



VI - Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida

# Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida

Coordenadores

**Tiago Emmanuel Nunes Braga**  
**Gil Anderi da Silva**

Organizadores

**Thiago Oliveira Rodrigues**  
**Diogo Aparecido Lopes Silva**

Brasília  
2018

É permitida a adaptação e compartilhamento desta obra, desde que seja atribuído o crédito apropriado.



## Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – Ibict

### DIREÇÃO

Cecília Leite Oliveira

### COORDENAÇÃO-GERAL DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS

Arthur Fernando Costa

### COORDENAÇÃO DE TECNOLOGIAS APLICADAS A NOVOS PRODUTOS

Tiago Emmanuel Nunes Braga

### SESSÃO DE EDITORAÇÃO

Ramón Martins Sodoma da Fonseca

### REALIZAÇÃO DO EVENTO

Tiago Emmanuel Nunes Braga (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – Ibict)

Gil Anderi Silva (Associação Brasileira de Avaliação do Ciclo de Vida – ABCV)

### SECRETARIA EXECUTIVA

Marina Santa Rosa (Ibict)

### COORDENAÇÃO DO COMITÊ CIENTÍFICO: Diogo Aparecido Lopes Silva (UFSCar-Sorocaba)

**MEMBROS DO COMITÊ CIENTÍFICO:** Aldo Roberto Ometto (USP-São Carlos), Ana Laura Raymundo Pavan (USP-São Carlos), Ana Passuello (UFRGS), Andrea Oliveira Nunes (UFRN), Armando Caldeira-Pires (UnB), Cassiano Moro Piekarski (UTFPR-Ponta Grossa), Daniele Maia de Souza (Universidade de Alberta, Canadá), Diego Medeiros (UFBA), Diego Rodrigues Iritani (Upcycle), Edivan Cherubini (Ciclog), Edmundo Muñoz Alvear (Universidad Andrés Bello, Santiago-Chile), Elaine Aparecida da Silva (UFPI), Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco (UFRJ), Fábio Puglieri (UTFPR-Ponta Grossa), Fausto Freire (Universidade de Coimbra-Portugal), Fernanda Belizario Silva (IPT-São Paulo), Henrique Leonardo Maranduba (UESB-Itapetinga), José Adolfo de Almeida Neto (UESC-Ilhéus), José Augusto de Oliveira (UNESP-São João da Boa Vista), Leila Mendes da Luz (UTFPR), Luciano Brito Rodrigues (UESB-Itapetinga), Luiz Alexandre Kulay (USP), Marcella Ruschi Mendes Saade (Unicamp), Maria Cléa Figueiredo (EMBRAPA-Fortaleza), Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura (EMBRAPA-Jaguariúna), Oscar Ortiz (Universidade de Pamplona-Colômbia), Otávio Cavalett (CTBE), Raquel Naves Blumenschein (UnB), Rodrigo Alvarenga (Universidade de Gante-Bélgica), Rosa Maria Spoto (UnB), Sandra Maria da Luz (UnB), Sebastião Roberto Soares (UFSC), Thiago Oliveira Rodrigues (Ibict), Virgínia A. Silva Moris (UFSCar-Sorocaba), Yara de Souza Tadano (UTFPR), Yovana Maria Barrera Saavedra (UFSCar-Lagoa do Sino).

### COORDENAÇÃO DO COMITÊ TÉCNICO: Thiago Oliveira Rodrigues (Ibict)

**MEMBROS DO COMITÊ TÉCNICO:** Amir Safaei (ecoinvent), Antônio Juliani (MDIC), Cristiane Sampaio (Inmetro-RJ), Fábio Cirillo (Votorantim), Felipe Bottini (GreenDomus), Felipe Coelho (Vanzolini), Juliana Silva (FEE), Lígia Pereira Cabo (Boticário), Maria da Graça Busica, Montserrat Carbonell (Petrobras), Pia Wiche (FSLCI), Regiane Brito (Inmetro), Sueli Oliveira (UFABC), Simon Gmunder (Quantis), Tiago Rocha (ACV Brasil), Yuki Kabe (Braskem).

### COMUNICAÇÃO, APOIO TÉCNICO E LOGÍSTICO

Francisco Eliezer Pereira da Rocha, Lucas Pereira Guedes, Mariela Muruga, Stéphanie Maia Freire de Andrade, Suelen da Silva dos Santos, Nathaly Cristine Leite Rocha, Letícia Mesquita, Milena Berndazzoli Simões, Carla Gama Lustosa, Deivdy Willian Silva.

C749a Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida (6. : 2018 : Brasília, DF).

GCV 2018 : Congresso brasileiro sobre gestão do ciclo de vida : Brasília-DF 17 a 20 de Junho de 2018 / coordenação, Tiago Emmanuel Nunes Braga e Gil Anderi da Silva ; organização, Thiago Oliveira Rodrigues e Diogo Aparecido Lopes Silva . — Brasília, DF : Ibict, 2018. 996 p. : il.

ISBN 978-85-7013-146-1

Inclui bibliografia.

1. Avaliação do Ciclo de Vida – Congressos. 2. Gestão ambiental. 3. Economia circular. 4. Inventário do Ciclo de Vida. I. Braga, Tiago Emmanuel Nunes, coord. II. Silva, Gil Anderi, coord. III. Rodrigues, Thiago Oliveira, org. IV. Silva, Diogo Aparecido Lopes, org. V. Título.

CDU 504



## INCERTEZAS RELACIONADAS À ETAPA DE MANUTENÇÃO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS: ESTUDO DE CASO DE PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Natalia Reguly<sup>1\*</sup>, Michele Morales<sup>2\*</sup>, Ana Paula Kirchheim<sup>3\*</sup>, Ana Passuello<sup>4\*</sup>

*\*Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Núcleo Orientado para Inovação na Edificação. Av. Osvaldo Aranha, 99, Porto Alegre, RS, Brasil.*

*<sup>1</sup>e-mail: natalia.reguly@ufrgs.br; <sup>2</sup>e-mail: michelefd.morales@gmail.com; <sup>3</sup>e-mail: anapaula.k@ufrgs.br*

*<sup>4</sup>e-mail: ana.passuello@ufrgs.br*

**Resumo:** O setor de edificações é um grande gerador de impactos ambientais, consumindo elevada quantidade de recursos não renováveis durante toda sua vida útil. Ao longo do ciclo de vida do edifício, são necessárias manutenções dos componentes da construção para garantir o cumprimento da sua vida útil de projeto. Tais manutenções geram impactos devido à produção e transporte dos materiais bem como sua a operação propriamente dita. Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite mensurar quantitativamente os possíveis impactos ambientais associados à etapa de manutenção das edificações, surgindo como alternativa para análise ambiental de materiais e sistemas. Sendo assim, objetivo deste estudo é quantificar as incertezas relacionadas à etapa de manutenção de edificações, através da definição de cenários de manutenção para 1m<sup>2</sup> de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos ao longo de 50 anos. O escopo do estudo é do berço ao túmulo, e os dados de inventário utilizados são provenientes da base Ecoinvent 3.3, tendo sido adaptados ao contexto local. O software utilizado foi o OpenLCA 1.6.3. Visando transparência, foi conduzida análise de incertezas dos resultados considerando a qualidade dos dados. Resultados preliminares indicam que a fase de manutenção embora não seja a mais impactante, possui expressiva participação, com em média de 41,4% no ciclo de vida. Estas constatações demonstram a relevância das manutenções no impacto total de uma edificação e reforçam a importância de prever adequadamente esta etapa.

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), etapa de manutenção, avaliação de incerteza.

### Introdução

O setor da construção civil é considerado atualmente um grande gerador de impactos ambientais. Frente a essa realidade, a preocupação com o meio ambiente aumentou e está cada vez mais presente na construção civil, uma vez que o setor vem se conscientizando da sua responsabilidade ambiental (CBIC, 2014). Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), preconizada pela NBR ISO 14044/2009 (ABNT, 2009b), é uma ferramenta que permite quantificar os possíveis impactos ambientais associados ao ciclo de vida das edificações, viabilizando sua mensuração desde a extração dos recursos, produção dos materiais, construção, uso e manutenção, e fim de vida.

A longa vida útil dos edifícios acarreta complexidade na sua avaliação, uma vez que, os impactos de uma edificação já se iniciam na extração e produção da matéria-prima a ser utilizada na construção, transporte até o canteiro de obras, produção do edifício, operação da edificação (consumo de energia, consumo de água, etc.), manutenção da edificação (necessária para garantir a sua segurança em uso) e, finalmente, sua disposição final (CEN EN 15978, 2011a).

Estudos indicam que a etapa de uso e operação de uma edificação pode responder pela maior parte dos seus impactos. Morales et al. (2018) em estudo comparativo entre tipologias habitacionais comuns na região sul do Brasil, identificaram que a operação de edificações habitacionais de interesse social (HIS) no Brasil pode responder por até 70% dos seus impactos na categoria aquecimento global, sendo 24% deste total oriundo das manutenções. Moraga (2017) também observou predominância da etapa operacional sobre os impactos totais de HIS unifamiliares construídas em diferentes sistemas construtivos.

Considerando o longo ciclo de vida de uma edificação, e as necessárias manutenções dos componentes da construção, realizadas para garantir o cumprimento de sua Vida Útil de Projeto (VUP), este trabalho tem por objetivo quantificar as incertezas relacionadas à longa vida útil das edificações, particularmente a etapa de manutenção. Adicionalmente será realizada análise de incertezas dos resultados considerando a qualidade dos dados através da aplicação da abordagem da Matriz de Pedigree (WEIDEMA B. P., 1998).

### *Previsão de Vida Útil de Materiais de Construção*

No Brasil, a ABNT NBR 15575-1:2013 constitui-se na principal fonte de pesquisa para definição do período de vida útil da edificação. Esta norma determina que as edificações habitacionais devam obrigatoriamente atingir um nível de

desempenho mínimo pelos diferentes elementos e sistemas da construção, por um período mínimo de tempo (CBIC, 2013). Para tal são definidos valores mínimos de VUP - que é uma estimativa de tempo de vida útil que depende de diversos fatores para ser alcançada (Tabela 1).

**Tabela 1 – Exemplos de VUP de acordo com a ABNT NBR 15575:1 (2013)**

Sistema		Vida útil de projeto (em anos) de acordo com a ABNT NBR 15575:1.		
		VUP- Mínimo (50 anos)	VUP-Intermediário (63 anos)	VUP-Superior (75 anos)
Estrutura Principal		≥50	≥63	≥75
Revestimento de Parede Aderido	Interno	≥13	≥17	≥20
	Externo	≥50	≥50	≥50
Pintura	Interno	≥3	≥4	≥5
	Externo	≥8	≥10	≥12

Fonte: Elaborada a partir da NBR 15575:1/2013 (ABNT, 2013).

Entretanto, características dos materiais e da qualidade da construção como um todo, o correto uso e operação da edificação e de suas partes, a constância e efetividade das operações de limpeza e manutenção, alterações climáticas e níveis de poluição no local da obra, mudanças no entorno da obra ao longo do tempo, entre outros, interferem na vida útil da edificação (ABNT NBR 15575-1, 2013). Sendo assim, a vida útil das construções pode variar consideravelmente. Cenários que empregam suposições padrão podem gerar resultados incorretos, neste sentido, para obtenção de resultados próximos à realidade, os pressupostos relativos à substituição, reparação e manutenção dos materiais devem ser definidos da maneira mais realista possível (GRANT; RIES; KIBERT, 2014).

Devido à dificuldade de estimar as operações de manutenção das edificações, grande parte dos estudos empregam ciclos fixos de substituição dos materiais e de sistemas, que muitas vezes excluem manutenções e reparos dos componentes da edificação (GRANT; RIES; KIBERT, 2014). Em contraponto, uma das principais normas orientativas para elaboração de avaliações ambientais de edificações, a norma europeia CEN EN 15643-2:2011, recomenda considerar manutenções, reparos, substituições e a eventual remodelação da edificação. Neste sentido, incluí-los nos estudos de ACV é importante, uma vez que manutenções são necessárias para garantir o cumprimento da vida útil dos componentes (CEN EN 15643-2, 2011b).

## Metodologia

Para realização deste estudo foram seguidas as orientações da NBR ISO 14040/2009 (ABNT, 2009a) e NBR ISO 14044/2009 (ABNT, 2009b). As fases da ACV são apresentadas nos itens a seguir:

### *Objetivo e Escopo*

O objetivo deste trabalho é quantificar as incertezas relacionadas à longa vida útil das edificações, especialmente a etapa de manutenção, através da definição de cenários de manutenção para 1m<sup>2</sup> de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos ao longo de 50 anos. Neste estudo, o escopo selecionado é do berço ao túmulo sendo considerados os impactos incorporados iniciais (produção), recorrentes (manutenção) e da destinação final, não sendo considerados impactos operacionais já que a unidade funcional selecionada é 1 m<sup>2</sup> de parede construída.

### *Análise do Inventário*

Para elaboração do inventário foi utilizada a base de dados Ecoinvent versão 3.3 e o modelo de sistema *cut-off* (WEIDEMA B. P. et al., 2013). Os dados utilizados foram adaptados para a realidade brasileira por Moraga et al. (2017) a partir de dados da literatura. Na Tabela 2 são apresentados os materiais considerados na ACV. Os resíduos gerados nas etapas de manutenção e fim de vida foram classificados de acordo com a Resolução 307/2002 do CONAMA, a qual os classifica como Classe A, e a disposição final considerada foi disposição em aterro. O processo de tratamento de

resíduos da base Ecoinvent 3.3 adotado foi *treatment of inert waste, inert material landfill RoW*. Não foi considerado o processo de triagem dos resíduos.

**Tabela 2 – Inventário dos materiais utilizados no estudo com dados adaptados (MORAGA et al., 2017)**

Sistema	Materiais	Processo Ecoinvent	Matriz de Pedigree <sup>1</sup>	Qtd (kg)
Pintura Paredes Internas	Tinta Acrílica Fosca	Adaptado a partir do processo <i>Alkyd paint production, white, water-based, product in 60% solution state</i> .	(4;4;4;3;3)	0,29
Pintura Paredes Externas				0,29
Revestimento Argamassa Interno	Cimento CPIV, Areia, Cal, Aditivo	Adaptado utilizando areia e cimento brasileiros e processo <i>Cement mortar RoW</i> . Traço da empresa construtora.	(4;4;3;3;2)	30,36
Revestimento Argamassa Externo	Cimento CPIV, Areia, Cal, Aditivo			91,86
Alvenaria	Bloco Cerâmico	ANICER (2012)	(2;3;2;4;4)	105,21
	Argamassa Assentamento	Adaptado utilizando areia e cimento brasileiros e processo <i>Cement mortar RoW</i> . Traço publicado pela ANICER (2012).	(4;4;3;3;2)	27,00
	Graute (0,02 m <sup>3</sup> )	Adaptado utilizando areia, brita e cimento brasileiros e processo <i>Concrete production 20 MPa RoW</i> .	(4;4;3;3;2)	46,19
	Aço	Adaptado a partir do processo <i>Reinforcing steel RER</i> .	(3;3;3;3;4)	1,04

<sup>1</sup> WEIDEMA, B. P. (1998) Multi-User Test of the Data Quality Matrix for Product Life Cycle Inventory. Int. J. Life Cycle Ass. 3(5):259-265.

### Avaliação de Impactos

O cálculo da avaliação de impactos foi realizado no software OpenLCA 1.6.3. Para esta etapa do estudo adotou-se somente as categorias de impacto previstas na norma CEN EN 15804 (2013), conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Categorias de impacto avaliadas no estudo com dados adaptados**

Indicador	Unidade	Método <sup>1</sup>
Potencial de Aquecimento global – GWP - 100	kg de CO <sub>2</sub> -Eq. (100a)	IPCC 2007
Potencial de Acidificação – AP	kg SO <sub>2</sub> -Eq. (generic)	CML 2001
Potencial de Eutrofização – EP	kg PO <sub>4</sub> -Eq. (generic)	CML 2001
Potencial de Oxidação Fotoquímica – POCP	kg etileno-Eq. (low NOx)	CML 2001
Potencial de Depleção da Camada de Ozônio – ODP	kg CFC-11-Eq. (steady state)	CML 2001
Potencial de Depleção de Recursos Abióticos de Origem Não Fóssil - ADPN	kg antimônio-Eq. (reserve base)	CML 2001
Potencial de Depleção de Recursos Abióticos de Origem Fóssil – ADPF	MJ-Eq. (reserve base)	CML 2001

<sup>1</sup> WINTER S. et al. OpenLCA 1.4 - Comprehensive user manual. Germany. 2015. Disponível em: <<http://www.openlca.org/learning/>>.

### Avaliação de Incertezas

A base de dados Ecoinvent declara para todos seus dados uma incerteza chamada de básica, que está relacionada aos erros obtidos na coleta dos dados. Além da incerteza básica, pode ser incluída uma incerteza adicional que é baseada nos indicadores de qualidade dos dados, que são convertidos em parâmetros estatísticos numa abordagem de matriz de pedigree. Neste estudo foram consideradas a incerteza básica do Ecoinvent e a matriz de pedigree (tabela 2) dos dados (WEIDEMA, 1998; WEIDEMA e WESNAES, 1996; WEIDEMA et al., 2013). No cálculo das incertezas foi utilizada a simulação de Monte Carlo com 1000 iterações e intervalo de confiança de 90%.

Para os blocos cerâmicos foi utilizada a matriz de pedigree publicada em ANICER (2012) apenas para a confiabilidade e representatividade dos dados. Os demais indicadores foram estimados pelos autores da adaptação dos dados.

### Definição dos Cenários de Manutenção

Para definição dos cenários de manutenção foi realizada revisão de literatura buscando declarações ambientais de produto (DAP)<sup>13</sup> fornecidas pelos fabricantes e na norma ABNT NBR 15575-1 (2013), na qual foram levantados valores mínimos de VUP para cada material que necessita manutenção durante o período de 50 anos: revestimento interno, pintura interna e pintura externa. A partir desta revisão foram elaborados 4 cenários de manutenção apresentados na Tabela 4. O cenário CI foi delineado considerando valores de VUP mínima de argamassa de revestimento interno previstos na ABNT NBR 15575-1 (2013) combinado aos valores de vida útil previstos em DAPs de fabricantes de tintas<sup>2,3</sup>. Para o cenário CII foi considerada VUP superior prevista na ABNT NBR 15575-1 (2013) para o revestimento interno e valores de vida útil previstos em DAPs de fabricantes de tintas<sup>2,3</sup>. Para os cenários CIII e CIV foram considerados somente valores de VUP (mínima e superior respectivamente) encontrados na ABNT NBR 15575-1 (2013). O cálculo do número de substituições de cada componente foi baseado nos critérios recomendados pela CEN EN 15978 (2011a). As DAP utilizadas são referentes a tintas acrílicas à base de água, específicas para pintura de ambientes de alvenaria interiores e exteriores.

**Tabela 4 – Cenários utilizados no estudo**

Cenários	Cenário I (C I)	Cenário II (C II)	Cenário III (C III)	Cenário IV (C IV)
Vida Útil revestimento interno (anos)	13 interno	20 interno	13 interno	20 interno
Número de substituições revestimento interno	3 interno	2 interno	3 interno	2 interno
Vida Útil Pintura (anos)	15 <sup>2</sup> interna 5 <sup>3</sup> externa	15 <sup>2</sup> interna 5 <sup>3</sup> externa	3 interna 8 externa	5 interna 12 externa
Número de repinturas considerado	3 interna 9 externa	3 interna 9 externa	16 interna 6 externa	9 interna 4 externa

<sup>2</sup> NSF International, Harmony, Sherwin-Williams Company, Cleveland, Estados Unidos, 2016. Disponível em: <<http://info.nsf.org/Certified/Sustain/ProdCert/EPD10081.pdf>>. Acesso em 19 jan.2018.

<sup>3</sup> NSF International, SuperPaint Exterior, Sherwin-Williams Company, Cleveland, Estados Unidos, 2016. Disponível em: <<http://info.nsf.org/Certified/Sustain/ProdCert/EPD10115.pdf>>. Acesso em 19 jan.2018.

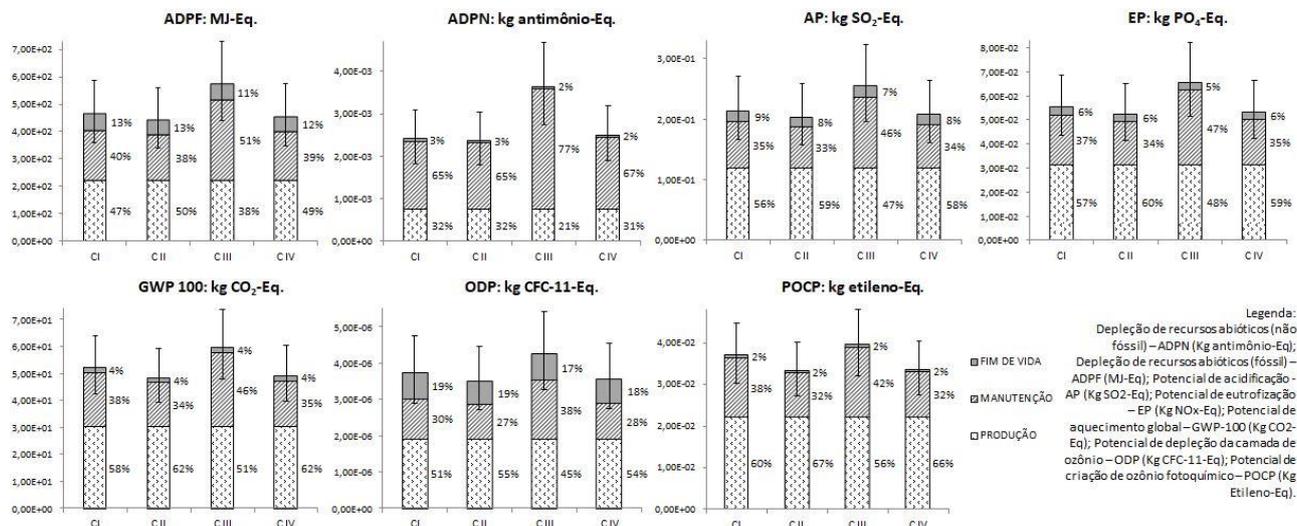
## Resultados e discussão

No Gráfico 1 são apresentados os impactos potenciais para todo o ciclo de vida da parede em cada um dos cenários definidos juntamente com as incertezas relacionadas à qualidade dos dados. Inicialmente observa-se maior participação da etapa de produção sobre as demais com, em média: 46% na categoria ADPF, 55% em AP, 56% em EP, 58% em GWP, 51% em ODP e 62% em POCP. Somente na categoria ADPN a etapa de produção apresentou menor participação, com em média 29% dos impactos. Embora a etapa de manutenção não seja predominante, nesta etapa observam-se resultados próximos aos encontrados na etapa de produção, com participação média de 31% a 42% dos impactos, excetuando-se a categoria ADPN, na qual a manutenção responde por em média 68% dos impactos totais.

As diferenças entre os cenários de manutenção propostos também se mostraram relevantes com variações de 10 a 13%. Neste sentido é importante destacar que foram consideradas manutenções somente para aqueles sistemas com VUP menor que 50 anos (pintura interna e externa e revestimento argamassado interno). Estes materiais em conjunto respondem por aproximadamente 41% da massa de materiais necessários para produzir a parede, contudo o elevado número de repetições das manutenções, bem como o alto impacto ambiental de alguns dos materiais considerados, acarretaram elevada participação desta etapa em todas as categorias, chegando esta a se sobrepor sobre a etapa de produção, como observado na categoria de impacto ADPN.

<sup>13</sup> BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO. Portaria nº 100 de 07 de março de 2016. 2016.

Gráfico 1 – Impactos ao longo do ciclo de vida de 1m<sup>2</sup> de parede e incertezas relacionadas à qualidade dos dados.



Estas constatações demonstram a relevância das incertezas relacionadas aos cenários de manutenção sobre o impacto total de uma edificação, e reforçam, a importância de prever adequadamente esta etapa. Em consonância, ao observar cada um dos cenários de manutenção propostos, verifica-se que o cenário CIII predomina sobre os demais em todas as categorias, seguido pelo cenário CI. Tal fato se deve ao maior número de substituições do revestimento de argamassa interno (3 vezes) e também ao número de repinturas (22 no cenário CIII e 12 no cenário CI).

Ainda no Gráfico 1 é apresentada a variação dos impactos ao longo do ciclo de vida da parede a partir das incertezas da qualidade dos dados utilizados. Assim, é possível ter maior confiabilidade no resultado gerado, visto que o impacto não é um valor fixo, e sim um intervalo de valores que podem ser assumidos pelos cenários, ou seja, tem-se um intervalo de confiança de 90% no qual há valores prováveis estimados, logo, pode ser feita uma comparação mais clara entre os cenários. Conforme pode ser observado, o cenário CIII nem sempre vai ser o cenário mais impactante, já que ele pode, quando em seu valor mínimo, ser ultrapassado ou igualado aos cenários CI e CIV em seus respectivos valores máximos, em todas as categorias de impacto. Já o cenário CII, mesmo quando em seu valor máximo, não ultrapassará qualquer valor do cenário CIII, logo, nesse caso, o cenário CII terá redução de impactos se comparado ao cenário CIII. O cenário CII, em seu valor mínimo, é o cenário de melhor desempenho ambiental em todas as categorias, comparado aos demais cenários em qualquer valor dos intervalos.

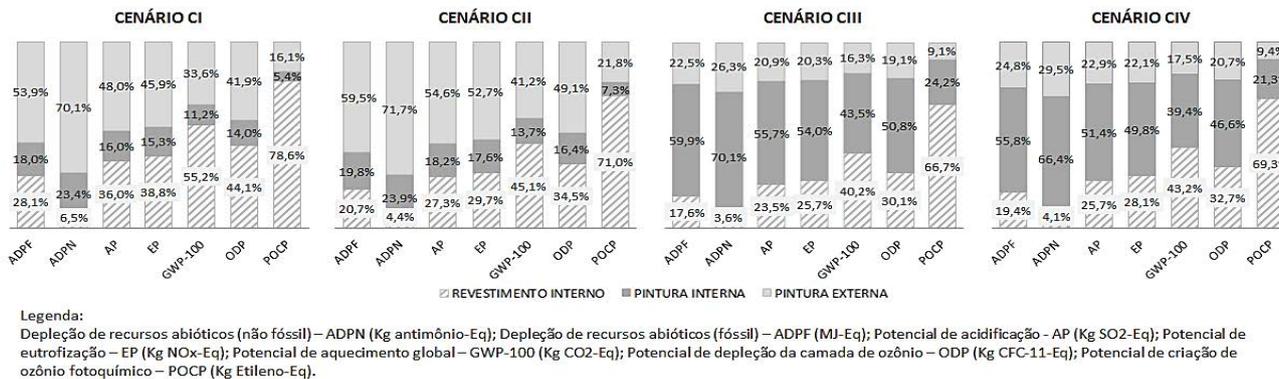
Na categoria ADFP, por exemplo, o cenário CI ao ter sua média comparada com a do cenário CIII, apresenta melhor desempenho ambiental. Entretanto, dentro dos 1000 resultados possíveis simulados, observa-se que 71,1% destes resultados pertencem a um mesmo intervalo de prováveis valores de impactos, igualando-os nesta faixa. Ainda nesta categoria, o cenário CII pode, em 53,1% dos resultados simulados, apresentar melhor desempenho ambiental que o cenário CIII. Já na categoria GWP100, é provável que o cenário CIV, que em média apresenta impactos reduzidos em comparação ao cenário CIII, tenha em 64,1% dos seus resultados, valores de impactos dentro do mesmo intervalo que o cenário CIII, ou seja, dentro da faixa de incertezas, em algum momento o cenário CIII pode mostrar melhor desempenho que o cenário CIV.

Portanto, a avaliação das incertezas da qualidade dos dados se mostra importante para que as decisões possam ser tomadas com clareza, visto que há um intervalo de valores que podem ser assumidos, possibilitando outras escolhas. Por exemplo, o cenário CIII poderia ter sido selecionado como o cenário de maior impacto, entretanto nota-se que em alguns momentos ele pode ser o cenário de menor impacto. A partir destas constatações, observa-se que os cenários podem se sobrepor em alguns momentos, e assim alterar o *ranking* dos resultados.

Ao detalhar a etapa de manutenção no Gráfico 2, o sistema de pintura é o de maior impacto na etapa, predominando sobre o revestimento interno. As exceções são no cenário CI: GWP e POCP - devido aos impactos da produção do cimento; nos cenários CII/CIII e CIV: POCP - também devido à produção do cimento. Nos demais cenários, as repinturas (internas e externas) são as maiores responsáveis pelos impactos ambientais. Em razão das diferentes fontes selecionadas, nos cenários CI e CII, baseado em DAPs, a pintura externa predomina, já nos cenários CIII e CIV, baseados na ABNT NBR 15575:1, a pintura interna predomina. Esta informação se mostra relevante sob dois aspectos,

primeiro no tocante a pintura externa, nos cenários CIII e CIV, esta ocorre com menor frequência que a interna, escolha que deve ser avaliada uma vez que ambientes externos sofrem maior agressão devido à exposição às intempéries. Já no tocante a pintura interna, esta sofre menos reposições nos cenários CI e CII (3 vezes), e isto também deve ser avaliado visto que muitas vezes repinturas, principalmente em ambientes internos, ocorrem por hábitos do usuário e não somente por término da vida útil.

**Gráfico 2 – Impactos relacionados à etapa de manutenção de 1m<sup>2</sup> de parede.**



## Conclusões

Este estudo avaliou as incertezas relacionadas à etapa de manutenção de 1m<sup>2</sup> de parede de alvenaria estrutural. Na metodologia foi utilizada a ACV com o objetivo de quantificar os impactos gerados em sete categorias de impacto e adicionalmente foi realizada a análise das incertezas da etapa de manutenção, a partir da definição de cenários de manutenção e da qualidade dos dados utilizados.

Os resultados mostram que a etapa de manutenção é relevante no ciclo de vida da edificação, visto que ela apresenta elevada participação em todas as categorias de impacto. Ao detalhar esta etapa, nota-se que as repinturas são as grandes responsáveis pelos impactos ambientais e que, dependendo das fontes utilizadas para definição da VUP destes materiais, a proporção de qual sistema predomina no impacto total do cenário é variável.

A qualidade dos dados se mostrou relevante nos resultados, viabilizando uma comparação mais clara entre os cenários, visto que existe uma faixa de valores que podem ser assumidos por cada cenário, e assim eles podem se sobrepor alterando a ordem de classificação dos resultados.

Na definição dos cenários de manutenção as fontes utilizadas para definição da VUP dos materiais são importantes, dado que alteram a participação dos materiais na etapa de manutenção, em razão do número de substituições necessárias durante o ciclo de vida da edificação. Os resultados obtidos demonstram a importância de considerar as diversas fontes de incertezas em estudos de ACV de edificações, visto que traz clareza ao resultado gerado. Logo, cenários de manutenção condizentes com a realidade bem como considerar à qualidade dos dados, são aspectos importantes a serem aperfeiçoados nestes estudos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições que apoiam os pesquisadores envolvidos neste estudo: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao projeto Capacity Building and Knowledge Sharing Networking Events in the field of Life Cycle Assessment (LCA) in Brazil.

## Referências

ANICER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro. 2009a.

\_\_\_\_\_. NBR ISO 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro. 2009b.

\_\_\_\_\_. NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro. 2013.



CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Desenvolvimento com Sustentabilidade. Brasília, 2014.

\_\_\_\_\_. Desempenho de Edificações Habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Brasília, 2013.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 15978 - Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings— Calculation method. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2011a.

\_\_\_\_\_. EN 15643 - Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 2: Framework for the assessment of environmental performance. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2011b.

\_\_\_\_\_. EN 15804 - Sustainability of construction works - Environmental product declarations — core rules for the product category of construction products. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2013.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (2002) Resolução nº 307 de 05 de julho de 2002. Minist. do Meio Ambiente.

GRANT, A., RIES, R., KIBERT, C. Life cycle assessment and service life prediction: a case study of building envelope materials. J. Ind. Ecol. n.18, p.187–200, 2014.

MORAGA, G. L. Avaliação do ciclo de vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MORAGA, G. et al. (Org.). (2017) Relatório técnico de adaptação de dados de Inventário de Ciclo de Vida de materiais de construção. Porto Alegre: [s.n].

MORALES, M. et al. LCA as a tool to support decision making in social housing program: a comparison between two conventional typologies in southern Brazil. In: 1<sup>st</sup> SDEWES Lat. Amer. Conf.: Sustainable on Devel. Energy, Water and Environ. Syst. Rio de Janeiro, 2018.

WEIDEMA, B. P. (1998) Multi-User Test of the Data Quality Matrix for Product Life Cycle Inventory. Int. J. Life Cycle Ass. 3(5):259-265.

WEIDEMA, B. P.; WESNAES, M. S. (1996) Data quality management for life cycle inventories - an example of using data quality indicators. J. Clean. Prod. 4(3-4):167-174.

WEIDEMA B. P. et al. (2013). Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1(v3). St. Gallen: The Ecoinvent Centre.