

## Avaliação do Ciclo de Vida de materiais cimentícios utilizados no Brasil: estudo para argamassas, graute e bloco de concreto

Análisis de Ciclo de Vida para evaluar materiales cementantes utilizados en Brasil: estudio para morteros, graute y bloque de hormigón

Life Cycle Assessment of cementitious materials used in Brazil: study for mortars, grout and concrete block

---

Submetido em 24 de janeiro 2018

Aceito em 08 de abril 2019

Disponível em 22 de maio 2019

Lucas Rosse Caldas\*

Romildo Dias Toledo Filho\*\*

---

\*Programa de Engenharia Civil (PEC/COPPE/UFRJ)

*lrc.ambiental@gmail.com*

\*\*Universidade Federal do Rio de Janeiro

Programa de Engenharia Civil (PEC/COPPE/UFRJ)

### Resumo

*É comum nos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicados ao setor da construção civil a falta de dados condizentes com a realidade do Brasil. Sabendo que existem diferentes materiais cimentícios, entre eles argamassas, blocos de vedação e blocos estruturais, faz-se necessário ter um banco de dados mais apropriado às misturas utilizadas no país, que facilite a quantificação de seus impactos ambientais. Neste contexto, esta pesquisa apresentou os impactos ambientais, segundo o método CML-IA baseline, dos principais materiais cimentícios utilizados no Brasil, entre eles: argamassas simples para chapisco, argamassas mistas para assentamento e revestimento, graute para alvenaria estrutural e blocos de concreto. Para isto, foram utilizadas as normas NBR ISO 14040:2009 e 14044:2009 em conjunto com as normas europeias EN 15978:2011 and EN 15804:2012. O inventário foi realizado a partir de dados coletados no Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil (Sinapi) e estudos voltados para a realidade brasileira em conjunto com o banco de dados do Ecoinvent 3. Ao final é apresentado o perfil ambiental dos materiais cimentícios avaliados e uma tabela resumo que mostra os impactos ambientais desses materiais. As argamassas avaliadas foram comparadas com*

*uma argamassa do banco de dados do Ecoinvent, resultando em valores discrepantes. O estudo traz importante contribuição para a difusão da ACV no setor da construção civil brasileira, especificamente para o setor de cimento e seus produtos. Os resultados de AICV apresentados aqui poderão ser utilizados em outros estudos de ACV, facilitando o processo e ao mesmo tempo estarem alinhados com a realidade internacional, que também faz uso da normativa europeia utilizada nesta pesquisa.*

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Materiais cimentícios. Argamassas. Graute. Bloco de concreto.

## Resumen

*En los estudios de Análisis de Ciclo De Vida (ACV) aplicados al sector de la construcción civil, usualmente se percibe la falta de datos que se ajusten con la realidad de Brasil. Conociendo la existencia de varios materiales cementantes como son morteros, bloques de cierre, bloques estructurales, existe la necesidad de contar con un banco de datos más apropiado con los diseños de mezclas utilizados en el país, que facilite cuantificar sus impactos ambientales. En este contexto la presente investigación evalúa impactos ambientales según el método de CML-IA baseline, de los principales materiales cementantes utilizados en Brasil, entre ellos: morteros simples para resano, morteros mixtos de asentamiento y revestimiento, grout para albañilería estructural y bloques de hormigón. Para este fin fueron utilizadas las normas brasileiras NBR ISO 14040:2009 y 14044:2009 en conjunto con las normas europeas EN 15978:2011 y EN 15804:2012. El inventario fue realizado a partir de datos colectados por el Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) y estudios volcados para la realidad brasileira conjuntamente con el banco de datos Ecoinvent 3. Al final se presentan perfiles ambientales de los materiales cementantes evaluados y una tabla resumiendo los impactos ambientales de estos materiales. Fueron comparados los morteros evaluados con los morteros del banco de datos Ecoinvent, resultando en valores discrepantes. El presente estudio tuvo una importante contribución en la difusión de ACV en el sector de la construcción Civil Brasileira, especialmente para el sector de la industria del cemento y sus productos, los resultados de AICV presentado aquí podrán ser utilizados en otros estudios de ACV, facilitando el proceso y de igual forma alineados con el paradigma internacional, que igualmente utilizan las normas europeas, que fueron referencia para evaluar los materiales en este estudio.*

**Palabras-chaves:** Analysis do Ciclo de Vida (ACV). Materiales cementantes. Morteiros. Grout. Bloque de hormigón.

## Abstract

*It is common in Life Cycle Assessment (LCA) studies applied to the building sector the absence of reliable data for the Brazilian context. In Brazil, there are different cementitious materials, such as mortars, partition and structural blocks. Moreover, it is necessary to have a more appropriate database to the mixtures used in the country, which it will facilitates the quantification of its environmental impacts. In this context, this research presented the environmental impacts, according to the CML-IA baseline method, of the main cementitious materials used in Brazil, among them: simple mortars for roughcast, mixed mortars for plastering and covering, grout and concrete blocks for structural masonry. The standards NBR ISO 14040: 2009 and 14044: 2009 were used together with the European standards EN 15978: 2011 and EN 15804: 2012. The inventory was carried out from data collected in SINAPI and studies developed for the Brazilian reality combining with the Ecoinvent 3 database. In the end, the environmental profile of the evaluated cementitious materials and a summary table were presented. The evaluated mortars were compared with a mortar from the Ecoinvent database, which resulted in discrepant values. This study makes an important contribution to the diffusion of LCA in the Brazilian building sector, specifically for the cement sector and its products. The LCIA results presented here may be used in other LCA studies. This approach will facilitate the process and at the same time is aligned with the international context, which also uses the European normative used in this research.*

**Keywords:** *Life Cycle Assessment (LCA). Cementitious materials. Mortars. Grout. Concrete block.*

## 1. Introdução

No Brasil, o sistema construtivo de alvenaria, principalmente de blocos cerâmicos ou de concreto, é o mais utilizado nas edificações. Seu revestimento é realizado com camadas de argamassa, sendo as mais comuns o chapisco e camada única, como aponta Carasek (2010). O revestimento argamassado tem funções importantes no desempenho das edificações, entre eles a melhoria do conforto térmico e acústico, estanqueidade e durabilidade.

As argamassas utilizadas nessas camadas possuem diferentes composições, sendo que a argamassa empregada em um chapisco convencional é composta por cimento, areia e água, enquanto na camada única (também chamado de

reboco paulista) utiliza-se a chamada argamassa mista, que além de cimento, areia e água, emprega a cal hidratada (YAZIGI, 2016).

Sabe-se que na produção desses materiais cimentícios são gerados impactos ambientais durante as etapas de extração e produção das matérias primas, transporte e processamento. Esses materiais devem merecer atenção especial tendo em vista que um dos insumos utilizados em sua produção é o cimento Portland. Ele é o material artificial mais consumido no mundo, sendo apontado como responsável por 5% das emissões antrópicas globais de CO<sub>2</sub>, e, consequentemente tendo grande influência para as questões das mudanças climáticas (WBCS, 2009).

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem despertado interesse nos últimos anos, inclusive no setor da construção civil brasileira, por conseguir quantificar e avaliar potenciais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos materiais e edificações.

Embora a ACV e Declarações Ambientais de Produto (DAPs) já estejam difundidas no setor da construção civil em países europeus (GELOWITZ; MCARTHUR, 2017), o Brasil ainda se encontra em estágio embrionário. Alguns produtos, como cimento, e materiais cimentícios como concreto e argamassa colante, já possuem seus respectivos DAPs (INTERNATIONAL EPD SYSTEM, 2019?). No entanto, como já discutido anteriormente, as argamassas utilizadas em revestimentos e no caso o graute, que têm seu uso bastante frequente na construção civil brasileira, não possuem dados de seus impactos ambientais.

Na literatura científica os estudos de ACV aplicados a materiais e sistemas construtivos está cada vez mais em evidência, como salientam Cabeza et al. (2014) e Anand e Amor (2017). Condeixa et al. (2014) avaliaram os impactos ambientais de fechamentos internos de alvenaria para o contexto brasileiro. Saade et al. (2014) avaliaram os impactos ambientais para diferentes materiais de construção civil, adaptando um banco de dados internacionais para o contexto do Brasil. Bueno et al. (2016) investigaram que diferentes métodos de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida geram diferenças consideráveis nos

impactos ambientais de alguns sistemas construtivos utilizados no Brasil.

Silva et al. (2016) compararam diferentes procedimentos para a estimativa de incertezas em estudos de ACV utilizando como estudo de caso a produção de blocos cerâmicos. Os autores sugerem duas alternativas para reduzir as incertezas nos estudos de ACV: realizar análise de sensibilidade dos parâmetros que mais afetam os resultados finais e utilizar o método proposto pela base de dados Ecoinvent, utilizando a Anova dos resultados obtidos. Souza et al. (2016) verificaram menores impactos ambientais do sistema de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos, quando comparada a sistemas construtivos de concreto.

Caldas e Sposto (2017) concluíram que as distâncias de transporte podem impactar de forma significativa as emissões de CO<sub>2</sub> de blocos utilizados em alvenaria estrutural no Brasil. Caldas et al. (2017) verificaram que diferentes zonas bioclimáticas brasileiras impactam significativamente nos impactos ambientais do ciclo de vida de habitações de alvenaria estrutural e painéis pré-moldados de concreto.

A partir dos estudos avaliados, principalmente aqueles voltados para o contexto brasileiro, observou-se que muitos aplicam a ACV para a comparação de materiais ou sistemas construtivos mais utilizados no país, quase sempre relacionado a blocos cerâmicos, de concreto e em alguns casos a argamassa. No entanto, nenhum deles detalha, em termos de impactos ambientais, os diferentes materiais cimentícios comumente utilizados nesses sistemas.

Em muitos estudos são utilizados dados de bancos de dados internacionais, como por exemplo o suíço Ecoinvent, que até possui argamassas, no entanto, com composição bastante diferente das utilizadas no Brasil. Nesse sentido, faz-se necessário urgentemente um estudo que apresente os impactos ambientais desses materiais, de forma alinhada, em termos metodológicos, com o que vem sendo desenvolvido no contexto internacional. Tendo em vista que são materiais básicos e frequentemente empregados na construção civil nacional, a ACV desses materiais cimentícios tem importante justificativa, pois posteriormente, servirá de referência para consulta de pesquisadores e

profissionais que trabalhem com ACV aplicada ao setor da construção civil brasileira.

A partir do que foi discutido, o presente estudo tem como objetivo a aplicação da metodologia de ACV para a quantificação dos impactos ambientais dos materiais cimentícios mais utilizados no Brasil para a execução de sistemas de alvenaria de blocos de concreto, com o intuito de disponibilizar a outros pesquisadores da área o perfil ambiental desses materiais.

Os materiais de argamassa foram comparados com as argamassas presentes no banco de dados do Ecoinvent v.3.3, a fim de saber as diferenças existentes e verificar quais das misturas avaliadas mais se aproxima da existente no banco de dados.

## **2. Metodologia**

### ***2.1. Definição do objetivo, escopo e unidade funcional***

O objetivo do estudo consistiu na avaliação dos impactos ambientais de diferentes materiais cimentícios utilizados frequentemente no sistema construtivo de alvenaria no Brasil. Materiais cimentícios são aqueles que possuem o cimento Portland como um de seus constituintes, entre eles pastas, argamassas, concretos, grautes, blocos, pavimentos, entre outros. Dentre eles, foram avaliados os seguintes materiais:

- argamassa simples 1:3 (em volume) para chapisco;
- argamassa simples 1:5 (em volume) para chapisco;
- argamassa mista traço 1:2:9 (em volume) para camada única;
- argamassa mista traço 1:3:12 (em volume) para camada única;
- graute para alvenaria estrutural;
- blocos de concreto estrutural.

Carasek (2010) define as argamassas como materiais de construção que possuem propriedades no estado fresco e endurecido, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes (normalmente cimento e cal), agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais. Foi adotada a nomenclatura utilizada por Carasek (2010), de argamassas simples (com somente um ligante, nesse caso o cimento Portland) e argamassas mistas (com mais de um ligante, cimento Portland e cal hidratada).

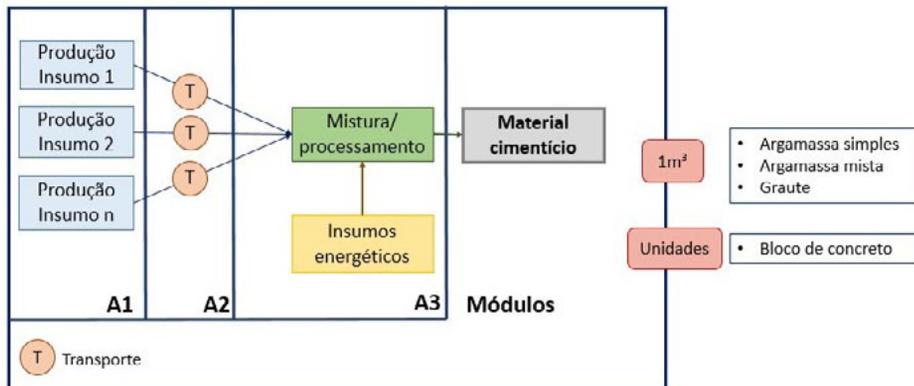
A classificação do graute como argamassa ou microconcreto ainda é um tema polêmico no meio técnico, como destaca Neto (2017), devido as suas características e composição. No entanto, neste estudo ele foi considerado como um tipo de argamassa (em termos de classificação).

As normas EN 15978 (CEN, 2011) e EN 15804 (CEN, 2012) foram desenvolvidas na Comunidade Europeia com o objetivo de padronizar a aplicação da ACV no setor da construção civil (CALDAS et al., 2017). No presente estudo elas foram adotadas, sendo que o escopo é conhecido como “berço ao portão com opções” e os seguintes estágios do ciclo de vida foram considerados: produção dos insumos (A1) transporte dos insumos (A2) e processamento (A3).

Foram escolhidas duas unidades funcionais, a primeira em volume, em “m<sup>3</sup>”, para as argamassas, nesse caso as argamassas simples, argamassas mistas e graute. Na segunda, para o bloco de concreto, o processo foi quantificado com base em “unidades de blocos”. As unidades funcionais foram escolhidas para retratar as unidades normalmente usadas para a especificação desses materiais, o que facilita a quantificação em futuros estudos e até mesmo projetos reais de edificações.

Na figura 1 são resumidos o escopo, etapas consideradas e as unidades funcionais escolhidas.

**Figura 1: Resumo do escopo, etapas e unidades funcionais**



## 2.2. Análise de inventário do ciclo de vida

Para as etapas A1 e A3, a quantificação dos insumos materiais e energéticos para a produção de argamassa simples, argamassas mistas e graute foi realizada a partir dos dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (Sinapi), que estabelece regras e critérios para elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com recursos dos orçamentos da União (CAIXA, 2018). Foram utilizados os Cadernos Técnicos de composições para Argamassas e Grautes (SINAPI, 2017).

O uso do banco de dados do SINAPI em conjunto com a ACV, para a avaliação dos impactos ambientais dos principais materiais de construção utilizados no país já foi discutido por Caldas et al. (2016), mostrando ser uma metodologia interessante e viável para o setor da construção civil brasileira.

Para o bloco de concreto foi utilizado o inventário realizado por Souza et al. (2016).

Para a etapa A2 foram adotadas distâncias de transporte de 400 km para o cimento, cal hidratada e fíler calcário e 100 km para areia, brita e argila. Para materiais mais industrializados foi adotada maior distância, enquanto para os agregados menor distância, tendo em vista que as fábricas de produção são

mais pontuais, enquanto locais de extração de agregados tendem a ser mais fáceis de serem encontrados.

Como limitações do estudo, não foram diferenciadas as diferentes granulometrias das areias e britas utilizadas nos materiais, devido à falta de dados existentes, e para as argamassas mistas não foi considerada a captura de CO<sub>2</sub> pela carbonatação da cal, que é um ligante aéreo.

Como o Brasil possui um banco de dados ainda pouco consolidado para o setor da construção civil, foi utilizado o banco de dados internacional Ecoinvent v. 3.3. É importante ressaltar que, para o cimento, foi possível utilizar a Declaração Ambiental de Produto (DAP) da Votorantim Cimentos (Votorantim, 2016), o que possibilitou a utilização do tipo de cimento mais adequado para cada aplicação, como CII-E40 para a produção de argamassa simples, mistas e grautes e CPV-ARI para a produção dos blocos de concreto.

Os quantitativos e datasets extraídos do Ecoinvent e DAPs estão apresentados na tabela 1.

**Tabela 1: Inventário utilizado no estudo**

Insumos	Quantidade	Datasets
Produção argamassa simples 1:3 (m <sup>3</sup> )		
Cimento (kg)	405,8	EPD Votorantim Cement CII-E40
Areia (kg)	1590,0	Sand {RoW} gravel and quarry operation
Eletricidade para mistura (kWh)	9,6	Electricity, high voltage {BR} market for
Transporte materiais (t.km)	321,3	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {GLO} market for
Produção argamassa simples 1:5 (m <sup>3</sup> )		
Cimento (kg)	273,5	EPD Votorantim Cement CII-E40
Areia (kg)	1785,0	Sand {RoW} gravel and quarry operation
Eletricidade para mistura (kWh)	9,5	Electricity, high voltage {BR} market for
Transporte materiais (t.km)	287,9	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {GLO} market for
Produção argamassa mista 1:2:9 (m <sup>3</sup> )		
Cimento (kg)	169,0	EPD Votorantim Cement CII-E40
Areia (kg)	1995,0	Sand {RoW} gravel and quarry operation
Cal hidratada (kg)	177,1	Lime, hydrated, packed {RoW} production

**(Continua)**

**Tabela 1: conclusão**

Eletricidade para mistura (kWh)	10,2	Electricity, high voltage {BR}  market for
Transporte materiais (t.km)	338,0	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {GLO}  market for
Produção argamassa mista 1:3:12 (m <sup>3</sup> )		
Cimento (kg)	126,9	EPD Votorantim Cement CPII-E40
Areia (kg)	1980,0	Sand {RoW}  gravel and quarry operation
Cal hidratada (kg)	198,7	Lime, hydrated, packed {RoW}  production
Eletricidade para mistura (kWh)	12,4	Electricity, high voltage {BR}  market for
Transporte materiais (t.km)	328,2	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {GLO}  market for
Produção graute (m <sup>3</sup> )		
Cimento (kg)	355,9	EPD Votorantim Cement CPII-E40
Cal hidratada (kg)	12,8	Lime, hydrated, packed {RoW}  production
Areia (kg)	840,0	Sand {RoW}  gravel and quarry operation
Pedrisco (kg)	952,0	Gravel, round {RoW}  gravel and sand quarry operation
Eletricidade para mistura (kWh)	6,4	Electricity, high voltage {BR}  market for
Transporte materiais (t.km)	326,7	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {GLO}  market for
Produção bloco de concreto (unidade) <sup>1</sup>		
Cimento (kg)	1,4	EPD Votorantim Cement CPV-ARI
Areia (kg)	8,8	Sand {RoW}  gravel and quarry operation
Filer calcário (kg)	1,9	Limestone, crushed, for mill {RoW}  production
Argila (kg)	0,7	Clay {RoW}  clay pit operation
Eletricidade no processo (kWh)	0,0	Electricity, high voltage {BR}  market for
Diesel no processo (MJ)	0,2	Diesel, burned in building machine {GLO}  market for
Transporte materiais (t.km)	2,4	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {GLO}  market for

<sup>1</sup> Foram adotadas perdas de 5%, o mesmo valor adotado por Souza et al. (2016).

### **2.3. Avaliação de impacto ambiental do ciclo de vida**

O método de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) CML (do Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, Países Baixos), linha de base IA, versão 3.03, foi escolhido neste estudo.

Foram consideradas as seguintes categorias de impacto ambiental: potencial de aquecimento global (GWP100), redução da camada de ozônio

(ODP), acidificação (AP), eutrofização (EP), potencial de oxidação fotoquímica (POCP), depleção abiótica (elementos (ADP-e) e combustíveis fósseis (ADP-ff), de acordo com a EN 15978 (CEN, 2011) e EN 15804 (CEN, 2012).

Ao final, os impactos ambientais dos principais materiais cimentícios são resumidos em uma tabela, em que são apresentados os impactos de diferentes tipos de cimento, concreto fck 30 MPa e argamassa colante, que foram retirados de suas respectivas DAPs em conjunto com os materiais avaliados nesta pesquisa.

#### ***2.4. Aplicação em um sistema de vedação vertical***

Nesta etapa foi utilizada a tabela de composição do Sinapi para a produção de 1m<sup>2</sup> de alvenaria de blocos de concreto estruturais de 14x19x39 cm, com juntas de assentamento de 1cm, considerando uma janela de 0,6x0,6 acabada. Para as camadas de revestimento foram adotadas espessuras de chapisco de 5 mm (internamente e externamente) com aplicação de argamassa simples com traço 1:3 (em volume), e 20 mm de camada única (internamente) e 25 mm (externamente), com argamassa mista com traço 1:2:9 (em volume). A quantificação dos blocos foi feita por unidades de blocos e as argamassas em m<sup>3</sup>, ficando compatíveis com as unidades funcionais escolhidas. O banco de dados do Sinapi já traz as perdas embutidas, enquanto para os revestimentos foram adotadas perdas de 10% durante a sua execução.

O objetivo desta etapa foi saber quais os materiais que mais contribuem, em termos de impactos ambientais, quando a vedação vertical é avaliada.

#### ***2.5. Comparação com argamassa da base de dados do Ecoinvent***

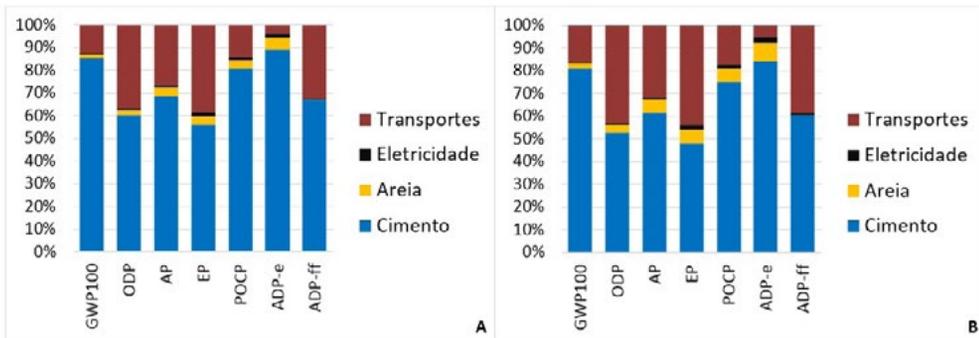
Os resultados das argamassas avaliadas, argamassa simples 1:3, argamassa simples 1:5, argamassa mista 1:2:9, argamassa mista 1:3:12 e graute foram comparados com a argamassa de cimento disponível no banco de dados do Ecoinvent v. 3.3: Cement mortar {RoW} | production | Alloc Def, U.

### 3. Resultados e Discussão

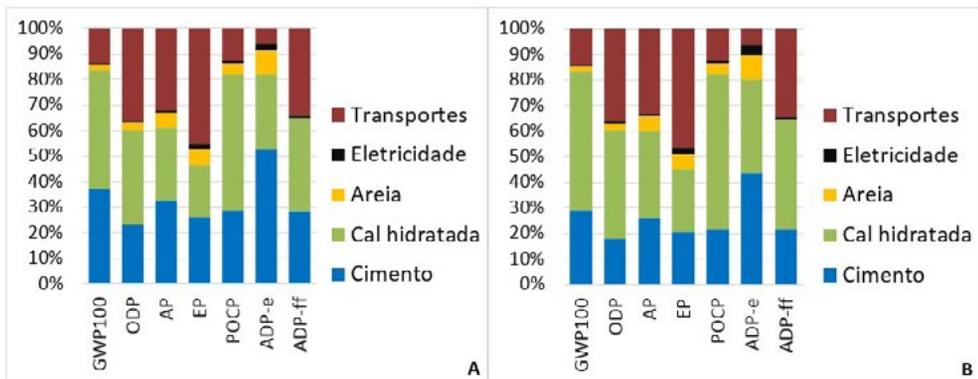
#### 3.1. Perfil ambiental dos materiais cimentícios avaliados

Nas figuras 2, 3, 4 e 5 são apresentados os perfis ambientais dos materiais avaliados.

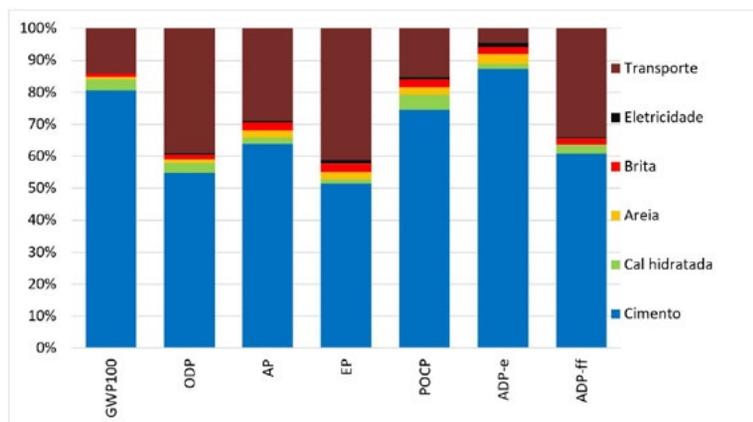
**Figura 2: Perfil ambiental para a produção de argamassas simples. (A) Traço 1:3; (B) Traço 1:5**



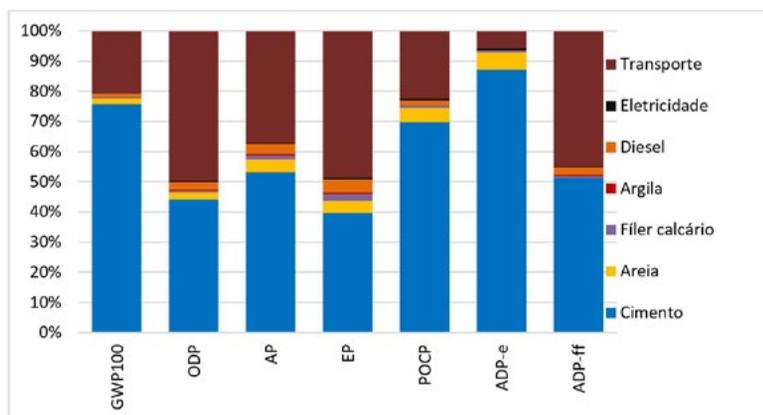
**Figura 3: Perfil ambiental para a produção de argamassas mistas. (A) Traço 1:2:9; (B) Traço 1:3:12**



**Figura 4: Perfil ambiental para a produção de graute**



**Figura 5: Perfil ambiental para a produção de bloco de concreto**



É possível observar que em termos dos insumos utilizados, o cimento é o de maior impacto ambiental na produção de quase todos os materiais avaliados (a não ser para as argamassas mistas) e em quase todas as categorias de impactos ambientais, com destaque para a de GWP 100. Sabe-se parte considerável dos impactos do cimento está relacionada à produção do clínquer, que tem quase 50% das emissões advindas da calcinação do carbonato de cálcio e o restante da queima de combustíveis fósseis, como o coque de petróleo (WBCS, 2009).

Logo, o aumento do consumo de cimento leva ao aumento dos impactos ambientais dos materiais cimentícios, no entanto, em contrapartida, resulta no aumento da resistência mecânica e durabilidade. Nesse sentido, é importante primeiro saber onde o material será utilizado, por exemplo, espera-se que uma argamassa de revestimento empregada em uma fachada seja mais durável e resistente que uma argamassa usada internamente. Sobre esse aspecto, Brás e Faria (2017) verificaram, para a realidade de Portugal, que argamassas de cimento, que aparentemente apresentam elevados impactos ambientais na sua produção, acabam por resultar em menores impactos no ciclo de vida, já que tendem a ser mais duráveis e nesse caso precisariam de menores reposições.

Outro ponto que merece destaque foi a possibilidade de utilizar no inventário deste estudo os diferentes tipos de cimento produzidos no Brasil, o que traz significativo avanço nas pesquisas de ACV para materiais cimentícios. Tem-se em vista que há considerável diferença entre os impactos ambientais do CPV-ARI em relação a cimentos compostos como CPII, CPIII e CPIV, o que refletirá no resultado final dos materiais cimentícios. No primeiro cimento, há um maior teor de clínquer e menores tamanhos de grãos, o que faz seu processo de produção ser mais danoso ambientalmente que cimentos que utilizem adições minerais, como filers, escórias e cinza volante. Por tanto, se o mesmo cimento fosse considerado, os resultados estariam mais distantes da realidade.

Conclui-se que uma medida mais efetiva para a redução dos impactos ambientais de todos os materiais, incluindo as argamassas mistas, seria a redução do consumo de cimento (levando em consideração resistência mecânica e durabilidade) e a utilização de cimentos compostos (com menor teor de clínquer), como CPIII ou CPIV. Por outro lado, como apontam Oliveira et al. (2014), a disponibilidade de CPIII e CPIV pode não ser suficiente para a demanda de produção de materiais cimentícios que existem no Brasil, devido a uma limitação por fatores geográficos (que inviabiliza o transporte) ou da capacidade de produção das adições minerais utilizadas, cinza volante e escória

de alto forno. Assim, a substituição do cimento CII de uma argamassa pode ter apenas um efeito pontual, pois pensando em nível global, essa redução não é legítima pois outras argamassas irão utilizar um cimento mais impactante devido à disponibilidade e custos de aquisição dos cimentos CIII e CIV.

A cal hidratada também exerce influência nos impactos ambientais das argamassas mistas, principalmente nas categorias de GWP100, AP, POCP e ADP-ff. Como tem um consumo em massa, em relação ao cimento, que ultrapassa 50% para a argamassa 1:3:12, somado aos elevados impactos ambientais de sua produção, resulta em maior participação, principalmente para essa argamassa mista, na qual há maior proporção de cal na mistura. Grande parte dos impactos da produção de cal está relacionada à obtenção da cal aérea, que ocorre pela calcinação do carbonato de cálcio em altas temperaturas. Cirilo e Melo (2018) também verificaram que a cal hidratada é um dos materiais que mais contribuem para o potencial de mudanças climáticas. É importante ressaltar que o estudo se restringiu somente à etapa de produção das argamassas, e que as argamassas mistas, que possuem cal hidratada em sua composição, sofrem o processo de carbonatação (reação do  $\text{CO}_2$  atmosférico com hidróxido de cálcio presente na argamassa para formação de carbonato de cálcio) de forma mais acentuada durante seu ciclo de vida, já que a cal é um ligante aéreo, o que faz que o impacto de GWP100 possa ser minimizado, como apontam Zhang et al. (2017).

Para a produção de areia brita (agregados), os impactos ambientais gerados são resultados da extração do material nas pedreiras, que utilizam normalmente maquinário a diesel. Embora o consumo de material, principalmente a areia, seja elevado em relação à proporção de ligantes na mistura, eles resultam em baixos impactos ambientais por não necessitarem de processamento intensivo. A categoria de impacto que tem maior participação dos agregados é a de ADP-e, que mede a relação entre o consumo e disponibilidade. No entanto, de acordo com Silva et al. (2018), essa é uma das categorias de impacto ambiental de grande incerteza, dado que a disponibilidade de muitos

recursos minerais utilizados no setor da construção civil (areia, filer, etc.) seja considerada abundante, com larga disponibilidade global, no entanto, pode ter sua disponibilidade local comprometida.

A eletricidade mostrou participação quase que desprezível para a produção da maioria dos materiais, devido principalmente ao fato de ser considerado somente para a mistura dos materiais e o Brasil ter uma geração com participação majoritária de fontes renováveis, como a hidráulica. Outros autores já constaram essa pequena participação da eletricidade, como Caldas et al. (2016) e Cirilo e Melo (2018).

A etapa de transporte se mostrou impactante principalmente para as categorias de EP, ODP e ADP-ff, resultado da queima de diesel como combustível. Lembrando que os resultados de transporte sofrem forte influência das distâncias de transporte adotadas, e que para melhor avaliação seria necessária uma análise de sensibilidade.

Na tabela 2 é apresentado um resumo dos resultados dos impactos ambientais dos principais materiais cimentícios utilizados no Brasil.

**Tabela 2: Resumo dos impactos ambientais dos principais materiais cimentícios utilizados no Brasil**

Materiais	GWP100	ODP	AP	EP	POCP	ADP-e	ADP-ff
Cimento CII-E40* (t)	7,87E+02	3,64E-05	1,50E+00	1,72E-01	1,08E-01	5,96E-05	3,84E+03
Cimento CIII-40 RS* (t)	4,13E+02	2,21E-05	7,96E-01	1,00E-01	5,67E-02	6,69E-05	2,41E+03
Cimento CPV-ARI* (t)	9,17E+02	4,26E-05	1,79E+00	2,08E-01	1,25E-01	8,80E-05	4,53E+03
Concreto** fck 30 MPa (m <sup>3</sup> )	1,94E+02	1,35E-05	5,66E-01	1,05E-01	3,30E-02	1,20E-04	1,38E+03
Argamassa colante*** (t)	1,58E+02	1,17E-05	3,58E-01	6,38E-02	2,31E-02	9,24E-05	1,13E+03
Argamassa simples 1:3 (m <sup>3</sup> )	3,74E+02	2,45E-05	8,88E-01	1,25E-01	5,43E-02	2,72E-05	2,32E+03
Argamassa simples 1:5 (m <sup>3</sup> )	2,65E+02	1,89E-05	6,69E-01	9,79E-02	3,95E-02	1,93E-05	1,74E+03
Argamassa mista 1:2:9 (m <sup>3</sup> )	3,57E+02	2,63E-05	7,77E-01	1,11E-01	6,39E-02	1,91E-05	2,30E+03

**(Continua)**

**Tabela 2: conclusão**

Argamassa mista 1:3:12 (m <sup>3</sup> )	3,42E+02	2,57E-05	7,35E-01	1,06E-01	6,34E-02	1,74E-05	2,22E+03
Graute (m <sup>3</sup> )	3,47E+02	2,36E-05	8,35E-01	1,19E-01	5,16E-02	2,43E-05	2,25E+03
Bloco de concreto (unidade de bloco)	1,66E+00	1,25E-07	4,38E-03	6,64E-04	2,41E-04	1,39E-07	1,15E+01

\* DAP Cimentos (VOTORANTIM CIMENTOS, 2016b).

\*\* DAP Concreto fck 30 MPa (VOTORANTIM CIMENTOS, 2016c).

\*\*\* DAP Argamassa colante (VOTORANTIM CIMENTOS, 2016a).

Os valores apresentados podem ser utilizados diretamente em outros estudos ou trabalhos técnicos relacionados à ACV e construção civil, sendo que esses são resultados mais próximos para a realidade brasileira, segundo as premissas adotadas no estudo. O usuário ainda tem opção de escolher o tipo de cimento que será utilizado e diferentes tipos de argamassas simples para chapisco e argamassas mistas, dando maior flexibilidade ao usuário e possibilitando a sua aplicação em maior quantidade de projetos. Vale ressaltar que o método de AICV e as categorias de impacto ambiental escolhidas são aquelas recomendadas pelas normativas europeias, o que faz esses resultados estarem alinhados com o que vem sendo utilizado internacionalmente.

É importante destacar também que embora o estudo tenha o objetivo de apresentar resultados válidos para a realidade brasileira, foram utilizados os dados do Ecoinvent para muitos dos insumos, como areia, cal, brita e argila. Embora esse ponto ainda seja uma limitação, os resultados aqui exibidos conseguem preencher uma lacuna em relação aos estudos existentes, pois o cimento, material responsável pela maior parte dos impactos ambientais, foi retirado de uma DAP mais adequada à realidade brasileira.

Vale ressaltar que uma limitação das DAPs está no fato de normalmente não apresentarem ou discutirem qual a contribuição dos processos ou

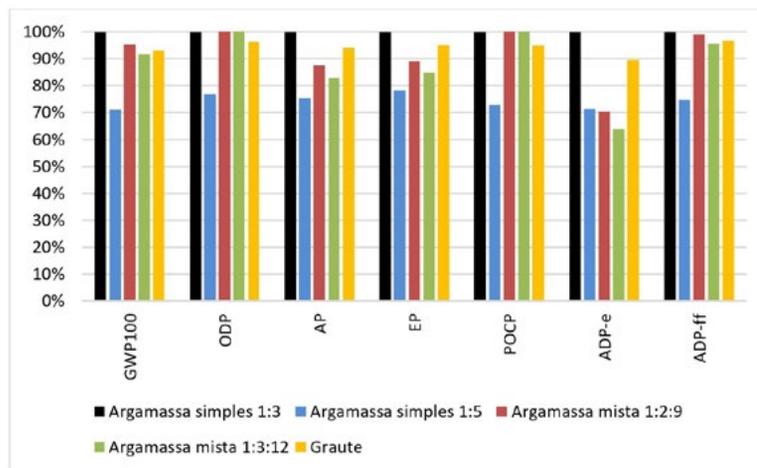
materiais para as categorias de impacto avaliadas, o que pode dificultar uma interpretação mais detalhada.

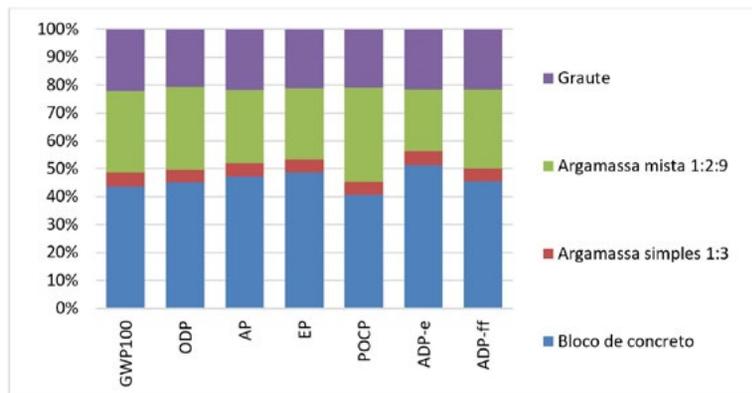
Atualmente foram inventariados alguns insumos básicos utilizados nas argamassas como diferentes tipos de cimento Portland e agregados (IBICT, 2019), o que deve solucionar a limitação das DAPs desses materiais. Para futuros trabalhos, novas avaliações podem ser realizadas utilizando esses dados para ver até que ponto os resultados serão diferentes.

### ***3.2. Comparação das argamassas e aplicação em um sistema de vedação vertical***

Na figura 6 as argamassas avaliadas foram comparadas, e na figura 7 são apresentados os impactos em relação à vedação vertical.

***Figura 6: Comparação das argamassas avaliadas. Resultados normalizados pela argamassa simples 1:3***



**Figura 7: Perfil ambiental para 1m<sup>2</sup> de vedação vertical**

O bloco de concreto foi o material de maior impacto para a vedação vertical, composta somente de materiais cimentícios. Embora a argamassa simples para chapisco seja o material de maior impacto ambiental (para a maioria das categorias), ela é o que apresenta menor participação quando 1 m<sup>2</sup> de vedação vertical é considerado, já que é utilizada em pouca quantidade (espessura adotada de 5 mm). A argamassa mista de cimento e cal é utilizada como revestimento e assentamento dos blocos, com um consumo de material superior ao do chapisco. Souza et al. (2016) avaliaram os impactos ambientais de um sistema de alvenaria de blocos de concreto revestida com argamassa e também verificaram que os blocos de concreto são os materiais mais impactantes, seguidos das argamassas de revestimento, indo ao encontro dos resultados deste estudo.

Destaca-se que a comparação entre as diferentes argamassas tem fim somente quantitativo, já que são argamassas para aplicações diferentes. É importante ressaltar que o processo de execução de alvenaria no Brasil ainda é pouco racional, o que leva a perdas de material, como por exemplo quebra de blocos e desperdício de argamassa. Perdas levam ao aumento de consumo de material e consequentemente maiores impactos ambientais.

Algumas pesquisas têm avaliado outros tipos de argamassas, como Cirilo e Melo (2018), que compararam os impactos ambientais de argamassas industrializadas e produzidas em obra, mostrando que as primeiras conseguem reduzir significativamente os aspectos ambientais de consumo de água, energia e emissões de gases de efeito estufa. Essa redução se deu principalmente devido à maior eficiência de produção em uma indústria em relação ao que ocorre normalmente em obras.

Albuquerque, Lira e Sposto (2018), entretanto, já olharam para o processo de execução e constataram que o revestimento de reboco projetado apresentou menores emissões de CO<sub>2</sub> que o processo convencional, com diferença de 50%. Embora haja gasto energético pela utilização de equipamentos de projeção, há redução do consumo de material e conseqüentemente das emissões associadas. Caldas et al. (2016) avaliaram diferentes misturas de chapisco e verificaram que o processo que emprega rolo e chapisco industrializado é o de menor emissões de CO<sub>2</sub>.

Outros estudos estão avaliando argamassas com o emprego de materiais alternativos, normalmente resíduos oriundos de outros processos produtivos. Leite et al. (2018) avaliaram o uso resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais, em substituição à areia, enquanto De Paula et al. (2018) verificaram a substituição de cimento Portland por resíduos de cerâmica vermelha. Como o cimento é um dos materiais mais impactantes para a produção de argamassas (que também foi verificado neste estudo) a sua substituição é muito mais eficaz para a redução da maioria de impactos ambientais que, por exemplo, a substituição de areia.

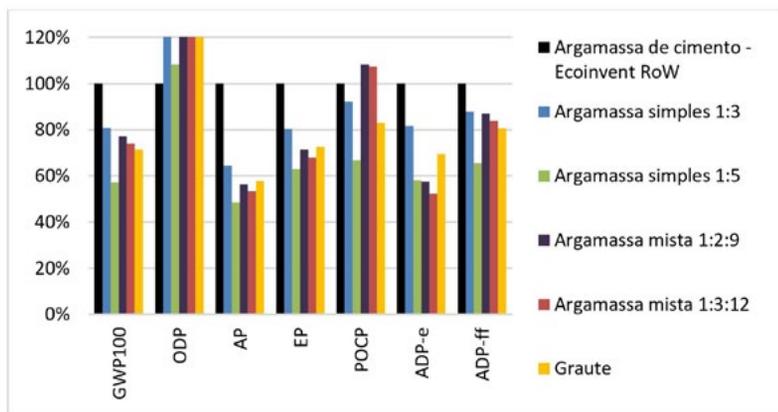
Outros estudos da literatura internacional também se dirigem a esse caminho para a produção de argamassas, de utilizar outros materiais menos impactantes em substituição aos materiais convencionalmente utilizados. Brás e Gomes (2015) avaliaram argamassas com o uso de cortiça para melhorar a eficiência energética de edificações a serem reabilitadas e verificaram que é possível produzir uma argamassa menos impactante em sua produção que as

convencionais e ao mesmo tempo reduzir o consumo de energia operacional das edificações. Teixeira et al. (2019) verificaram que o uso de cinzas volantes obtidas da queima de carvão mineral e biomassa em substituição ao cimento diminuiu os impactos ambientais de produção das argamassas produzidas, além de trazer ganhos de resistência mecânica e durabilidade.

### 3.3. Comparação com argamassa da base de dados do Ecoinvent

Na figura 8 as argamassas são comparadas com a argamassa do Ecoinvent v. 3.3.

**Figura 8: Comparação das argamassas avaliadas com a argamassa do banco de dados do Ecoinvent. Resultados normalizados pela argamassa de cimento – Ecoinvent RoW**



Observam-se diferenças de até 50% entre a argamassa presente no banco de dados do Ecoinvent e um tipo de argamassa simples produzida no Brasil (traço 1:5, para a categoria de AP). A argamassa simples 1:3 utilizada no chapisco foi a que mais se aproximou da referência, já que também é uma argamassa de cimento e com um traço mais rico (mais cimento na proporção). O tipo de cimento também influenciou os resultados, pois no banco de dados do Ecoinvent v.3.3, com a modelagem realizada no ano de 2017, não existia nenhum processo da produção de cimento no Brasil, que é um dos cimentos

que possui menor teor de clínquer, ou seja, menores impactos ambientais, quando comparado a cimentos de outros países (CSI, 2018).

Essas diferenças mostram que a utilização da argamassa do Ecoinvent v. 3.3 para a realidade brasileira fica muito distante dos tipos de materiais utilizados no Brasil, o que levará a resultados finais, seja para um estudo de uma vedação vertical ou toda uma edificação, bastante distantes da realidade.

No inventário da argamassa do Ecoinvent v. 3.3 é considerado o processo de produção das matérias-primas, cimento, com a caracterização do tipo “resto do mundo” (RoW), esse que possui 90% de clínquer em massa, e areia silicosa com caracterização “global” (GLO). A proporção em massa é de 20% para o cimento e 80% para a areia, que é similar à proporção da argamassa simples 1:3, embora o teor de clínquer do cimento CII-E40 seja inferior. A areia silicosa é diferente da areia considerada aqui, pois ela consome energia com gás natural para seu aquecimento, o que faz sua produção ser impactante para a maioria das categorias como ADP-ff, ODP, AP, EP e POCP.

No processo de mistura é considerado o uso de eletricidade, com consumo similar ao avaliado para as argamassas brasileiras, sendo que a maior parcela (cerca de 70%) vem da Nova Zelândia, que possui maior participação de fontes majoritariamente renováveis (mais de 70%), sendo a maior parcela de fonte hidráulica, semelhante ao Brasil.

A etapa de empacotamento também está presente, mostrando que essa argamassa estaria mais próxima, para a realidade da construção civil brasileira, de ser uma argamassa industrializada. No entanto, essa etapa só se mostrou expressiva para a categoria de ADP-e, o que leva a crer que as maiores fontes de diferenças entre a argamassa presente no banco de dados do Ecoinvent v.3.3 e as argamassas avaliadas no presente estudo estão na produção dos materiais utilizados, cimento (devido principalmente ao teor e produção do clínquer) e areia silicosa (decorrente do aquecimento com gás natural).

#### 4. Conclusões

Neste estudo foram avaliados os impactos ambientais dos principais materiais cimentícios utilizados no Brasil, entre eles argamassas para chapisco, camada única e assentamento, graute e bloco de concreto estrutural. Foi apresentada uma tabela resumo com os impactos ambientais desses materiais cimentícios em conjunto com outros materiais, como diferentes tipos de cimento, concreto estrutural e argamassa colante.

Dentre as argamassas avaliadas, a argamassa simples, para chapisco, com traço 1:3 apresentou os maiores impactos ambientais. No entanto, quando se avaliou 1 m<sup>2</sup> de vedação vertical, os blocos de concreto, seguidos pela argamassa mista (utilizada no revestimento e assentamento dos blocos) foram os materiais que mais contribuíram para os impactos ambientais. Observou-se que a argamassa de cimento presente no banco de dados do Ecoinvent v. 3.3 possui impactos ambientais bastante diferentes das argamassas utilizadas no Brasil. O cimento se mostrou o insumo mais impactante para a produção maioria dos materiais avaliados, sendo que para as argamassas mistas, a cal hidratada superou os impactos ambientais do cimento.

Para trabalhos futuros, sugere-se que seja realizada uma análise de incertezas e buscar utilizar os inventários dos insumos básicos, como areia, brita e cal, de fontes primárias, e embora seja uma tarefa árdua, dependendo da região de estudo, alguns desses materiais foram inventariados recentemente. Recomenda-se também que uma análise de sensibilidade para o transporte dos materiais seja realizada. A inclusão da etapa de uso, com a quantificação do processo de carbonatação das argamassas de revestimento, também deve ser explorada.

O estudo traz uma importante contribuição não somente do ponto de vista científico, como também do ponto de vista prático/técnico, já que os materiais avaliados são alguns dos mais utilizados no Brasil para a construção de edificações. Logo, se um profissional do mercado, que não tem conhecimentos

aprofundados sobre ACV, desejar obter de modo rápido o perfil ambiental desses materiais, ele pode consultar a tabela apresentada para ter suas primeiras referências. Tem-se assim uma forma de aumentar a disseminação da ACV tanto no setor acadêmico e de pesquisa, como no setor produtivo e tecnológico da construção civil brasileira.

## Referências

- ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), 2002. *Manual de Revestimentos de Argamassa*. [S.l.]: ABCP, 2002. Available from: <<http://bit.ly/2DgJ96u>>.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), 2009. NBR ISSO 14040: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ALBUQUERQUE, Hiago. R., LIRA, Júlia and SPOSTO, Rosa Maria, October/December, 2018. Emissões de CO2 de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional. *Ambiente Construído* [online]. 2018, vol. 18, issue 4, pp. 377-393. Available from: doi: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400311>>.
- ANAND, Chirjiv K. and AMOR, Ben, January 2017. Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: a critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2017, vol. 67, pp. 408-416. Available from: doi: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.058>>
- BRÁS, Ana and FARIA, Paulina, November 2017. Effectiveness of mortars composition on the embodied carbon long-term impact. *Energy and Buildings* [online]. 2017, vol. 154, pp. 523-528. Available from: doi: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.026>>.
- BRÁS, Ana and GOMES, Vanessa, April 2015. LCA implementation in the selection of thermal enhanced mortars for energetic rehabilitation of school buildings. *Energy and Buildings* [online]. 2015, vol. 92, pp. 1-9. Available from: doi: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.007>>.
- BUENO, Cristiane et al., January 2016. Sensitivity analysis of the use of Life Cycle Impact Assessment methods: a case study on building materials. *Journal of Cleaner Production*[online]. 2016, vol. 112, part 4, pp. 2208-2220.

Available from: doi: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.006>>.

CABEZA, Luiza. F. et al., January 2014. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2014, vol. 29, pp. 394-416. Available from: doi: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>>.

CALDAS, Lucas R. and SPOSTO, Rosa Maria, October/December 2017. Emissões de CO2 referentes ao transporte de materiais de construção no Brasil: estudo comparativo entre blocos estruturais cerâmicos e de concreto. *Ambiente Construído* [online]. 2017, vol. 17, issue 4, pp. 91-2018. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400187>>.

CALDAS, Lucas R. et al., 2016. Emprego do Sinapi para quantificação de emissões de CO2: estudo de caso para o chapisco em uma habitação unifamiliar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. *Anais [...]* Porto Alegre: ANTAC, 2016. pp. 1922-1934.

CALDAS, Lucas R., LIRA, Júlia S. M. M and SPOSTO, Rosa Maria, June/December, 2017. Avaliação do Ciclo de Vida de habitações de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e painéis pré-moldados de concreto considerando diferentes zonas bioclimáticas. *Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida* [online]. 2017, vol.1, issue 1, pp. 138-167. Available from: doi: <<https://doi.org/10.18225/lalca.v1i1.3823>>.

CARASEK, Helena. Argamassas, 2010. In: ISAIA, Geraldo C. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2010. pp. 97-121.

CIRILO, Fabio and MELO, André T. S., 2018. Comparativo de desempenho ambiental entre argamassa industrializada e argamassa virada em obra. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 6., 2018, Brasília. *Anais [...]*. Brasília: IBICT, 2018. pp. 62-67. Available from: <<http://bit.ly/2UQMUDy>>.

CONDEIXA, Karina, HADDAD, Assed and BOER, Dieter, November 2014. Life cycle impact assessment of masonry system as inner walls: a case study in Brazil. *Construction and Building Materials* [online]. 2014, vol. 70, pp. 141-147. Available from: doi <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.113>>.

CSI (Cement Sustainable Initiative), 2016. *GNR project: reporting co2*. World Business Council for Sustainable Development [site]. Available from: <<https://www.wbcsdcement.org/GNR-2016/>>.

DE PAULA, Raphael R. et al., 2018. Avaliação do ciclo de vida de argamassas com resíduos de cerâmica vermelha considerando um indicador de desempenho mecânico durabilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 6., 2018, Brasília. *Anais [...]*. Brasília: IBICT, 2018. pp. 979-985. Available from: <<http://bit.ly/2UQMUdy>>.

GELOWITZ, M. D. C. and MCARTHUR, J. J., July 2017. Comparison of type III environmental product declarations for construction products: material sourcing and harmonization evaluation. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2017, vol. 157, pp. 125-133. Available from: doi: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.133>>.

IBICT (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia), 2019. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) [site]. *Veja nova listagem de inventários antes de participar da chamada MCTIC/CNPq nº 40/2018*, 06 feb. 2019. Available from: <<http://bit.ly/2ZuMybc>>

LEITE, Florence R., et al., 2018. Avaliação do ciclo de vida da produção de argamassas com resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO). In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 6., 2018, Brasília. *Anais [...]*. Brasília: IBICT, 2018. pp. 567-571. Available from: <<http://bit.ly/2UQMUdy>>.

MOHAMAD, Gihad, MACHADO, Diego W. N. and JANTSCH, Ana Cláudia A., 2017. *Alvenaria estrutural: construindo o conhecimento*. São Paulo: Editora Blucher, 2017.

NETO, Dirceu, 2017. *Graute: microconcreto ou argamassa?* Téchne [site]. 15 mar. 2017. Available from: <<http://bit.ly/2PpDQGF>>

SAADE, Marcela R. M., SILVA, Maristela G. and Silva, Vanessa G., January/June, 2014. Methodological discussion and piloting of lca-based environmental indicators for product stage assessment of Brazilian buildings. *Gestão e Tecnologia de Projetos* [online]. 2014, vol. 9, issue 1, pp. 43-62. Available from: doi: <<https://doi.org/10.11606/gtp.v9i1.89987>>.

SILVA, Fernanda B. et al., 2017. Análise comparativa de procedimentos para a estimativa de incertezas em ACV: um estudo baseado na produção de blocos cerâmicos de alvenaria. *Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida* [online]. 2017, Edição Especial V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida, issue 1, pp. 63-77. Available from: doi: <<https://doi.org/10.18225/lalca.v1i1.3781>>.

SILVA, Fernanda B. et al., 2018. Relevance of including capital goods in the life cycle assessment of construction products. *Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida* [online]. 2018, Edição Especial VI Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida, issue 2, pp. 7-22. Available from: doi: <<https://doi.org/10.18225/lalca.v2iEspec.4350>>.

SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), 2017. *Cadernos técnicos de composições para argamassas e grautes*. [S.l.]: Caixa Econômica Federal, 2017. Available from: <<http://bit.ly/2GsEG1k>>. SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil). Referências de preços e custos. Caixa [site]. 2018? Available from: <<http://bit.ly/2GtyXd1>>.

SOUZA, Danielle M. et al., November 2016. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. *Journal of Cleaner Production*[online]. 2016, vol.137, pp. 70-82. Available from: doi: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.069>>.

TEIXEIRA, Elisabete R. et al., February 2019. Quality and durability properties and life-cycle assessment of high volume biomass fly ash mortar. *Construction and Building Materials* [online]. 2019, vol. 197, pp. 195-207. Available from: doi: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.173>>.

THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM [site], 2019?. Available from: <<https://www.environdec.com/>>.

THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM, 2010. Mortar. Environdec [site]. 1 dec. 2010. Available from: <<http://bit.ly/2XyIpRS>>.

THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM, 2017a. Cement. Environdec [site]. 25 oct. 2017. Available from: <<http://bit.ly/2IW91IL>>.

THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM, 2017b. Concrete. Environdec [site]. 25 oct. 2017. Available from: <<http://bit.ly/2IBNDsW>>.

UNE EU (European Committee for Standardization), 2011. *CEN EN 15978: sustainability of construction works: assessment of environmental performance of buildings – calculation method*. Brussels: UNE EU, 2011.

UNE EU (European Committee for Standardization), 2012. *CEN EN 15804: sustainability of construction works: environmental product declarations: core rules for the product category of construction products*. Brussels: UNE EU, 2012.

WBCS (World Business Council for Sustainable Development). *Cement Technology Roadmap 2009*. [S.l]: WBCS,2009. Available from: <<http://bit.ly/2IPnGFp>>.

YAZIGI, Walid, 2016. *A técnica de edificar*. 15. ed. São Paulo: PINI, 2016.

ZHANG, Duo, GHOLEH, Zaid and SHAO, Yixin, October 2017. Review on carbonation curing of cement-based materials. *Journal of CO2 Utilization* [online]. 2017, vol. 21, pp. 119-131. Available from: doi: <<https://doi.org/10.1016/j.jcou.2017.07.003>>.