ECONOMIA CIRCULAR APLICADA AO PATRIMÔNIO EDIFICADO: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS TERROSOS

Autores: Pâmela Sabrina Barbosa Bento[1], Willian Guimarães de Carvalho Costa[2], Profa. Dra. Jeniffer de Nadae[3], Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro[4].

[1234]Universidade Federal de Itajubá/Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Tecnologias e Sociedade (PPG-DTECS), Avenida BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá – MG, Brasil, pamelasabrina1993@gmail.com, williancostag@unifei.edu.br.

Resumo

A construção civil é um dos setores que mais consomem recursos e geram resíduos, operando historicamente sob um modelo linear de descarte. A Economia Circular surge para manter o valor dos materiais em múltiplos ciclos. Neste trabalho de disciplina, o objetivo é o reaproveitamento de resíduos terrosos provenientes do processo natural de degradação de uma edificação histórica do município de Itajubá-MG e, futuramente, sua utilização em intervenções de restauro, com foco na redução dos impactos ambientais e na preservação da autenticidade física, química e estética do bem. A pesquisa interdisciplinar caracteriza-se como aplicada, de abordagem quali-quantitativa, e foi desenvolvida a partir da caracterização microestrutural e química de resíduos de pau a pique. A análise químico-microestrutural e a caracterização físico-química evidenciam a compatibilidade desses materiais para reuso. Assim, promovem-se intervenções baseadas em evidências que preservam a autenticidade material e reduzem a extração de matérias-primas.

Palavras-chave: Patrimônio Edificado. Construções em Terra. Materiais. Economia Circular.

Área do Conhecimento: Ciência Sociais Aplicadas.

Introdução

A construção civil se posiciona entre os setores que mais consomem recursos naturais e geram resíduos em escala mundial, sendo responsável por grande parcela da extração de matérias-primas, do consumo energético e das emissões de gases de efeito estufa. Tradicionalmente, as atividades do setor da construção são conduzidas segundo uma lógica linear, caracterizada pela extração de recursos, produção e utilização de materiais e posterior geração e descarte de resíduos. Essa dinâmica contribui para o consumo intensivo de recursos naturais e para a perda de materiais que poderiam permanecer em ciclos de utilização mais longos (Finamore; Oltean-Dumbrava, 2024; Ranasinghe; Domingo; Kahandawa, 2024).

Nesse contexto, a Economia Circular (EC) propõe a reorganização dos fluxos de materiais no ambiente construído, priorizando estratégias de recuperação, reutilização e reciclagem capazes de prolongar a permanência dos recursos em uso e reduzir a dependência de matérias-primas primárias (Finamore; Oltean-Dumbrava, 2024; Finamore; Oltean-Dumbrava, 2026).

Contudo, apesar de seus princípios serem amplamente discutidos para edificações contemporâneas, sua aplicação ao patrimônio histórico ainda permanece pouco explorada, e tal cenário se mostra particularmente relevante para edificações construídas com técnicas tradicionais em terra, como adobe, taipa de pilão e pau a pique, uma vez que diferentemente de muitos materiais industrializados, a terra crua utilizada nessas técnicas apresenta elevada capacidade de reutilização, podendo ser reidratada, reprocessada e reincorporada em novas aplicações construtivas sem perder suas propriedades fundamentais (Minke, 2012).

Esse desafio assume importante relevância em Minas Gerais, estado que concentra aproximadamente 46% dos bens culturais protegidos do país e possui um dos maiores acervos de patrimônio edificado do Brasil (Brasil, 2018). Paralelamente à riqueza patrimonial, observa-se um número significativo de edificações históricas em avançado estado de degradação, especialmente em municípios do Sul de Minas Gerais, onde construções em terra permanecem expostas à ação contínua das intempéries e ao abandono. Em Itajubá, esse cenário é representado por uma edificação localizada

na Rua Coronel Francisco Braz (Figura 1), inserida no conjunto arquitetônico do centro histórico da cidade, cuja deterioração progressiva evidencia tanto os desafios da conservação quanto o potencial de aproveitamento dos materiais provenientes de seu processo de arruinamento.

Nesse contexto, emerge a seguinte questão de pesquisa: como viabilizar a reutilização de resíduos terrosos provenientes de edificações históricas em estado avançado de degradação em intervenções de restauro e conservação preventiva, assegurando a compatibilidade material e os princípios da preservação patrimonial?

Para responder a essa questão, parte-se da hipótese de que a caracterização físico-química dos resíduos terrosos pode fornecer evidências para sua reinserção em novas aplicações construtivas, substituindo práticas convencionais baseadas na extração de novas matérias-primas. Nessa perspectiva, resíduos gerados pelo processo natural de degradação deixam de ser compreendidos como passivos ambientais e passam a ser tratados como recursos capazes de manter seu valor técnico, histórico e cultural ao longo de sucessivos ciclos de utilização. Assim, o objetivo deste estudo é caracterizar resíduos terrosos provenientes de uma edificação histórica localizada em Itajubá-MG a fim de identificar evidências que subsidiem seu potencial de reutilização em intervenções de conservação preventiva e restauro.

Metodologia

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada (Gil, 2019), por buscar gerar conhecimentos voltados à solução de um problema específico relacionado ao reaproveitamento de resíduos terrosos em intervenções de conservação e restauro do patrimônio edificado. Quanto à abordagem, classifica-se como quali-quantitativa, uma vez que integra a análise qualitativa da morfologia das partículas e a interpretação dos resultados obtidos por técnicas de caracterização de materiais com dados quantitativos referentes à composição química da amostra (Creswell, 2021).

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a pesquisa combina pesquisa de campo e pesquisa experimental. A pesquisa de campo compreendeu a identificação da edificação histórica, o levantamento das condições de degradação, o registro fotográfico e a coleta de amostras *in loco*. A etapa experimental consistiu na preparação e caracterização físico-química dos resíduos terrosos em laboratório, utilizando técnicas de análise microestrutural amplamente empregadas na Ciência dos Materiais, como, análise da morfologia por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e análise química por Espectroscopia de Raios X por Dispersão de Energia (EDS).

Os resultados obtidos por MEV e EDS foram analisados de forma integrada e comparados com a literatura técnica sobre construções em terra e conservação patrimonial, buscando identificar características microestruturais e químicas coerentes com materiais tradicionalmente empregados em edificações de pau a pique, de modo a subsidiar a discussão sobre seu potencial de reutilização em intervenções de conservação preventiva e restauro.

Resultados

A pesquisa investigou o potencial de reaproveitamento de resíduos terrosos provenientes de uma edificação histórica construída em pau a pique, localizada no centro histórico de Itajubá-MG, sob a perspectiva da EC aplicada ao patrimônio construído. A classificação da técnica construtiva como pau a pique se deu em razão da inspeção visual da parede, que evidenciou uma estrutura entramada de madeira preenchida e revestida com terra, compatível com o Sistema Entramado de Vedação com Terra (SEVT), conforme definido pela ABNT NBR 17249:2025.

O sistema de vedação engloba diferentes técnicas construtivas tradicionais, entre elas o pau a pique (taipa de mão), caracterizadas pela utilização de um entramado de madeira que funciona como suporte para o preenchimento com terra e posterior aplicação de revestimentos (ABNT, 2025). Ainda, segundo Minke (2012), o pau a pique constitui uma das mais antigas técnicas de construção em terra, empregando uma estrutura de madeira preenchida com material terroso, cuja eficiência depende da adequada interação entre o entramado e a composição do solo utilizado; desta forma, as características observadas na edificação estudada correspondem a essa configuração construtiva, permitindo sua identificação por meio da exposição do entramado ocasionada pelo desprendimento natural do revestimento.

Os resíduos foram coletados em uma área abaixo da janela localizada na fachada lateral direita da edificação que apresenta degradação natural e desprendimento da estrutura e do revestimento terroso (Figura 1).

Figura 1 – Local da coleta de material (fachada lateral direita).

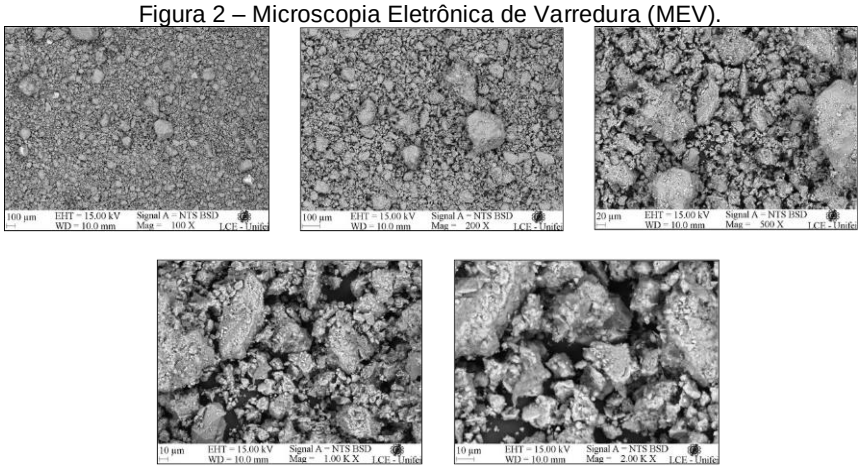


Fonte: Autores (2026).

Entre as causas físicas mais comuns de deterioração de imóveis antigos, destacam-se as variações de temperatura e umidade, além da incidência de fortes chuvas, fatores que atuaram diretamente no local da coleta. A opção por coletar apenas materiais já desprendidos da estrutura evitou intervenções destrutivas no imóvel, respeitando os princípios de conservação patrimonial preconizados pela Carta de Veneza (ICOMOS, 1964).

A primeira etapa da caracterização consistiu na análise por MEV, o que auxiliou na obtenção de aspectos visuais da superfície das partículas. Conforme a Figura 2 a seguir, foram obtidas imagens em ampliações de 100×, 200×, 500×, 1000× e 2000×, permitindo investigar a morfologia superficial e a organização microestrutural das partículas.

Figura 2 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).



Fonte: Laboratório de Caracterização Estrutural - LCE-UNIFEI (2026).

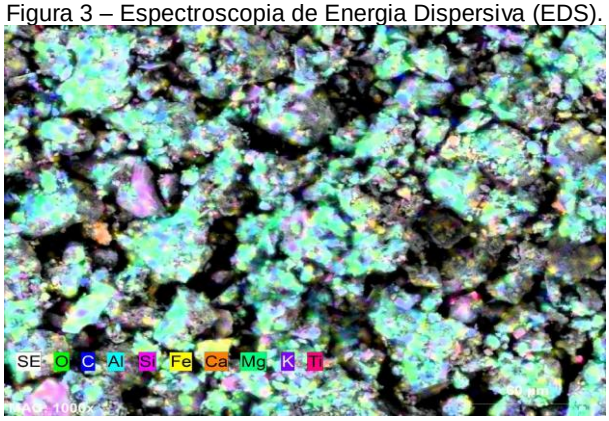
As micrografias ilustradas na Figura 2 evidenciaram partículas com elevada irregularidade morfológica, distribuídas em aglomerados de diferentes dimensões, com superfícies rugosas e elevada porosidade. Também foi observada a presença de partículas menores aderidas às partículas maiores, formando uma matriz granular heterogênea típica de materiais terrosos naturais. Não foram observadas feições microestruturais indicativas de processos de sinterização, resultado coerente com a natureza não cozida do material analisado, característica inerente às construções com terra (Minke, 2012).

Do ponto de vista da conservação patrimonial, essa observação possui relevância técnica já que a manutenção da estrutura granular original sugere que o material ainda conserva características potencialmente compatíveis com aquelas presentes na edificação (condição essencial para futuras aplicações em conservação preventiva ou restauro). Conforme estabelecem os princípios internacionais de conservação, intervenções devem privilegiar materiais compatíveis com os originais,

reduzindo riscos de incompatibilidades físicas e mecânicas que possam acelerar processos de deterioração (ICOMOS, 2003).

Após a caracterização morfológica, procedeu-se à análise química elementar por meio da EDS. A Figura 3 apresenta o espectro obtido para a região analisada, no qual é possível identificar os principais elementos químicos constituintes da amostra por meio dos picos característicos de energia emitidos durante a interação entre o feixe de elétrons e o material.

Figura 3 – Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).



Fonte: Laboratório de Caracterização Estrutural - LCE-UNIFEI (2026).

O espectro evidenciou predominância dos elementos oxigênio (O), silício (Si), alumínio (Al) e ferro (Fe), além da ocorrência, em menores intensidades, de magnésio (Mg), potássio (K), cálcio (Ca), titânio (Ti) e carbono (C). A predominância de Si, Al e O indica uma matriz mineral constituída essencialmente por quartzo e argilominerais, componentes característicos dos solos empregados em construções de terra. A identificação desses constituintes fornece subsídios para avaliar a compatibilidade físico-química entre o material existente e o material potencialmente reutilizado, aspecto considerado essencial nas intervenções de conservação e restauro, uma vez que contribui para minimizar incompatibilidades

Segundo Minke (2012), a composição elementar dominada por Si, Al e O confirma que a matriz mineral do solo é constituída essencialmente por silicatos e argilominerais. A presença de Fe justifica a coloração avermelhada característica das construções em terra crua devido aos óxidos de ferro hidratados. Elementos menores como Mg, K, Ca e Ti refletem a heterogeneidade e a origem natural do material terroso.

Em síntese, as análises microestruturais e químicas demonstram que os resíduos provenientes do processo natural de degradação da edificação apresentam características microestruturais e químicas coerentes com aquelas descritas para materiais tradicionalmente empregados em construções de terra. Enquanto as micrografias obtidas por MEV evidenciaram uma matriz heterogênea constituída por partículas irregulares, elevada porosidade e ausência de alterações microestruturais compatíveis com processos térmicos, a análise por EDS confirmou uma composição elementar coerente com a presença de quartzo, argilominerais e óxidos de ferro característicos dos solos empregados em construções de terra.

Dessa forma, a caracterização realizada fornece evidências sobre a composição química e a microestrutura dos resíduos, estabelecendo uma base técnica para discutir seu potencial de reutilização em intervenções de restauro do patrimônio edificado sob a perspectiva da EC.

Discussão

A incorporação dos princípios da EC ao patrimônio edificado exige que o reaproveitamento dos materiais seja compatível com os pressupostos da conservação arquitetônica (ICOMOS, 1964; Vieira et al., 2025). A reutilização não deve ser orientada apenas por critérios ambientais ou econômicos, mas também pela preservação da autenticidade material e pelo respeito às características construtivas originais da edificação (Brandi, 2004; ICOMOS, 1964).

O texto demonstra que a caracterização físico-química de resíduos terrosos de edificações históricas em pau a pique por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia

de Energia Dispersiva (EDS) é o elo fundamental para integrar a Economia Circular (EC) à Conservação Patrimonial. A coleta realizada exclusivamente a partir do desprendimento natural da fachada respeita os princípios de intervenção mínima e preservação da integridade estrutural (ICOMOS, 1964; 2003). As análises comprovaram uma matriz mineral composta essencialmente por quartzo, argilominerais e óxidos de ferro, sem feições de queima ou sinterização, o que confirma a manutenção da estrutura granular original do solo e garante a compatibilidade necessária para futuras intervenções de restauro.

Sob a ótica da circularidade proposta por Potting et al. (2017), o resíduo terroso enquadra-se prioritariamente na estratégia de Reutilização (R3). Por ser um material não queimado, a terra crua possui reversibilidade intrínseca: pode ser reidratada, remodelada e reaplicada na mesma função construtiva sem a necessidade de reprocessamentos industriais intensivos, ao contrário do que ocorre na Reciclagem (R8). Essa reinserção direta retém o valor incorporado ao material, reduz a pegada de carbono e evita a extração de recursos naturais virgens, sem se confundir com a Remanufatura (R6), por não se tratar de um produto industrial pré-fabricado.

Por fim, o estudo ressalta que a aplicação da Economia Circular pode contribuir com as intervenções técnicas que garantem a integridade física das edificações históricas, como, a conservação preventiva e o restauro. Segundo Gonçalves e Almeida (2026), o foco da conservação preventiva é de intervir diretamente nas origens da deterioração, o que dispensa a realização de futuras reformas complexas e/ou reparos custosos. A restauração caracteriza-se como um grupo de intervenções aplicadas a bens de relevância cultural e simbólica, com o propósito de proteger e evidenciar seus atributos históricos e estéticos, englobando tanto as características de sua origem quanto marcas adquiridas no decorrer do tempo (Gonçalves, 2020).

Conforme destaca Minke (2012), a terra crua (não cozida) é um material de construção singular por sua capacidade de ser reciclado indefinidamente por períodos extremamente longos. O autor ressalta que materiais provenientes de edificações antigas podem ser totalmente reaproveitados após serem umedecidos, garantindo que a terra nunca se converta em entulho ou resíduo prejudicial ao meio ambiente. Para garantir a integridade dessas estruturas, aplicam-se intervenções técnicas como a conservação preventiva, que foca nas origens da deterioração para evitar reparos custosos, e o restauro, que visa proteger e evidenciar atributos históricos e estéticos, respeitando as marcas do tempo. Contudo, a prática do restauro enfrenta a dificuldade da compatibilidade de materiais, dada a limitação em encontrar insumos comerciais com a mesma composição química e aderência das construções de terra originais.

Conclusão

O estudo conclui que os resíduos terrosos da edificação histórica em pau a pique possuem composição e microestrutura compatíveis com materiais tradicionais de terra, validando a caracterização físico-química via MEV e EDS como etapa crucial para o restauro. Sob a Economia Circular (estratégia R3), o trabalho demonstra que esses materiais deixam de ser passivos ambientais para se tornarem recursos secundários, preservando a autenticidade patrimonial e reduzindo a extração de matérias-primas. A principal contribuição reside na proposição de uma metodologia interdisciplinar que oferece critérios objetivos para a reinserção de resíduos históricos, preenchendo uma lacuna na literatura focada na construção contemporânea.

Como limitação, esta investigação concentrou-se na caracterização microestrutural e química dos resíduos, não contemplando ensaios de desempenho físico e mecânico; dessa forma, recomenda-se que pesquisas futuras avaliem propriedades como resistência mecânica, retração, comportamento higroscópico, aderência e durabilidade, de modo a validar experimentalmente a aplicação desses resíduos em argamassas e outros elementos destinados à conservação preventiva e ao restauro de edificações históricas.

O trabalho apresentado alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (2026) ao promover a preservação e a valorização do patrimônio construído em prol de ambientes urbanos mais inclusivos e resilientes (ODS 11), incorporando práticas de reuso de materiais e economia circular que asseguram padrões de produção e consumo responsáveis (ODS 12).

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 17249: Sistema entramado de vedação com terra (SEVT) — Requisitos, procedimentos e controle**. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

BRANDI, Cesare. **Teoria da restauração**. 3. ed. Cotia: Ateliê Editorial, 2004.

BRASIL. Ministério da Cultura. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan). **Política do Patrimônio Cultural Material**. Documento Legal nº 375, de 17 de agosto de 2018. Brasília: Iphan, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/iphan/pt-br/patrimonio-cultural/patrimonio-material/politica-de-patrimonio-cultural-material/publicacao_politica_do_patrimonio.pdf/@@display-file/file. Acesso em: 14 jun. 2026.

CRESWELL, John W. **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches**. 6. ed. Thousand Oaks: Sage, 2021.

FINAMORE, Margherita; OLTEAN-DUMBRAVA, Crina. **Circular economy in construction – findings from a literature review**. *Heliyon*, v. 10, n. 15, e34647, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34647

FINAMORE, Margherita; OLTEAN-DUMBRAVA, Crina. **Circularity in Construction: A Multicriteria Review and Synthesis of Existing Frameworks and Policy Instruments**. Circular Economy and Sustainability, 2026. DOI: https://doi.org/10.1007/s43615-026-00750-4

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GONÇALVES, Cristiane Souza; ALMEIDA, Eneida de. **Conservação preventiva e participação da sociedade: discutindo estratégias para uma preservação sustentável do patrimônio cultural**. Revista Restauro, v. 10, 2026. Disponível em: https://revistarestauro.com.br/conservacao-preventiva-e-participacao-da-sociedade-discutindo-estrategias-para-uma-preservacao-sustentavel-do-patrimonio-cultural/. Acesso em: 5 jun. 2026.

GONÇALVES, Cristiane Souza. **Restauração: breve percurso de um conceito**. Revista Restauro, v. 4, n. 8, 2020. Disponível em: https://revistarestauro.com.br/restauracao-breve-percurso-de-um-conceito/. Acesso em: 15 jun. 2026.

ICOMOS. **International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter 1964)**. Paris: ICOMOS, 1965. Disponível em: https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/venice_e.pdf. Acesso em: 07 mai. 2026.

ICOMOS. **Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage**. Ratified by the 14th General Assembly of ICOMOS. Victoria Falls, Zimbabwe, 2003. Disponível em: https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/structures_e.pdf. Acesso em: 07 mai. 2026.

MINKE, Gernot. **Manual de construção em terra: desenho e tecnologia duma arquitectura sustentável**. Tradução: António Moura. [S. l.]: Edição do Autor, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: ONU Brasil, [s. d.]. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 1 set. 2026.

POTTING, José; HEKKERT, Marco; WORRELL, Ernst; HANEMAAIJER, Aldert. **Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain**. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2017.

RANASINGHE, Navoda; DOMINGO, Niluka; KAHANDAWA, Ravindu. **Enhancing building material circularity: A systematic review on prerequisites, obstacles and the critical role of data traceability**. Journal of Building Engineering, v. 98, 111136, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111136

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e aos Professores Doutores Carolina Quintero Ramírez e Jesus Antonio Garcia Sanchez pela orientação e conhecimento compartilhado durante as aulas da disciplina de Tecnologias para Construções Sustentáveis ofertada pela PPG-DTECS UNIFEI.