápidos, devido às características das argilas da formação Corumbataí. Além disso, o consumo de água, e consequente contaminação da mesma, é substancialmente menor na via seca [51,53].

O exposto acima pode dar a falsa impressão de que já temos as respostas e de que não é necessário fazermos estudos de ACV. Entretanto, como ensina o grande mestre da administração moderna, Peter Drucker, “Se não pode medir, não pode gerenciar” [57].

Sem avaliações confiáveis as decisões são tomadas em bases genéricas, o que prejudica consideravelmente a eficácia das ações decorrentes delas. Por isso, países tidos como “mais desenvolvidos” se dedicaram a aplicar a ACV a seus polos cerâmicos e estão se beneficiando disso, ao passo que o Brasil que, como demonstrado tem grandes vantagens no quesito ambiental em relação aos demais produtores que utilizam a via úmida, não capitaliza sobre essa vantagem.

De um modo geral, pode-se dizer que:

- No que se refere a via úmida, é de se esperar que as sugestões resultantes da aplicação da ACV em outros países, como visto acima, sejam apropriadas para nossas indústrias. Entretanto, mesmo a via úmida brasileira tem peculiaridades que justificam estudos voltados para nossas indústrias.
- No que se refere a via seca, em vista das vantagens ambientais dessa rota em relação à via úmida, explicitadas acima, ela deve ser aprimorada e o mais amplamente possível adotada, inclusive para a fabricação de porcelanatos [54].

Considerando que a via seca brasileira é única no mundo, cabe a nós estudarmos e aprimorarmos esse processo para que possamos usufruir cada vez mais das suas vantagens. Nesse sentido, estudos de Avaliação do Ciclo de Vida que leve em consideração todas as peculiaridades das indústrias brasileiras, inclusive os regionalismos, podem descortinar características e possibilidades não discutidas no presente trabalho.

#### 4 Considerações finais

O presente estudo mostrou como a ACV tem sido usada para avaliação ambiental dos revestimentos cerâmicos em diversos países produtores.

Cada estudo tem um escopo particular, entretanto alguns resultados são similares. A etapa de fabricação dos revestimentos cerâmicos é destacada, de maneira geral, como a maior responsável pelos impactos ambientais gerados, sobretudo pela etapa de queima, o que faz com que propostas de melhoria que enfoquem estas etapas mais críticas sejam as mais presentes nas sugestões da literatura e tendem a ser as mais eficientes. Além destas, as matérias-primas utilizadas nos esmaltes também têm destaque significativo na responsabilidade ambiental.

Para além destes resultados, já esperados, os estudos também apontam para outros bem diversos, o que comprova a necessidade de estudos como a ACV. Fica claro ainda como um levantamento bibliográfico pode oferecer uma ótima indicação sobre resultados gerais, comuns a maioria dos casos, mas apenas um estudo específico é capaz de descrever uma realidade particular.

De maneira geral, as sugestões de melhoria ambiental podem ser divididas em três grandes grupos: energia, resíduos e matérias-primas, em ordem de destaque segundo a literatura. O primeiro muito focado nas etapas críticas da secagem por atomização e a queima. Muitas das propostas já foram implementadas em algumas fábricas, mostrando que a setor brasileiro tem se atualizado quanto às questões ambientais, ainda que movido por imposições legislativas e exigências de mercado.

O Brasil, entretanto, tem um cenário produtivo com características muito particulares que o diferem do resto do mundo. Por outro lado, seus escassos estudos de ACV não dão enfoque a essas diferenças, o que caracteriza um potencial ainda inexplorado na compreensão dos aspectos ambientais da indústria cerâmica brasileira. Apesar disso, algumas de suas particularidades como a rota de fabricação por via seca, que elimina a etapa de atomização, e o uso de matérias-primas locais com comportamento mais fundente, as quais permitem reduções no ciclo de queima, podem contribuir para um processo mais ambientalmente amigável.

#### AGRADECIMENTOS

À CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALEXANDRE ANDRÉ FEIL; DUSAN SCHREIBER. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cad. EBAPE.BR**, v. 14, n. 3, p. 667–681, 2017.
- [2] LINDSEY, T. C. Sustainable principles: common values for achieving sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 5, p. 561–565, 1 Mar. 2011.
- [3] GAZZOLA, P.; CAMPO, A. G. DEL; ONYANGO, V. Going green vs going smart for sustainable development: Quo vadis? **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 881–892, 20 Mar. 2019.
- [4] SILVESTRE, B. S.; ȚIRCĂ, D. M. Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 325–332, 20 Jan. 2019.
- [5] MIKULČIĆ, H. et al. Troubleshooting the problems arising from sustainable development. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 52–57, 15 Feb. 2019.
- [6] ASHBY, M. F. **Materials and sustainable development**. 1st Editio ed. [s.l.] Butterworth-Heinemann, 2016.
- [7] WCED - WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [8] GARCÍA-BARRAGÁN, J. F.; EYCKMANS, J.; ROUSSEAU, S. Defining and Measuring the Circular Economy: A Mathematical Approach. **Ecological Economics**, v. 157, p. 369–372, 1 Mar. 2019.
- [9] MILLAR, N.; MCLAUGHLIN, E.; BÖRGER, T. The Circular Economy: Swings and Roundabouts? **Ecological Economics**, v. 158, p. 11–19, 1 Apr. 2019.
- [10] PIERONI, M. P. P.; MCALOONE, T. C.; PIGOSSO, D. C. A. Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 198–216, 1 Apr. 2019.
- [11] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO: 14001. Sistemas de Gestão Ambiental - Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- [12] BOUSTEAD, I. LCA — how it came about. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 1, n. 3, p. 147–150, 1996.
- [13] MARSMANN, M. The ISO 14040 family. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 5, n. 6, p. 317–318, 2000.
- [14] HAUSCHILD, M.; JESWIET, J.; ALTING, L. From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. **CIRP Annals**, v. 54, n. 2, p. 1–21, 1 Jan. 2005.
- [15] EUROPEAN COMMISSION. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance**. First edit ed. Luxembourg: Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability, 2010.
- [16] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA DE REVESTIMENTO. Disponível em <http://www.anfacer.org.br/>: [s.n.].
- [17] CETESB. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo**. [s.l.: s.n.].
- [18] MONFORT, E. ¿Qué papel juegan las baldosas crámicas en la compra verde y edificación sostenible? **Qualicer 2012 - Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico**. **Anais...**Castellón: 2012

- [19] OBATA, S. H. et al. LEED certification as booster for sustainable buildings: Insights for a Brazilian context. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 145, p. 170–178, 1 Jun. 2019.
- [20] SANT'ANNA, D. O. et al. Indoor environmental quality perception and users' satisfaction of conventional and green buildings in Brazil. **Sustainable Cities and Society**, v. 43, p. 95–110, 1 Nov. 2018.
- [21] BOVEA, M. D. et al. Application of life cycle assessment to improve the environmental performance of a ceramic tile packaging system. **Packaging Technology and Science**, v. 19, n. 2, p. 83–95, 2006.
- [22] BOVEA, M. D. et al. Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 12, n. 6, p. 439–447, 2007.
- [23] PINI, M. et al. Life cycle assessment of a large, thin ceramic tile with advantageous technological properties. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, p. 1567–1580, 2014.
- [24] BELUSSI, L. et al. LCA study and testing of a photovoltaic ceramic tile prototype. **Renewable Energy**, v. 74, p. 263–270, 1 Feb. 2015.
- [25] HAN, B. et al. Life cycle assessment of ceramic façade material and its comparative analysis with three other common façade materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 99, p. 86–93, 2015.
- [26] ISO 14040. **Environmental management - life cycle assessment - principles and framework**. Geneva: [s.n.].
- [27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura**. [s.l.: s.n.].
- [28] CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1997.
- [29] BOVEA, M. D. et al. Environmental performance of ceramic tiles: Improvement proposals. **Materials and Design**, v. 31, n. 1, p. 35–41, 2010.
- [30] BENVENISTE, G. et al. Análisis de ciclo de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. El caso de las baldosas cerámicas. **Informes de la Construcción**, v. 63, n. 522, p. 71–81, 2011.
- [31] IBANEZ-FORES, V.; BOVEA, M. D.; SIMO, A. Life cycle assessment of ceramic tiles. Environmental and statistical analysis. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, n. 9, p. 916–928, 2011.
- [32] ROS-DOSDÁ, T. et al. Environmental profile of Spanish porcelain stoneware tiles. **Int J Life Cycle Assess**, v. 23, n. 8, p. 1562–1580, 2018.
- [33] BLUNDO, D. S. et al. Sustainability as source of competitive advantages in mature sectors: the case of Ceramic District of Sassuolo (Italy). **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 8, n. 1, p. 53–79, 2019.
- [34] ALMEIDA, M. I. et al. Environmental profile of ceramic tiles and their potential for improvement. **Journal of Cleaner Production**, v. 131, p. 583–593, 2016.
- [35] YE, L. et al. Life cycle environmental and economic assessment of ceramic tile production: A case study in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 189, p. 432–441, 10 Jul. 2018.
- [36] ROS-DOSDÁ, T. et al. How can the European ceramic tile industry meet the EU's low-carbon targets? A life cycle perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 554–564, 2018.
- [37] FUNDACENTRO. **Manual de controle da poeira no setor de revestimentos cerâmicos - Programa Nacional de Eliminação da Silicose (PNES)**. São Paulo: ASPACER, 2010.
- [38] BALETA, J. et al. Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 1424–1436, 1 Apr. 2019.
- [39] PENTEADO, C. S. G.; CARVALHO, E. V. DE; LINTZ, R. C. C. Reusing ceramic tile polishing waste in paving block manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 514–520, 2016.
- [40] STEINER, L. R.; BERNARDIN, A. M.; PELISSER, F. Effectiveness of ceramic tile polishing residues as supplementary cementitious materials for cement mortars. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 4, p. 30–35, 1 Jul. 2015.
- [41] KARA, Ç.; KARACASU, M. Investigation of waste ceramic tile additive in hot mix asphalt using fuzzy logic approach. **Construction and Building Materials**, v. 141, p. 598–607, 15 Jun. 2017.
- [42] KESHAVARZ, Z.; MOSTOFINEJAD, D. Porcelain and red ceramic wastes used as replacements for coarse aggregate in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 195, p. 218–230, 20 Jan. 2019.
- [43] AMIN, S. K. et al. The use of sewage sludge in the production of ceramic floor tiles. **HBRC Journal**, v. 14, n. 3, p. 309–315, 1 Dec. 2018.
- [44] TARHAN, M.; TARHAN, B.; AYDIN, T. The effects of fine fire clay sanitaryware wastes on ceramic wall tiles. **Ceramics International**, v. 42, n. 15, p. 17110–17115, 15 Nov. 2016.
- [45] KE, S. et al. Recycling of polished tile waste as a main raw material in porcelain tiles. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 238–244, 2015.
- [46] CRISTOFOLETTI, S. R.; MORENO, M. M. Sustentabilidade da Mineração no Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes, São Paulo -Brasil. **Cerâmica Industrial**, v. 16, n. 3, p. 35–42, 2011.
- [47] PENG, J. et al. CO2 Emission Calculation and Reduction Options in Ceramic Tile Manufacture-The Foshan Case. **Energy Procedia**, v. 16, p. 467–476, 2012.
- [48] SOUZA, W. J. V. DE; SCUR, G.; HILSDORF, W. D. C. Eco-innovation practices in the Brazilian ceramic tile industry: The case of the Santa Gertrudes and Criciúma clusters. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 1007–1019, 2018.
- [49] HANSEN, A. P.; SEO, E. S. M.; KULAY, L. A. Identification of environmental performance improvement opportunities in a material ceramics production process by Life Cycle Assessment (LCA) approach applying. **Revista Produção Online**, v. 10, n. 4, p. 912–936, 2010.
- [50] VIEIRA, L. L. DOS S. A. et al. **Avaliação do Ciclo de Vida na indústria cerâmica de revestimento**. VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. **Anais...**2017
- [51] MONFORT, E. et al. Brasil x Espanha: Consumo de Energia Térmica e Emissões de CO2 Envolvidos na Fabricação de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, p. 13–20, 2011.

- [52] MOTTA, J. F. M. et al. Características do Pólo de Revestimentos Cerâmicos de Santa Gertrudes - SP, com ênfase na produção de argilas. **Cerâmica Industrial**, v. 9, n. 1, p. 1–6, 2004.
- [53] MEZQUITA, A. et al. How to reduce energy and water consumption in the preparation of raw materials for ceramic tile manufacturing: Dry versus wet route. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 1566–1570, 2017.
- [54] MELCHIADES, F. G.; DAROS, M. T.; BOSCHI, A. O. Porcelain tiles by the dry route. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, v. 49, n. 4, p. 221–226, 2010.
- [55] ANFACER, Informação obtida através de contato pessoal.
- [56] CABRAL, M. et al. Potencial das Reservas de Argila para o Suprimento do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes - SP: Onde o Recurso Mineral faz a Diferença. **Cerâmica Industrial**, v. 18, n. 2, p. 10-16, 2013
- [57] Drucker, Peter - *The Effective Executive*, 2009, Ed. Harper Collins