AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE DIFERENTES TIPOS E COMBINAÇÕES DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO UTILIZADAS NO BRASIL

Tema: Sustentabilidade, vida útil e meio ambiente.
Grupo[1]: 1

LUCAS R. CALDAS[1], ROMILDO D. TOLEDO FILHO[2]

[1] Doutorando, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, lrc@coc.ufrj.br
[2] Prof. DSc., Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, toledo@coc.ufrj.br

RESUMO

Esta pesquisa quantificou os potenciais impactos ambientais de diferentes tipos e combinações de argamassas de revestimento utilizadas no Brasil, a partir da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A ACV foi realizada utilizando dados dos Cadernos Técnicos de Composições do SINAPI e Ecoinvent, adaptado à realidade brasileira. A combinação de chapisco 1:5 e camada única 1:3:12 apresentou-se como a menos impactante, para a maioria das categorias ambientais avaliadas. O cimento e a cal hidratada foram os insumos mais impactantes. A carbonatação da argamassa também foi quantificada e se mostrou importante para o impacto de Potencial de Aquecimento Global.

Palavras-chave: ACV, Chapisco, Camada única, carbonatação.

ENVIROMENTAL ASSESSMENT OF DIFFERENT KINDS AND COMBINATIONS OF COATING MORTARS USED IN BRAZIL

ABSTRACT

This research quantified the potential environmental impacts of different types and combinations of mortar's coatings commonly used in Brazil, by the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. The LCA was performed based on data from the Technical Notes of Compositions for Mortars and Grouts of SINAPI and Ecoinvent, adapted to the Brazilian context. The combination of 1:5 roughcast and 1:3:12 plastering mortar was the least impactful for most of the evaluated environmental categories. The cement and the hydrated lime were the most impactful inputs. The mortar's carbonation was also quantified and proved to be an important factor for the Global Warming Potential impact.

Keywords: LCA, roughcast, plastering mortar, carbonation.

[1] **Grupo 1:** Oriundos de teses, dissertações e relatórios finais de projetos de pesquisa; ou **Grupo 2:** oriundos de disciplinas de pós graduação, iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso (TCC), pesquisas aplicadas e outros.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o sistema de revestimento argamassado é realizado com camadas de argamassa, sendo as mais comuns o chapisco e camada única, como aponta Carasek (2010). As argamassas utilizadas nessas camadas possuem diferentes composições, sendo que a argamassa de chapisco convencional é composta por cimento, areia e água, enquanto que na camada única (também chamado de reboco paulista) utiliza-se argamassa mista, que além de cimento, areia e água, emprega-se a cal hidratada (YAZIGI, 2016).

Sabe-se que para a produção desses materiais cimentícios são gerados impactos ambientais durante as etapas de extração e produção das matérias primas, transporte e processamento. Esses materiais em especial devem merecer atenção especial tendo em vista que um dos insumos utilizados na produção é o cimento Portland. Ele é o material artificial mais consumido no mundo, sendo apontado como o responsável por 5% das emissões antrópicas globais de CO_2, 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 brasileira, por conseguir quantificar e avaliar esses potenciais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos materiais. 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 um estágio embrionário. Alguns produtos como cimento e materiais cimentícios como concreto e argamassa colante já possuem seus respectivos DAPs (INTERNATIONAL EPD SYSTEM, 2018). No entanto, as argamassas utilizadas como revestimentos, 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 Anand e Amor (2017). No entanto, 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. Neste sentido, faz se necessário urgentemente de 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 brasileira, a ACV desses materiais cimentícios tem uma grande justificativa, que servirá, posteriormente, como um importante documento 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 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para a quantificação de potenciais impactos ambientais de diferentes composições de chapisco e camada única e suas combinações para a produção de revestimentos argamassados.

2. MÉTODO

De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) a ACV é dividida em quatro etapas principais: (1) Definição do objetivo e escopo, (2) Inventário do ciclo de vida; (3) Avaliação do impacto do ciclo de vida; (4) Interpretação. As três primeiras etapas serão apresentadas a seguir e a última na seção de Resultados e Discussão.

2.1. Definição do objetivo, escopo e unidade funcional

O objetivo desta ACV é comparar os potenciais impactos ambientais de diferentes combinações de revestimentos de argamassa, normalmente empregados no Brasil, considerando as camadas de chapisco (com 5 mm de espessura) e camada única (25 mm de espessura). Foram considerados as mesmas argamassas e mesmas espessuras na parte interna e externa. A unidade funcional adotada foi 1 m² de vedação vertical. Foram consideradas as seguintes etapas no escopo do estudo: produção das matérias primas da argamassa (cimento, cal hidratada e areia), transporte das matérias primas, mistura da argamassa e carbonatação do revestimento.

2.2. Inventário do ciclo de vida

Para a composição das argamassas de chapisco e camada única foram utilizados os Cadernos Técnicos de composições para Argamassas e Grautes (SINAPI, 2017) que possui diferentes composições de argamassa, sendo consideradas as argamassas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Argamassas avaliadas e composição.

Traço em volume	Consumo cimento (kg/m³)	Consumo cal hidratada (kg/m³)	Consumo areia[1] (kg/m³)	Energia elétrica (kWh/m³)
Chapisco 1:3	405,8	-	1696,2	6,3
Chapisco 1:4	325,6	-	1808,3	6,7
Chapisco 1:5	273,5	-	1904,2	6,2
Camada única 1:1:6	245,4	128,0	2048,3	8,7
Camada única 1:1,5:7,5	195,3	152,8	2032,2	6,8
Camada única 1:2:8	180,7	188,6	2016,1	6,4
Camada única 1:2:9	169,8	177,1	2128,4	6,7
Camada única 1:3:12	126,9	198,7	2112,5	8,1

[1]Foi considerada massa unitária de 1600 kg/m³.

Para a areia (considerada natural) e cal hidratada foram considerados os processos disponíveis no banco de dados do Ecoinvent v.3.3, sendo que a energia elétrica foi adaptada para a matriz

de energia brasileira. Para o cimento Portland, foi considerado o cimento CP-II E, que foi modelado aproveitando parte do banco de dados disponível no Ecoinvent, mas com a mudança do processo de produção de clínquer, considerando a matriz de energia elétrica brasileira e fontes energéticas para a produção do clínquer brasileiro, retirada do Balanço Energético Nacional (MME, 2018). Foi considerado que 10% do clínquer é substituído por escória granulada de alto forno e 5% de fíler calcário, adotando os processos presentes no Ecoinvent para esses materiais. A quantificação da água utilizada nas misturas foi retirada do escopo tendo em vista que apresentou impactos desprezíveis (menor que 1%) para as categorias de impacto avaliadas. Para o transporte da areia adotou-se três distâncias: 50 km, 100 km e 200 km, para o cimento e cal hidratada também: 100 km, 200 km e 400 km. A avaliação da variação das distâncias de transporte em um estudo de ACV é importante, como é visto no estudo de Escamilla et al. (2018).

2.3. Avaliação do impacto do ciclo de vida

O método de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) CML 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 15804 (CEN, 2012). A modelagem foi realizada no software SimaPro v. 8.5.

2.4. Avaliação do processo de carbonatação das argamassas

Para uma camada de argamassa de pequena espessura e exposta, como rebocos, o processo de carbonatação é considerado rápido e completado dentro de um ano (PITTAU *et al.,* 2018). Para a quantificação do CO_2 absorvido durante esse um ano utilizou-se a equação 1, retirada de Collins (2010). Adotou-se que o teor de CaO no cimento CPII-E-32 é de 0,55 e 0,70 na Cal Hidratada CHI, a partir de dados de fabricantes. Assumiu que um total de 75% do CaO é convertido em carbonato de cálcio segundo Lagerblad (2005). A relação entre as massas molares de CO_2/CaO é de 0,79.

$$m_{CO2} = \left(\frac{x(t)}{1000}\right) x\ A\ x\ (c_{cim\,x} x\ CaO_{cim}\ + c_{cal} x\ CaO_{cal})\ x\ r\ x \left(\frac{MM_{CO_2}}{MM_{CaO}}\right) \qquad (1)$$

Onde,

m_{CO2} é a massa de CO_2 sequestrada pela carbonatação em um tempo t (kg);
x(t) é a profundidade da argamassa carbonatada no tempo t (mm);
A é a área superficial exposta (m²);
c_{cim} é a quantidade de cimento Portland na argamassa (kg/m³);
CaO_{cim} é o teor de CaO na composição do cimento Portland;
c_{cal} é a quantidade de cal hidratada na argamassa (kg/m³);

CaO_{cal} é o teor de CaO na composição do cimento Portland;
r é a proporção de CaO que é convertida em carbonato de cálcio (CaCO3);
MM_{CO2} é a massa molar do CO_2 (g/mol);
MM_{CaO} é a massa molar do CaO (g/mol).

A quantidade de CO_2 absorvido pelo processo de carbonatação foi contabilizado como valor negativo na categoria de potencial de aquecimento global (GWP100). Como a carbonatação tem influência das condições locais de exposição e composição dos revestimentos foi realizada análise de sensibilidade considerando três espessuras de frentes de carbonatação para um ano: 10 mm, 15 mm e 25 mm no revestimento de camada única (de ambos os lados da vedação).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

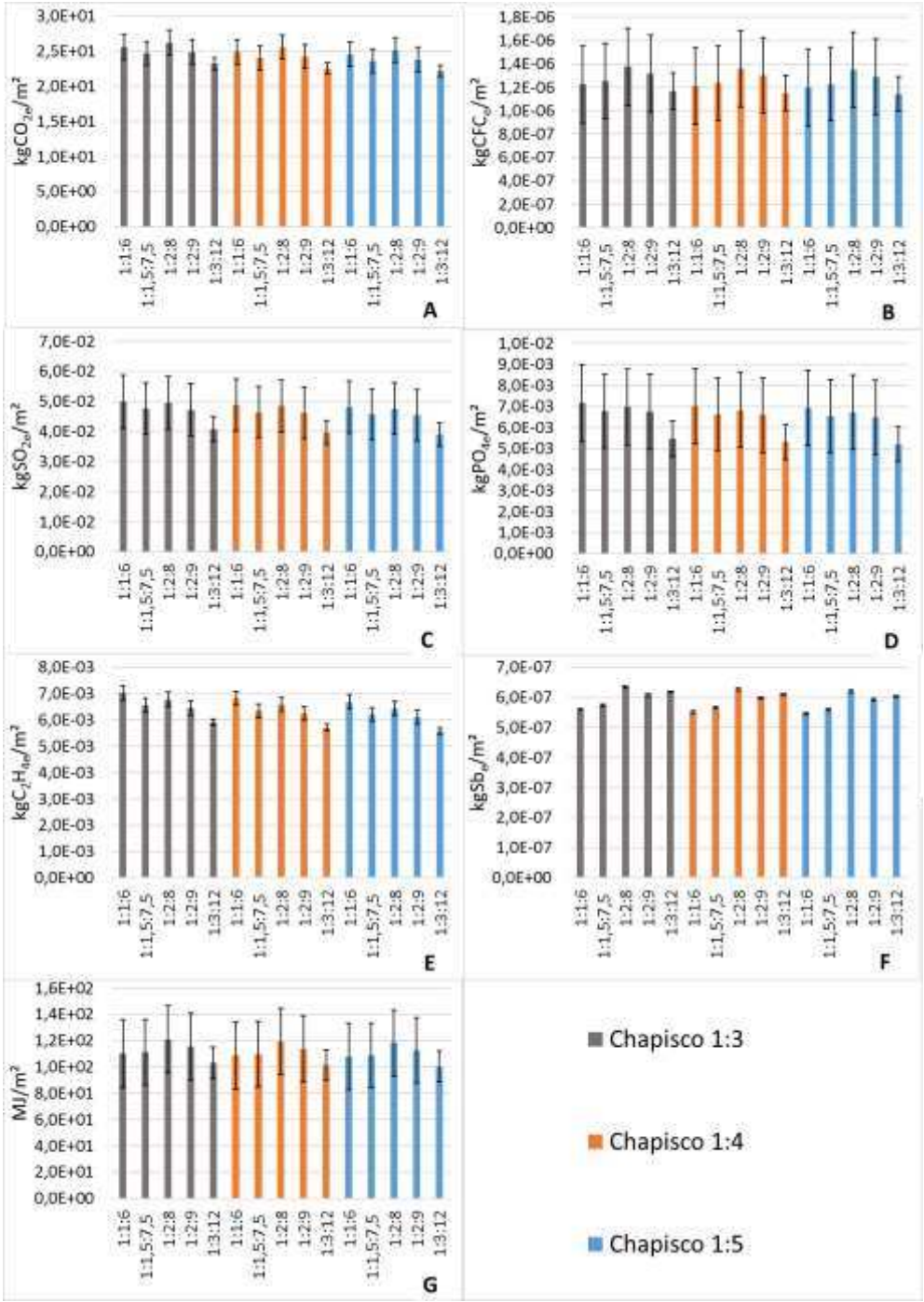
Na Figura 1 são apresentados os resultados dos potenciais impactos ambientais para diferentes combinações de revestimento argamassado com chapisco e camada única. É possível observar que as combinações com chapisco com traço mais rico (1:3), na cor cinza, são mais impactantes para a maioria das categorias de impacto avaliadas. O traço 1:2:8 de camada única foi o mais impactante para a maioria das categorias, que se deu devido a um elevado consumo de cimento CPII e cal hidratada quando comparado aos outros traços. Quando se aumenta a participação de areia na mistura os impactos começam a decrescer, já que o processo de obtenção de areia é muito menos intensivo que a produção de cimento e cal.

Esse comportamento só não é observado para a categoria de depleção de elementos, que considera que a exaustão de areia natural tem um maior impacto que a exaustão dos elementos normalmente utilizados para fabricação de cimento e cal, normalmente calcário e argila. A variação nas distâncias de transporte (representada pelas barras de erros) mostrou que para algumas categorias de impacto ela possui uma grande influência nos resultados, sendo, portanto, importante avalia-las dependendo do objetivo do estudo.

Pensando somente na redução de potenciais impactos ambientais, e, considerando os dados utilizados nesta pesquisa, a combinação de chapisco 1:5 e camada única 1:3:12 tende a ser a menos impactante, e, portanto, deve ter seu uso incentivado, isto é, quando for possível diante as realidades do local e condições de construção.

Figura 1 – Potencial impactos ambientais das argamassas avaliadas. (A) Potencial de aquecimento global. (B) Potencial de depleção da camada de ozônio. (C) Acidificação. (D) Eutrofização. (E) Formação de fotooxidantes. (F) Depleção abiótica de elementos. (G) Depleção abiótica de combustíveis fósseis.

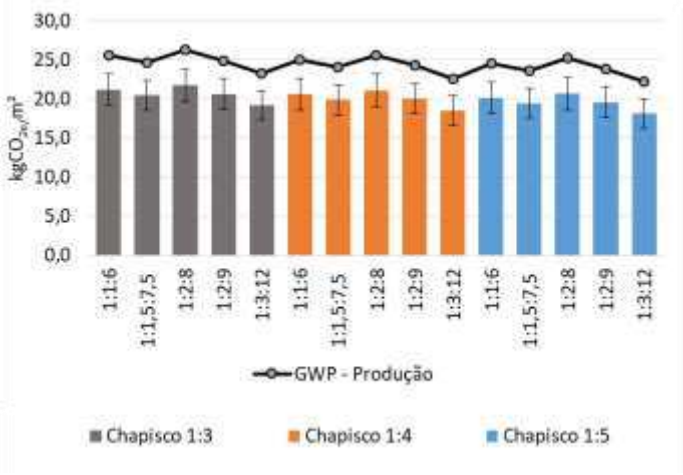
ISSN 1984-8757



Fonte: Autores (2018)

Na Figura 2 é apresentado o impacto de GWP100 considerando o processo de carbonatação da argamassa.

Figura 2 – Comparação do impacto de GWP100 considerando a carbonatação.



Fonte: Autores (2018)

A combinação de chapisco 1:5 e camada única 1:3:12 continuou sendo a menos impactante, chegando a um valor de 16,02 $kgCO_{2e}/m^2$. Observou-se que quando a carbonatação é considerada existe a possibilidade de diminuir o impacto de GWP100 em até 30%. Diferentemente que ocorre para estruturas de concreto, em que a carbonatação leva a despassivação e corrosão da armadura (MEHTA; MONTEIRO, 2014), para argamassas (sem reforço) ela tem um efeito benéfico, pois além de capturar o CO_2 atmosférico, traz melhorias em termos de durabilidade e desempenho mecânico, por fechar os poros e aumentar a resistência da argamassa utilizada no revestimento. Portanto, é recomendado que o CO_2 capturado via carbonatação seja quantificado nos estudos de ACV aplicados às argamassas.

4. CONCLUSÕES

O uso da ACV permitiu calcular potenciais impactos ambientais de diferentes combinações de composições de chapisco e camada única normalmente empregadas no setor da construção civil brasileira. O cimento e cal hidratada foram os insumos mais impactantes. A combinação chapisco com traço 1:3 e camada única de 1:2:8 foi a mais impactante para a maioria das categorias de impacto avaliadas, enquanto a combinação chapisco 1:5 e camada única 1:3:12 a menos impactante. A carbonatação da argamassa pode ter um impacto significativo para redução do impacto de GWP100. Em futuros estudos deve ser explorado como essas diferentes combinações influenciam questões de desempenho e durabilidade dos revestimentos e a inclusão de novas etapas do ciclo de vida na avaliação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANAND, Chirjiv K. and AMOR, Ben. Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, January 2017, vol. 67, n°1, p. 408-416.

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

3. CARASEK, H. Argamassas. *In*: Isaia, G.C. (ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, cap. 28, p. 893-944.

4. COLLINS, F. Inclusion of carbonation during the life cycle of built and recycled concrete: influence on their carbon footprint. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 2010, vol. 15, n. 6, p. 549–556.

5. ESCAMILLA, et al. Industrial or traditional bamboo construction? Comparative Life Cycle (LCA) of Bamboo-Based Buildings. **Sustainability**, 2018, vol. 10, p. 1-14.

6. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN EN 15804**: sustainability of construction works: environmental product declarations: core rules for the product category of construction products. Brussels, 2012.

7. GELOWITZ, M. D. C. MCARTHUR, J. J. Comparison of type III environmental product declarations for construction products: Material sourcing and harmonization evaluation. **Journal of Cleaner Production**, January 2017, vol. 157, nº 20, p. 125-133.

8. INTERNATIONAL EPD SYSTEM. Disponível: <http://www.environdec.com/en/Detail/epd895> Acesso em 21. Jan. 2018.

9. LAGERBLAD, B. **Carbon dioxide uptake during concrete life cycle: State of the art**. Oslo: Nordic Innovation Centre. Disponível em:

10. MEHTA, K.; MONTEIRO, P**. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** IBRACON, 2014. v. 2, 751 p.

11. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Balanço Energético Nacional**. Ano base 2017.Empresa de Pesquisa Energética, 2018.

12. PITTAU et al. Fast-growing bio-based materials as an opportunity for storing carbon in exterior walls. **Building and Environment**, vol. 129, nº 1, p. 117-129, 2018.

13. SINAPI. **Cadernos Técnicos de Composições para Argamassas e Grautes**. Lote 1, Caixa Econômica Federal, 2017.

14. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCS). International Energy Agency, Cement Technology Roadmap 2009, 2009.

15. YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 15ª ed. Ed. PINI, São Paulo: 2016.