# AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE REVESTIMENTOS DE TERRA: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VIDA ÚTIL NO CICLO DE VIDA

**Tema:** Sustentabilidade, vida útil e meio ambiente.

**Grupo[1]:** 1

LUCAS CALDAS[1], RAYANE PAIVA[2], ADRIANA MARTINS[3], ROMILDO TOLEDO FILHO[4]

[1] Doutorando, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, lrc@coc.ufrj.br
[2] Doutoranda, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, rayane@coc.ufrj.br
[3] DSc, Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, adripsmartins@gmail.com
[4] Prof. DSc., Programa de Engenharia Civil/COPPE/UFRJ, toledo@coc.ufrj.br

**RESUMO**

Este trabalho analisou os potenciais impactos ambientais de revestimentos à base de terra e areia, estabilizadas com cal e/ou cimento . Foram investigados diferentes cenários de vida útil dessas argamassas e essas foram comparadas com argamassas convencionais de cimento, cal e areia. Foi utilizada a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), com o escopo do berço ao túmulo, utilizando dados primários e do Ecoinvent. Os revestimentos de terra devem apresentar uma vida útil mínima de 8 a 17 anos para se tornarem ambientalmente mais competitivos que os convencionais, para a categoria de dano de Mudanças Climáticas.

**Palavras-chave:** Argamassa de terra, ACV, vida útil.

# ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF EARTH COATINGS: ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SERVICE LIFE IN THE LIFE CYCLE

**ABSTRACT**

This article evaluated the potential environmental impacts of earth and sand based coatings stabilized with lime and/or cement. Different service life scenarios of these mortars were evaluated when compared to conventional mortars, made of cement, lime and sand. We used the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, with a cradle to grave scope and primary and Ecoinvent data. Earth coatings need to have at least service lives from 8 to 17 years if they pretend to be more environmentally competitive than conventional coatings for the Climate Change damage.

**Keywords:** Earth mortar, LCA, service life.

[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

Nos últimos anos, a preocupação ambiental e a busca por um desenvolvimento mais sustentável, tem impulsionado o setor da construção civil no desenvolvimento de materiais de baixo impacto ambiental, que possuam um ciclo de vida menos poluente que os materiais atualmente utilizados, como o cimento, aço e cerâmica. Dentre esses materiais, a terra crua destaca-se como uma alternativa promissora e vantajosa, pois é um material natural, com elevada disponibilidade, capaz de ser aplicado por mão de obra não especializada, com boas propriedades higrotérmicas, não tóxico, incombustível e reciclável[1].

O emprego de revestimentos externos à base de cal e terra e internos à base de terra pode ser observado nos sistemas construtivos vernaculares tais como taipa de pilão, pau a pique e alvenarias de adobe. Entretanto essas técnicas foram progressivamente abandonadas com o advento dos materiais industrializados, a partir de meados do século XIX[2].

Atualmente, no Brasil, as argamassas de terra têm merecido atenção crescente tanto de pesquisadores quanto de profissionais da construção civil, haja vista as entidades, redes de pesquisa e os eventos especializados no tema, tais como Associação Brasileira de Materiais Não Convencionais (ABMTENC), rede PROTERRA, congressos Terra Brasil, respectivamente, dentre outros. No entanto, quando se pensa no uso de sistemas de menor impacto ambiental, além da etapa de produção dos materiais, é crucial que seja considerado desempenho desses sistemas ao longo de todo o ciclo de vida. Um item importante para uma especificação mais sustentável é o comportamento de durabilidade da argamassa. Quando as argamassas apresentam maior durabilidade, consequentemente terão uma vida útil maior e necessitarão de reposições menos frequentes ao longo da vida útil.

Revestimentos de terra podem ter uma menor vida útil quando comparados a revestimentos de argamassas de cimento ou mistas (cimento e cal), fazendo com que o ganho ambiental inicial seja perdido com a quantidade de reposições durante o ciclo de vida da edificação. Desta forma, é importante determinar a vida útil mínima para os revestimentos de terra, capaz de torná-los ambientalmente vantajosos quando comparados com os convencionais. Uma das ferramentas que pode ser utilizada para obtenção desse parâmetro é a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Alguns estudos como Martins et al.[5], Meliá et al.[6] Arrigoni et al. [9] já aplicaram a ACV para a avaliação de materiais à base de terra.

As substituições do revestimento de terra podem ocorrer em pequenas regiões da alvenaria (pontuais) ou em todo o pano, dependendo de fatores tais como sua composição, número de camadas, proteções previstas no projeto arquitetônico (beirais, etc), severidade do clima, periodicidade da manutenção [10].

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os potenciais impactos ambientais de revestimentos internos e externos à base de terra, areia e estabilizadas com cal e/ou

cimento, que podem ser aplicados sobre substratos usuais (concreto, blocos cerâmicos, blocos de concreto), e estimar valores de vida útil que esses revestimentos precisam ter para que tenham um melhor desempenho ambiental, quando comparados a revestimentos convencionais de cimento e cal.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Composição das argamassas avaliadas

As argamassas convencionais adotadas no estudo tiveram traço (em volume) 1:2:9 e 1:3:12 (cimento:cal:areia), obtidos do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)[3], de códigos 88715 e 87295, respectivamente. Foram avaliadas seis argamassas de terra estabilizada, três com cal e três com cimento, usadas no lado externo, com traços em massa desenvolvidos em laboratório a partir de traços obtidos na literatura, sendo eles: 1:0,05:3,75 (terra : cal ou cimento : areia), 1:0,10:3,70 (terra : cal ou cimento : areia). e 1:0,15:3,65 (terra : cal ou cimento : areia). Para o lado interno foi considerada uma camada de argamassa de terra e areia de traço em massa de 1:2,4.

### 2.2. Definição do escopo e unidade funcional

O escopo considerado consistiu nas etapas de produção dos materiais utilizados na argamassa, transporte até o canteiro de obras, mistura da argamassa e reposição das argamassas (de terra), considerando o transporte das novas argamassas e destinação final das antigas. Foi utilizada como unidade funcional a área de revestimento de 1 $m^2$ em ambos os lados de um pano de alvenaria de fachada de 1 $m^2$, com espessura de 30 mm de cada lado. Para o lado externo foi considerado revestimento com cal hidratada, terra e areia , enquanto que para o lado interno foi considerado revestimento de terra e areia. Para as argamassas convencionais foi considerado que são aplicadas em ambos os lados da alvenaria sobre uma camada de chapisco (5 mm de cada lado), sendo constituídas por uma camada única de reboco (25 mm de cada lado).

### 2.3. Inventário do ciclo de vida

Foram avaliadas as argamassas em volume ($m^3$) para posterior avaliação na unidade funcional adotada, em $m^2$. Para o inventário do ciclo de vida foram utilizados dados do banco de dados do Ecoinvent v. 3.3, com adaptação à realidade brasileira para o consumo de energia elétrica e para o tipo de cimento utilizado. Para o solo foi considerado a produção de argila, com extração mecanizada do material. No caso da areia natural foram levadas em conta as operações para sua extração . Foi utilizado o cimento Portland CP II-E32, considerando 5% de fíler e 10% de escória de alto forno. Para a cal hidratada foram analisadas as etapas de produção e ensacamento. Foi considerado que as argamassas são

misturadas em betoneira de 400 L, com potência de 2 CV, retirado do banco de dados do SINAPI[3] . Foi adotado transporte rodoviário com caminhões de carga de 10-32 toneladas, do tipo EURO 3, disponibilizados no Ecoinvent v.3.3. Para as distâncias de transporte foram adotados valores mínimos, médios e máximos, considerando uma variação dependendo dos insumos. Os valores adotados foram de 5, 50 e 200 km; 50 , 200 e 500 km; 50, 200 e 500 km; 20 , 50 e 100 km, para a terra, o cimento, a cal e a areia, respectivamente. Para o fim de vida das argamassas substituídas foram adotadas distâncias de transporte de 20, 40 e 60 km e destinação em aterro de resíduos inertes. Metodologia similar à empregada por Martins *et al.*[5].

### 2.4. Avaliação de impacto do ciclo de vida

Foi utilizado o método de avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV) IMPACT 2002+. Nesse sentido foram considerados as seguintes categorias de danos ambientais: (1) Mudanças Climáticas; (2) Saúde Humana; (3) Qualidade dos Ecossistemas; e (4) Depleção de Recursos. A modelagem foi realizada no software SimaPro v.8.5.

### 2.5. Estimativa dos valores de vida útil dos revestimentos de argamassa

Para a etapa de reposição da argamassa de revestimento terra, além da etapa de produção, transporte e aplicação dos materiais utilizados no novo revestimento, foi contabilizado o revestimento de terra antigo que é removido, transportado e enviado para destinação final, conforme recomendações da EN 15804:2012[7]. Para o cálculo dos impactos devido à reposição da argamassa de terra em comparação com as argamassas convencionais de cimento e cal, foi quantificado o fator de reposição (FR) para diferentes vidas úteis da argamassa, conforme a relação entre a vida útil da edificação (VUe) e a vida útil da argamassa de terra (VUa). Foi adotada como VUe o valor de 50 anos, conforme a ABNT NBR 15575:2013[8]. Para a VUa foram considerados valores de 1 a 50 anos. Para as argamassas convencionais adotou-se que não haverá reposição das mesmas (mesma vida útil da edificação, de 50 anos). Embora as argamassas de terra utilizadas nas faces internas e externas da fachada sejam diferentes, foi considerado que ambas são substituídas durante a reposição do revestimento.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Potenciais impactos ambientais dos revestimentos avaliados

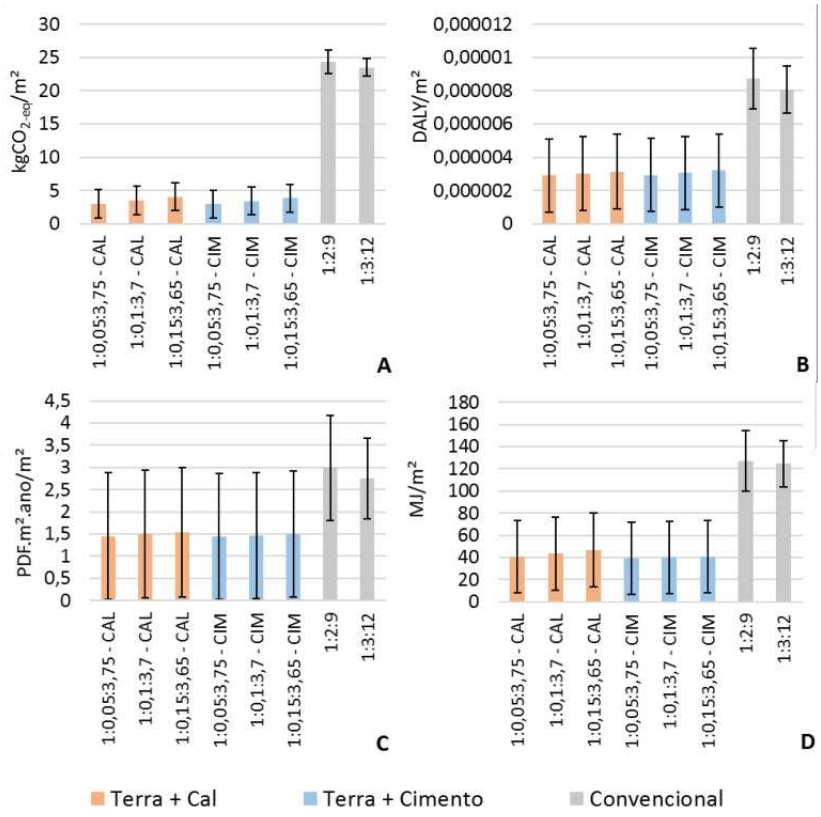
Na Figura 1 são apresentados os potenciais impactos ambientais dos revestimentos avaliados. Os revestimentos de terra quando comparados com as argamassas convencionais apresentam menores potenciais impactos ambientais, principalmente para as categorias de Mudanças Climáticas, Saúde Humana e Depleção de Recursos, chegando a diferenças de



ISSN 1984-8757 

80%. Para as argamassas de terra e areia, a areia foi o material mais impactante. Para as argamassas de terra estabilizada, os estabilizantes químicos, a cal e o cimento, foram os materiais mais impactantes para todas as categorias de impacto avaliadas. Arrigoni *et al.*[9] e Martins *et al.*[5], que estudaram terra estabilizada comprimida e terra autoadensável com fibras de sisal, respectivamente, verificaram que o estabilizante químico, no caso deles, o cimento, foi o insumo mais impactante, corroborando com os resultados aqui encontrados. Quando são avaliadas distâncias médias e máximas elas ocupam a maior participação das etapas avaliadas para as argamassas de terra. O processo de mistura das argamassas, que normalmente consome energia elétrica, apresentou uma participação que pode ser desprezada.

Figura 1 - Comparação dos potenciais impactos ambientais dos revestimentos avaliados. (A) Mudanças Climáticas. (B) Saúde Humana. (C) Qualidade do Ecossistema. (D) Depleção de Recursos.

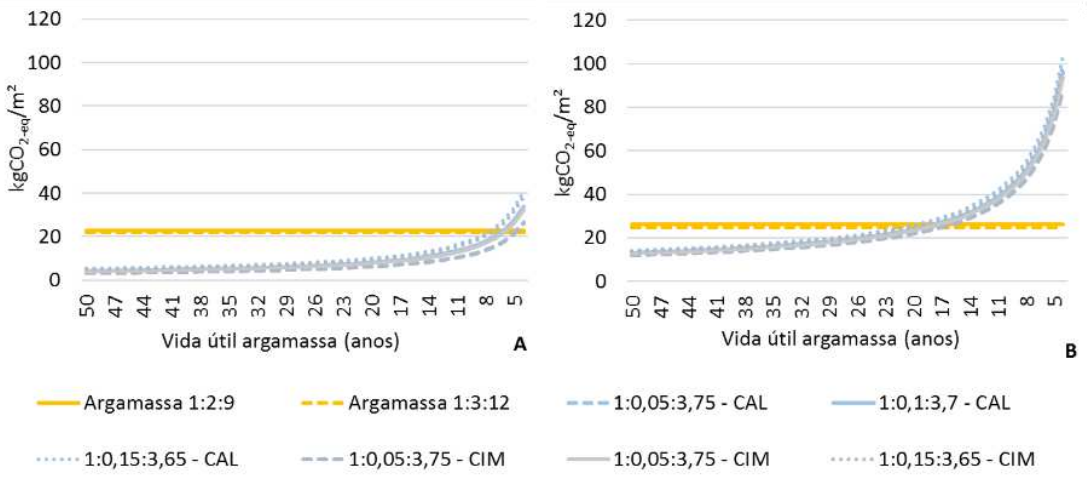



Fonte: Autores (2018)

### 3.2. Avaliação considerando diferentes vidas úteis das argamassas de terra

Na Figura 2 são apresentados os resultados considerando os diferentes valores de vida útil das argamassas de terra para o dano de Mudanças Climáticas.

Figura 2 - Avaliação da vida útil das argamassas de terra para a categoria de Mudanças Climáticas. (A) Distâncias mínimas. (B) Distâncias máximas.




Fonte: Autores (2018)

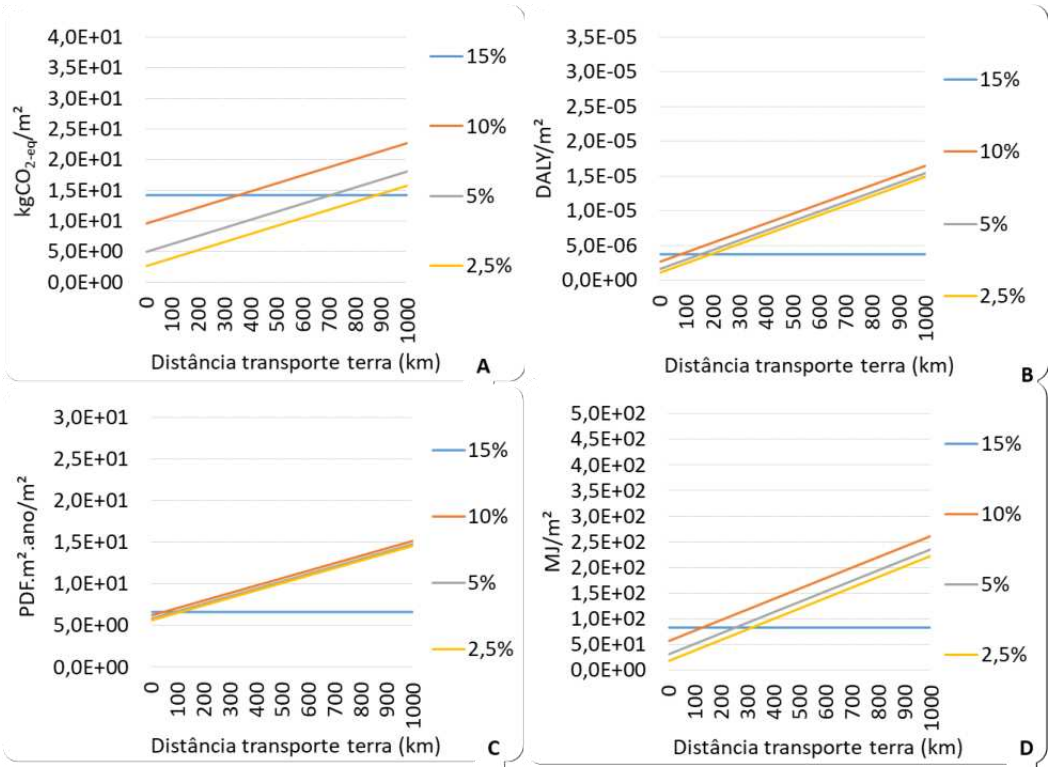
Para os cenários com maiores distâncias de transporte dos materiais (Figura 2B), os valores de vida útil dos revestimentos de terra precisam ser maiores caso se deseje maior competitividade em relação aos revestimentos convencionais. Isto já era esperado tendo em vista que o transporte dos novos materiais e do revestimento antigo com sua destinação final foram contabilizados durante a reposição. Para um cenário de menores distâncias de transporte dos insumos (Figura 2A), o revestimento de terra precisaria ter pelo menos uma vida útil de 8 anos, enquanto que para o cenário de maiores distâncias a vida útil precisaria ser de pelo menos de 17 anos. Para as outras categorias de dano, esse intervalo foi de 28 a 50 anos para Saúde Humana, 15 a 50 anos para a Qualidade do Ecossistema e 12 a 50 anos para a Depleção de Recursos. Portanto, evidencia-se a importância da elaboração de projetos que aumentem a vida útil dos revestimentos de terra, incorporando consequentemente detalhes construtivos tais como proteção da base, beirais maiores e proteções laterais, objetivando aumentar ainda mais o potencial dos ganhos ambientais.

Ainda em relação ao transporte, verifica-se que a terra em si é o material que exerce maior impacto, também verificado por Martins et al.[5] , corroborando, de forma quantitativa, para a recomendação de usar terra local, isto é, quando existir terra em quantidade e qualidade disponível próxima ao canteiro de obras. Como o estabilizante químico é o material de maior impacto, talvez seja mais interessante obter uma terra mais distante, mas que requeira um menor teor de estabilizante. Pensando nisso foi realizada uma análise de sensibilidade, onde foi considerado teor de cal de 2,5%; 5%; 10% e 15% (em relação à massa de terra), sendo considerado para o caso de 15% um solo local com distância de 5 km. E para os teores de 2,5%; 5% e 10% foi verificado até quais valores de distâncias de transporte a terra utilizada na mistura pode ser transportada. Com base nos resultados (Figura 3) verifica-se que para o

dano de Mudanças Climáticas, é mais vantajoso utilizar solos de locais mais distantes, podendo chegar a uma distância superior a 850 km, caso seja necessário um teor de estabilizante de 2,5% (na hipótese dos solos serem de melhor qualidade e precisarem de um menor teor de estabilizante).

Por outro lado, para as outras categorias de dano, principalmente para Saúde Humana e Qualidade dos Ecossistemas, o uso de terra de locais mais distantes não é uma alternativa tão vantajosa, com um limite estimado de no máximo 100 km. Esses achados são importantes quando se pensa em uma especificação ambientalmente mais responsável de revestimentos de terra, tendo em vista que a terra é um material natural e não homogêneo e pode ter sua disponibilidade, tanto em quantidade, por exemplo em locais muito adensados[2], como qualidade, comprometida.

Figura 3 - Análise de sensibilidade entre teor de estabilizante e distância de transporte do solo. (A) Mudanças Climáticas. (B) Saúde Humana. (C) Qualidade do Ecossistema. (D) Depleção de Recursos.




Fonte: Autores (2018)

## 4. CONCLUSÕES

Embora os revestimentos de terra apresentem menores potenciais impactos ambientais que os convencionais, uma vida útil menor pode mudar completamente os resultados finais. Por

outro lado, se eles tiverem uma vida útil similar a revestimentos convencionais, é possível obter consideráveis ganhos ambientais, por exemplo podendo chegar a mais de 80% de redução para o impacto de Mudanças Climáticas. Esse estudo contribui para definição de parâmetros de projeto e especificações importantes para a formulação de revestimentos de terra, com base em um melhor desempenho e sustentabilidade ambiental. Para estudos futuros pretende-se explorar a influência de outros aspectos de desempenho (higrotérmico, acústico, dentre outros) nos impactos ambientais do ciclo de vida desses revestimentos, assim como incluir a avaliação de outros materiais convencionais de revestimento, por exemplo, cerâmicos e rochas ornamentais.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. TORGAL; F. P.; EIRES; R. M. G.; JALALI, S. **Construção em Terra**. Guimarães: Publidisa, 2009.
2. CORDEIRO, Carol Cardoso Moura et al. Construções vernáculas em terra: perspectiva histórica, técnica e contemporânea da taipa de mão. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e01906, jan. 2019.
3. SINAPI. **Cadernos Técnicos de Composições para Argamassas e Grautes**. Lote 1, Caixa Econômica Federal, 2017.
4. GOMES, M. I.; FARIA, P.; GONÇALVES, T. D. Earth-based mortars for repair and protection of rammed earth walls. Stabilization with mineral binders and fibers. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p.2401-2414. 2018.
5. MARTINS, et al. Avaliação do ciclo de vida de compósitos solocimento-fibras de sisal considerando diferentes distâncias de transporte. VII Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil. In: **Anais**...Rio de Janeiro, 2018.
6. MELIÀ, P.; RUGGIERI, G.; SABBADINI, S.; DOTELLI, D. Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters. **Journal of Cleaner Production**, v. 80, p. 179 – 186, 2014.
7. 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.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
9. ARRIGONI, A. et al. Life cycle analysis of environmental impact vs. durability of stabilised rammed earth**. Construction and Building Materials**, v. 142, n. 1, p.128-136. 2017.
10. KHAN ACADEMY, 2019, disponível em https://www.khanacademy.org/humanities/art-africa/west-africa/mali1/a/great-mosque-of-djenne. Acesso em abril de 2019.