

Avaliação do ciclo de vida do concreto dosado em central com base em dados da indústria brasileira

FERNANDA BELIZARIO SILVA

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

OLGA SATOMI YOSHIDA

LUCIANA ALVES DE OLIVEIRA

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

MARCELA RUSCHI MENDES SAADE

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
UNIVERSIDADE DE SHERBROOKE (CANADÁ)

VANESSA GOMES

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

GUSTAVO LONGARAY MORAGA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIVERSIDADE DE GHENT (BÉLGICA)

ANA PASSUELLO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

MARISTELA GOMES DA SILVA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

VANDERLEY JOHN

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

RESUMO

A partir de inventários do ciclo de vida de seis fabricantes brasileiros de cimentos e de 34 centrais dosadoras de concretos, bem como de dados primários da produção de agregados, escória de alto-forno e argila calcinada, calcularam-se os indicadores de impactos ambientais de concretos brasileiros para a Avaliação do Ciclo de Vida do berço ao portão. Os resultados do estudo indicam grande variabilidade entre os fornecedores – o que demonstra que a seleção de fornecedores é uma estratégia fundamental para mitigar os impactos ambientais na construção – e sua disparidade em relação aos impactos ambientais de concreto similar da base de dados ACV *ecoinvent* – mostrando a importância dos dados brasileiros para o cálculo da ACV.

I. INTRODUÇÃO

O concreto é o segundo produto mais consumido no mundo, atrás apenas da água. Sua larga escala de produção requer uma grande quantidade de recursos e gera impactos ambientais relevantes. O cimento, um dos principais constituintes do concreto, é responsável por 6% das emissões globais de gases de efeito estufa (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2016). Por outro lado, a indústria brasileira possui um dos menores índices de emissão de CO₂ por tonelada de cimento no mundo (CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE, 2017). Reduzir os impactos ambientais do concreto exige a ação de diversos integrantes da cadeia produtiva, orientada por ferramentas que permitam medir esses impactos de forma confiável.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é o método mais aceito para medir o

desempenho ambiental na construção. Suas vantagens incluem a capacidade de cobrir todo o ciclo de vida do produto e expressar o desempenho ambiental em indicadores quantitativos, abrangendo múltiplas categorias de impacto ambiental. Para isso, elabora-se o inventário do ciclo de vida (ICV) do produto, que é a quantificação dos fluxos de massa e energia em cada etapa do seu ciclo de vida, os quais são combinados e convertidos em diversos indicadores de impacto ambiental, tais como: potencial de aquecimento global, acidificação, eutrofização, entre outros (ver item 2.2). A ACV é normatizada pela ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b).

Entretanto, a quantidade necessária de medições para elaborar um ICV é grande e requer informações de diversos agentes ao longo da cadeia produtiva. Esses fatos tornam o custo e o tempo

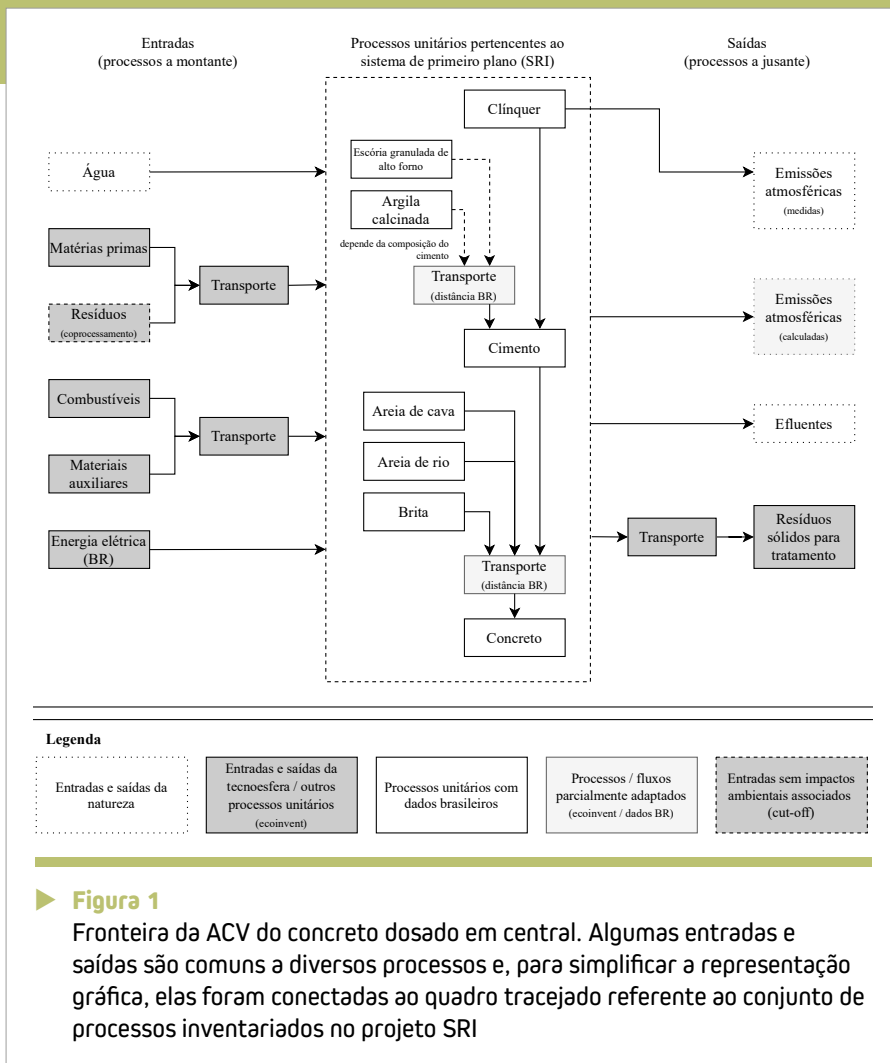
para elaboração do ICV elevados, o que explica as limitações de estudos de ACV de concreto no Brasil – alguns utilizam dados secundários internacionais, enquanto outros consistem em estudos de caso com baixa representatividade estatística, ou cobrem apenas uma categoria de impacto ambiental (potencial de aquecimento global). O uso de dados pouco representativos, via de regra, leva a conclusões erradas, que podem até influenciar políticas públicas contraproducentes.

O presente artigo apresenta e discute os resultados de ACV do concreto dosado em central, baseados em dados primários de fabricantes brasileiros de cimento, concreto e agregados. Esses dados possuem grande representatividade no cenário nacional, especialmente para o cimento, o que só foi possível graças à colaboração de diversas empresas que concordaram em compartilhar suas informações. A pesquisa contou com apoio do programa SRI – *Sustainable Recycling Industries*¹, financiado pelo governo suíço, e os inventários de ciclo de vida dos produtos brasileiros foram incorporados à versão 3.6 da base de dados de ACV *ecoinvent*², podendo ser acessados pelo site:

<https://ecoquery.ecoinvent.org/>.

2. MÉTODO

O método de pesquisa baseou-se nas orientações das normas técnicas de ACV (ABNT, 2009a, 2009b) e da diretriz de qualidade de dados da *ecoinvent* (WEIDEMA et al., 2013), conforme registrado no relatório do projeto SRI (SILVA et al., 2018) e resumido a seguir.



► **Figura 1**

Fronteira da ACV do concreto dosado em central. Algumas entradas e saídas são comuns a diversos processos e, para simplificar a representação gráfica, elas foram conectadas ao quadro tracejado referente ao conjunto de processos inventariados no projeto SRI

A fronteira da ACV se estende da extração dos recursos naturais ao portão de saída da central de concreto, conforme ilustra a Figura 1. O transporte do concreto até a obra e demais atividades não estão inclusos.

2.1 Elaboração do inventário do ciclo de vida

A coleta de dados primários de inventário da indústria brasileira contemplou os materiais listados na Tabela 1, que também apresenta a unidade em relação à qual os inventários foram elaborados e a cobertura em termos da produção nacional estimada para cada material. Além

da produção dos materiais, os transportes do cimento, da areia e da brita até a central de concreto foram modelados com base nos modais e distâncias de transporte informados pelos fabricantes.

Os inventários do clínquer e dos cimentos contaram com dados de seis fabricantes, que juntos correspondem a 70% da produção nacional. A alta cobertura de dados para os cimentos torna o estudo muito robusto, posto que o cimento é o componente que mais contribui para os impactos ambientais do concreto. O inventário de concreto dosado em central contou com a participação de sete empresas e 34 centrais de dez estados brasileiros. O nível de cobertura

¹ PROJETO FINANCIADO PELA SECRETARIA SUÍÇA DE ASSUNTOS ECONÔMICOS (SECO) E EXECUTADO POR UM GRUPO DE ESPECIALISTAS EM ACV DO BRASIL ALOCADOS NO IPT, UNICAMP, USP, UFRGS E UFES.

² BASE DE DADOS DE ORIGEM SUÍÇA, COM ABRANGÊNCIA INTERNACIONAL, QUE DISPONIBILIZA INVENTÁRIOS DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS PERTENCENTES A VÁRIOS SETORES DA ECONOMIA. DISPONÍVEL EM: WWW.ECOINVENT.ORG



► Tabela 1 – Materiais para os quais foram desenvolvidos inventários de ciclo de vida com base em dados brasileiros no âmbito do projeto SRI

Produto	Unidade	Cobertura	
Clínquer	1 kg	70% da produção nacional (em massa)	
Cimentos	CP-II-E	70% da produção nacional (em massa)	
	CP-II-F		
	CP-II-Z		
	CP-III		
	CP-IV		
	CP-V-ARI		
Concreto dosado em central	25 MPa (C25)	CP-II-E	3% a 10% da produção nacional (em volume)
		CP-II-F	
		CP-III	
	30 MPa (C30)	CP-II-E	
		CP-II-F	
		CP-III	
	35 MPa (C35)	CP-II-E	
		CP-II-F	
		CP-III	
	40 MPa (C40)	CP-II-E	
		CP-II-F	
		CP-III	
Concreto com fibras	1 m³	Dados de um fabricante	
Escória granulada de alto-forno	1 kg	Dados de um fabricante	
Argila calcinada	1 kg	Dados de um fabricante	
Areia Cava	1 kg	Dados de uma cava	
Areia Rio	1 kg	Dados de um porto e de literatura	
Brita	1 kg	Dados de três pedreiras	

variou entre 3% e 10% do volume de produção nacional, dependendo da resistência do concreto e do tipo de cimento. Os inventários de agregados, escória de alto forno e argila calcinada se basearam em dados de unidades de produção específicas, devido a limitações de recursos do projeto; contudo, eles foram elaborados porque os processos de fabricação existentes na base de dados *ecoinvent* são muito diferentes dos brasileiros, sobretudo para os agregados.

Os fabricantes forneceram dados relativos a 12 meses de produção, em formulários padronizados, utilizando um sistema que protege a identidade dos fabricantes, mas permite a verifi-

cação das informações reportadas. Os dados incluíram:

- Composição dos produtos;
- Consumo de matérias-primas;
- Consumo de materiais auxiliares (por exemplo, óleo lubrificante);
- Consumo de combustíveis;
- Consumo de eletricidade;
- Consumo de água;
- Geração de resíduos sólidos;
- Geração de efluentes;
- Emissões atmosféricas;
- Produção correspondente ao período avaliado, para possibilitar o cálculo dos fluxos unitários (ex.: kWh/kg de produto).

O estudo se baseou em dados re-

ferentes aos anos de 2016 e 2017, ou seja, antes da entrada em vigor da nova norma brasileira de cimentos, ABNT NBR 16697 (ABNT, 2018). Esta norma altera os limites de adições nos cimentos, afetando seu impacto ambiental. Espera-se organizar em breve uma revisão deste estudo junto à indústria.

Para cada fluxo unitário de processo (por exemplo, consumo de eletricidade por quilograma de produto), calcularam-se a média ponderada e o desvio padrão ponderado entre fábricas/centrais de produção. Nos casos de dados obtidos de apenas um fabricante, adotou-se o único valor disponível.

Para compor o inventário do ciclo de vida do concreto dosado em central, além dos processos descritos anteriormente, são necessários processos referentes à produção de combustíveis, de eletricidade, entre outros (vide itens destacados em cinza na Figura 1). Esses processos foram modelados utilizando-se inventários da base de dados *ecoinvent*, versão 3.4, com o sistema de alocação “*cut-off by classification*”, que não atribui cargas ambientais a matérias-primas constituídas de resíduos de outros processos (por exemplo, no coprocessamento).

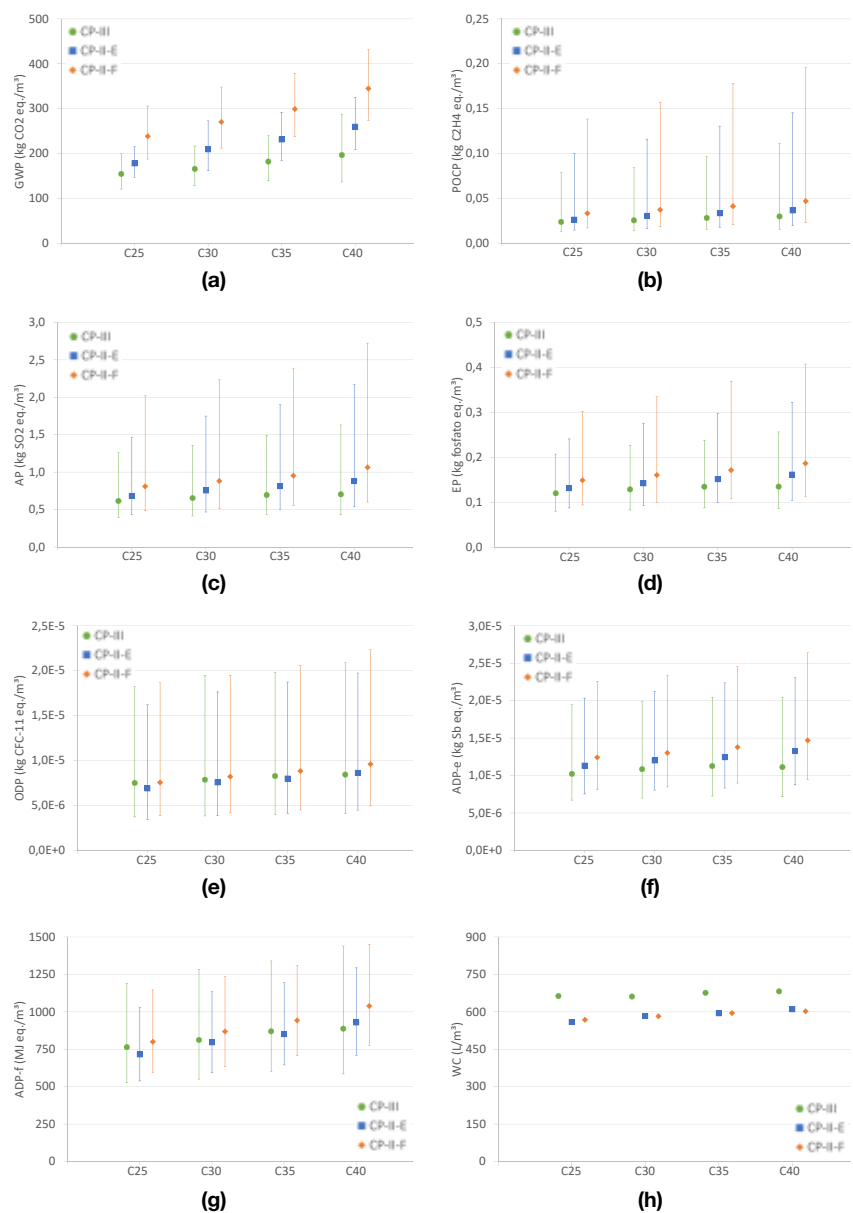
2.2 Avaliação dos indicadores ambientais

Para ilustrar os resultados de um estudo de ACV, apresentam-se os indicadores de impacto ambiental requeridos para Declarações Ambientais de Produto (ou *Environmental Product Declarations – EPDs*) conforme a EN 15804 (DIN, 2014) (as siglas referem-se às abreviaturas das categorias de impacto em inglês):

- GWP – Potencial de aquecimento global: causado pela emissão de gases de efeito estufa, entre os quais o CO₂;

- ▶ POCP – Potencial de oxidação fotoquímica: formação de ozônio nos níveis mais baixos da atmosfera por reações químicas entre poluentes, causando problemas respiratórios em seres humanos e danos ao ecossistema;
 - ▶ AP – Potencial de acidificação: também conhecido como “chuva ácida”, causado pela emissão de poluentes como o dióxido de enxofre (SO₂);
 - ▶ EP – Potencial de eutrofização: aumento exagerado de nutrientes (nitrogênio e fósforo) em corpos d’água, ocasionando o crescimento de algumas algas e a mortandade de organismos aquáticos por falta de oxigênio;
 - ▶ ODP – Potencial de destruição da camada de ozônio: causada pela emissão de compostos halogenados que destroem o ozônio da estratosfera, como os clorofluorcarbonos (CFCs);
 - ▶ ADP-f – Potencial de esgotamento de recursos abióticos fósseis, causado pelo consumo de recursos fósseis como matéria-prima ou combustível;
 - ▶ ADP-e – Potencial de esgotamento de recursos abióticos não fósseis, que relaciona o consumo de minerais com sua disponibilidade na crosta terrestre.
- Para converter os fluxos de inventário nos indicadores de impacto, adotou-se o modelo de caracterização “CML-IA baseline” (versão 4.2, de abril de 2013).

Analisou-se, também, a quantidade de água consumida (WC) na produção do concreto, da escória granulada de alto-forno, da areia, da brita e do concreto, sem incluir os processos a montante. Considerou-se como “água consumida” a água incorporada no produto, evaporada no processo (por exemplo, no resfriamento do clínquer)



▶ **Figura 2**

Indicadores de potencial de impacto ambiental e de consumo de água do concreto, apresentados por classe de resistência do concreto e tipo de cimento: a) GWP — aquecimento global; b) POCP — oxidação fotoquímica; c) AP — acidificação; d) EP — eutrofização; e) ODP — destruição da camada de ozônio; f) ADP-e — esgotamento de recursos abióticos não fósseis; g) ADP-f — esgotamento de recursos abióticos fósseis; h) WC — consumo de água. As faixas de valores correspondem ao intervalo de confiança de 95% das variações entre fabricantes, exceto para o consumo de água (apenas valores médios)

ou direcionada ao sistema de tratamento de esgoto, por serem fluxos que podem não retornar à mesma bacia hidrográfica, conforme definição da ABNT NBR ISO 14046 (ABNT, 2017).

A compilação dos inventários de ciclo de vida e o cálculo dos resultados de impacto foram feitos por meio do

software Simapro (versão 8.5). A estimativa de incertezas foi feita por meio da simulação de Monte Carlo, com 1.000 iterações; por não ser possível a propagação de incertezas do indicador de consumo de água, são apresentados apenas seus valores médios. As faixas de valores apresentadas neste

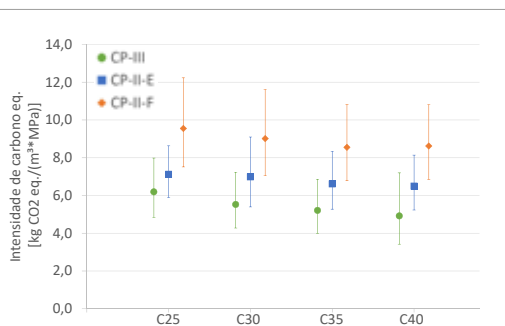


artigo se referem aos limites do intervalo de confiança de 95%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as faixas de valores referentes aos potenciais impactos ambientais do concreto dosado em central, por classe de resistência do concreto e por tipo de cimento, bem como os valores médios de consumo de água do concreto.

Observa-se uma tendência de aumento do impacto ambiental, por m^3 , com o aumento da classe de resistência do concreto. Entretanto, concretos de maior resistência à compressão possibilitam reduzir a área de seção transversal do elemento estrutural para uma mesma capacidade resistente, permitindo redução do volume de concreto. A divisão do impacto pela resistência aos 28 dias do concreto demonstra que aumentar a resistência do concreto pode resultar em uma melhor eficiência ambiental, como mostra a Figura 3. Entretanto, essa redução depende do tipo de esforço e não é foco deste trabalho, que apresenta índices por m^3 .



► **Figura 3**
Indicador de intensidade de carbono equivalente em função da resistência do concreto, apresentados por classe de resistência do concreto e tipo de cimento. As faixas de valores correspondem ao intervalo de confiança de 95% da variação entre fabricantes

Há também uma tendência de aumento do impacto com o aumento do teor de clínquer do cimento, para a maioria das categorias de impacto (em média, o CP-III contém 40% de clínquer, o CP-II-E 66% e o CP-II-F 89%). Entretanto, se for considerada a variabilidade dos resultados, as faixas de impacto ambiental se sobrepõem, o que mostra que o uso de cimentos com maior teor de adições não é suficiente para mitigar os impactos ambientais do concreto, apesar dessa estratégia ser indicada em guias de construção sustentável, como a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) (USGBC, 2014). Por exemplo, é possível que um concreto com CP-II-F (máximo 10% de adições) tenha menor impacto do que um concreto com CP-II-E (mínimo 6% de adições) e que este, por sua vez, apresente impacto menor do que um concreto dosado com CP-III (mínimo 35% de adições).

Há, portanto, outras variáveis a serem consideradas, como as diferenças de dosagem entre centrais de concreto e de composição e produção dos cimentos entre fabricantes. Essas diferenças fazem com que, por exemplo, o potencial de aquecimento global de um concreto de 30 MPa possa variar entre 128 e 348 $kg CO_2 eq./m^3$, ou seja, uma variação de 220 $kg CO_2 eq./m^3$, que corresponde a 1,76 t $CO_2 eq.$ em um caminhão betoneira com 8 m^3 de concreto. Outras categorias de impacto apresentam variabilidade ainda maior. Esses resultados mostram a importância de considerar as variações de impacto ambiental entre fabricantes na tomada de decisão (apesar de muitos estudos de ACV só considerarem valores médios). Para

isso, é necessário que inventários de ciclo de vida, com abrangência nacional, declarem sua variabilidade com base em amostras representativas de fabricantes. Também é importante que cada fabricante declare seu impacto ambiental, para possibilitar a seleção de fornecedores de materiais de construção com base em critérios ambientais.

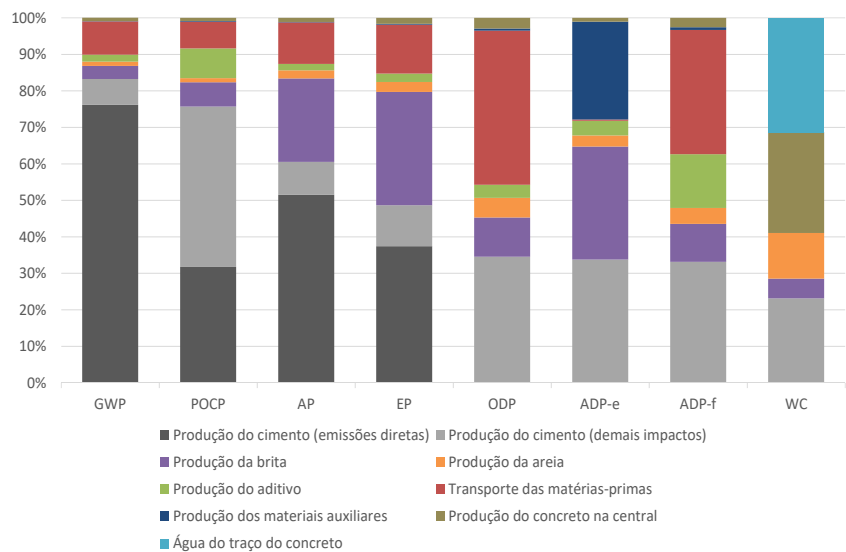
A Figura 4 apresenta a contribuição relativa dos diferentes processos para os resultados de impacto do concreto de 30 MPa com cimento CP-II-E, para possibilitar uma melhor compreensão dos resultados de ACV. Os demais concretos apresentam resultados de contribuição relativa similares.

A produção do cimento contribui com a maior parte dos potenciais de aquecimento global, oxidação fotoquímica e de acidificação do concreto, bem como para seu potencial de eutrofização. A principal causa desses impactos são as emissões atmosféricas da produção de cimento, sobretudo CO_2 , NO_x , SO_2 e CO , sendo que a emissão de CO_2 é de duas a três ordens de grandeza superior às demais, o que explica a importância do potencial de aquecimento global para produtos cimentícios. Para a oxidação fotoquímica, há também a contribuição das emissões de CO provenientes da pirólise da madeira para produção do carvão vegetal, usado como combustível em algumas fábricas de cimento. Como a indústria do cimento monitora esses poluentes continuamente, foi possível calcular esses indicadores de impacto com alto nível de representatividade de dados primários; entretanto, essa não é a realidade de outros setores industriais, para os quais a avaliação das categorias de impacto exigidas

por EPDs pode representar um custo adicional.

A produção de brita contribui para os potenciais de acidificação e de eutrofização do concreto, devido a emissões decorrentes do uso de explosivos no desmonte de rocha, enquanto a produção de areia apresenta contribuições relativas baixas. O potencial de esgotamento de recursos abióticos fósseis é influenciado pelo consumo de derivados de petróleo, que também contribui para o potencial de destruição da camada de ozônio, devido ao uso de compostos halogenados em substâncias extintoras usadas em plataformas de petróleo (segundo a *ecoinvent*). O aditivo apresenta uma contribuição notável para o esgotamento de recursos abióticos fósseis, considerando sua baixa proporção em massa no concreto. O esgotamento de recursos abióticos não fósseis é fortemente influenciado pelo consumo de metais, como em peças de reposição de maquinário industrial. Observa-se que, apesar dos minerais consumidos na produção do concreto (calcário, areia, granito, basalto) serem globalmente abundantes, há escassez local, que não é considerada por esse indicador de consumo de recursos.

O consumo médio de água para produção de concreto varia entre 559 e 682 l/m³ dependendo do tipo de concreto, sendo que apenas cerca de 30% da água faz parte do traço. A lavagem dos caminhões betoneira e a limpeza da central contribuem com 28% do consumo de água, enquanto a produção de cimento consome 23% da água total. Observa-se que esse é um aspecto ambiental importante, frequentemente não analisado em estudos convencionais de ACV, e que há oportunidades para mitigá-lo ao longo



► **Figura 4**
Contribuição relativa de diferentes processos para os resultados de potencial de impacto e de consumo de água para o concreto de 30 MPa com cimento CP-II-E. Legenda: GWP: aquecimento global; POCP: oxidação fotoquímica; AP: acidificação; EP: eutrofização; ODP: destruição da camada de ozônio; ADP-e: esgotamento de recursos abióticos não fósseis; ADP-f: esgotamento de recursos abióticos fósseis; WC: consumo de água

da cadeia de produção do concreto.

Os resultados demonstram a importância dos primários tanto para o concreto quanto para os seus insumos, pois grande parte dos impactos se origina na produção das matérias-primas. A comparação entre os resultados de impacto do concreto baseado em dados brasileiros e um concreto similar existente na base de dados *ecoinvent*, com dados originalmente suíços (Figura 5), corrobora essa afirmação, posto que há grandes diferenças entre os resultados de impacto, sobretudo para as categorias de impacto influenciadas por poluentes atmosféricos, que são alvo de diferentes limites de emissão em diferentes países.

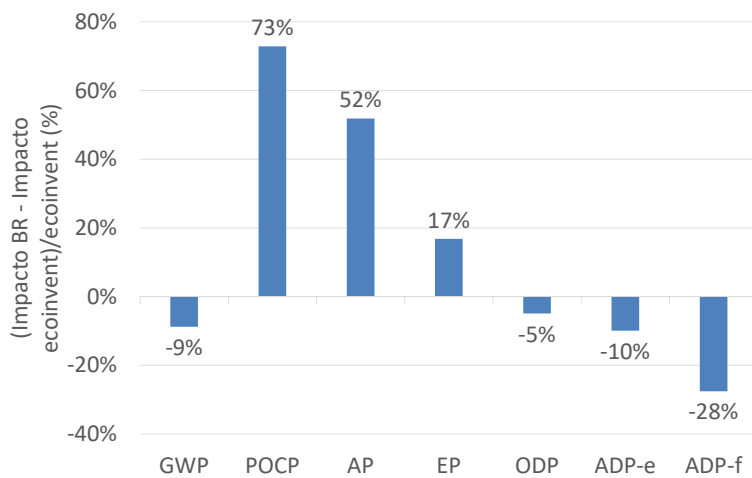
Os resultados obtidos são consistentes com os poucos dados existentes na literatura sobre ACV de concretos brasileiros. Observa-se que o uso da base de dados *ecoinvent* para os processos à montante introduz algumas inconsistências nos resultados, pois são inventários internacionais, sendo necessário desenvolver uma base de

dados de ACV brasileira para melhorar a qualidade dos dados.

4. CONCLUSÕES

Este estudo apresenta indicadores ambientais para concretos dosados em central, com base em um volume expressivo de dados primários brasileiros, fornecendo, assim, informações confiáveis para orientar a tomada de decisão e a elaboração de políticas públicas. Tal resultado é fruto da colaboração entre institutos de pesquisa, universidades e indústrias. Os resultados demonstram não apenas a importância, mas também a viabilidade de ampliar a disponibilidade de dados de ACV de produtos de construção no Brasil, com base em informações que, em grande parte, já são monitoradas pelos fabricantes. Contudo, poucos setores industriais monitoram tantos poluentes quanto o setor de cimento, o que pode levar à necessidade de medições adicionais para fabricantes de outros produtos, ou à adoção de abordagens mais simplificadas da ACV para que isso não seja um entrave.





► Figura 5

Diferença relativa entre os resultados médios de impacto do concreto de 30 MPa e do concreto “concrete production, for building construction, with cement CEM II/B, Rest of the World” da base de dados ecoinvent.

Legenda: GWP: aquecimento global; POCP: oxidação fotoquímica; AP: acidificação; EP: eutrofização; ODP: destruição da camada de ozônio; ADP-e: esgotamento de recursos abióticos não fósseis; ADP-f: esgotamento de recursos abióticos fósseis

A grande variação de impacto ambiental entre fabricantes de um mesmo tipo de concreto demonstra que a seleção de fornecedores é uma estratégia fundamental para mitigar os impactos ambientais na construção, sendo inclusive mais efetiva do que algumas regras de construção sustentável, como a definição do tipo de cimento. Isso, por sua vez, requer que cada fabricante meça e reporte o desempenho ambiental do seu produto, e que haja

benchmarks setoriais de desempenho ambiental aos quais os fabricantes possam se comparar para melhorar seus processos. Entretanto, tais medições só serão realizadas se houver uma mobilização da cadeia da construção para inserir o desempenho ambiental como critério de decisão, incluindo projetistas, incorporadores, construtores e formuladores de políticas públicas.

Em termos práticos, decisões de projeto, qualidade de execução, varia-

bilidade do processo produtivo e vida útil vão determinar o impacto ambiental da construção. Os resultados aqui apresentados são parte dos dados necessários para a realização da ACV das estruturas e construções. Entre outros aspectos, ainda fazem falta inventários nacionais dos demais insumos, como aço, formas, além da normalização da avaliação do ciclo de vida das construções no Brasil.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Programa Sustainable Recycling Industries, ao ecoinvent Centre, à Secretaria Suíça de Assuntos Econômicos e à Fundação de Apoio ao IPT (Fipt), pelo financiamento da coleta de dados. Aos fabricantes de materiais e à Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), pela disponibilização dos dados primários brasileiros. À USP, Unicamp, UFES e UFRGS, por possibilitar a participação dos pesquisadores no projeto SRI. Ao CNPq (306045/2018-4, Ana Passuello; 465593/2014-3, Vanderley John). À FAPESP (2014/50948-3, Vanderley John). Ao INCT CEMTec Tecnologias Cimentícias Ecoeficientes Avançadas. 🏠

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.
- [2] _____. ABNT NBR ISO 14044: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.
- [3] _____. ABNT NBR ISO 14046: Gestão ambiental - Pegada hídrica - Princípios, requisitos e diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- [4] _____. ABNT NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- [5] CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE. Getting the Numbers Right (GNR) Project - Reporting CO₂. 2017. Disponível em: <https://gccassociation.org/gnr/>. Acesso em: 28 jan. 2020.
- [6] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. EN 15804:2012+A1:2013: Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. Berlim: DIN, 2014.
- [7] SCRIVENER, K.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco efficient cements: potential, economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. Paris: UNEP, 2016.
- [8] SILVA, F. B. et al. Life Cycle Inventories of Cement, Concrete and Related Industries - Brazil. Zurich: Ecoinvent Association, 2018. Disponível em: https://www.ecoinvent.org/files/sectorial_report_sri_la_cement_concrete.pdf. Acesso em: 02 abr. 2020.
- [9] UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. LEED v4 para projeto e construção de edifícios. Atualizado em 1º de outubro de 2014. Disponível em: https://www.gbcbrazil.org.br/wp-content/uploads/2019/08/LEED_v4_BDC_10_01_14_PT_3_24_17.pdf. Acesso em 06 mai. 2020.
- [10] WEIDEMA, B. P. et al. Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. St. Gallen: Swiss Center For Life Cycle Inventories, 2013.