

## RECICLAGEM E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUO DE GESSO PROVENIENTE DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DA INOVAÇÃO SOCIAL E DO DESIGN SUSTENTÁVEL

Rodrigo Bicalho Mendes  
rodrigo.mendes@uemg.br

<http://lattes.cnpq.br/0898461392722333>

Bruno Carlos Alves Pinheiro  
bruno.pinheiro@uemg.br

<http://lattes.cnpq.br/7716005942717002>

### RESUMO

O Brasil vem enfrentando problemas socioambientais, os quais são relacionados aos resíduos sólidos e ao déficit habitacional. Diante disso, o design sustentável e a inovação social surgem como importantes aliados no enfrentamento de tais problemas. Neste trabalho foi realizado um estudo objetivando reciclar e valorizar o resíduo de gesso proveniente da construção civil de Ubá, MG, a partir do desenvolvimento de novos materiais cerâmicos eco amigáveis incorporados com o resíduo de gesso. As matérias primas utilizadas foram solo, resíduo de gesso e cimento Portland. Corpos cimentícios cilíndricos contendo até 15 % de resíduo de gesso em substituição parcial do cimento foram preparados por prensagem uniaxial e curados durante 28 dias. Os corpos cimentícios foram caracterizados em termos da absorção de água, massa específica aparente e resistência a compressão simples. Os resultados indicaram que é possível obter novos materiais cerâmicos eco amigáveis, classificados como tijolos de solo-cimento com até 15 % de resíduo de gesso em substituição ao cimento. Esses novos materiais cerâmicos desenvolvidos podem ser utilizados na construção civil, principalmente, na construção de habitações de interesse social, satisfazendo os importantes aspectos da inovação social e do design sustentável.

**Palavras-chave:** Tijolo Ecológico; Solo-cimento; Resíduos Sólidos; Déficit habitacional; Materiais Cerâmicos; Habitação de Interesse Social;

## INTRODUÇÃO

Atualmente problemas ambientais e sociais fazem parte da realidade brasileira. Entre os problemas ambientais, pode-se destacar aqueles relacionados a geração cada vez maior de resíduos sólidos e a extração demasiada de recursos naturais não renováveis (SOUZA, PINHEIRO, HOLANDA, 2011, p. 212). Com relação aos problemas sociais, tem-se o elevado déficit habitacional. De acordo com os dados da Fundação João Pinheiro, ano base 2019, o déficit está em 5,8 milhões de moradias (DONATO, BARBOSA, 2022, p. 305).

Mediante esse panorama socioambiental, a busca por soluções que possam contribuir para o enfrentamento dos problemas citados acima é de extrema importância. Nesse sentido, a inovação social e o design sustentável vêm se mostrando como grandes aliados na busca por essas soluções (GOMES, SANTOS, SANTOS, 2022, p. 248).

O design sustentável é um processo abrangente e complexo que contempla que o produto tenha as seguintes características: i) seja economicamente viável; ii) seja ecologicamente correto e; iii) seja socialmente equitativo. O design sustentável deve satisfazer as necessidades humanas básicas de toda a sociedade. Além disso, ele permite que se tenha uma visão mais ampla de atendimento a comunidades menos favorecidas (PAZMINO, 2007). Assim, do ponto de vista da sustentabilidade, o designer pode contribuir unindo o que é possível tecnicamente/tecnologicamente ao que é ecologicamente necessário, fazendo surgir novas propostas de soluções que sejam relevantes e importantes para a área cultural e, principalmente, para a área social (GOMES, SANTOS, SANTOS, 2022, p. 251). Aliado a isso, de acordo com Freitas e Werner (2015), a inovação social é uma nova solução para um problema da sociedade. Segundo esses autores, é fundamental que essa solução seja mais efetiva, eficiente, justa e, principalmente, sustentável quando comparada a outras ações já existentes. Além disso, ela deve ser capaz de gerar valor para a sociedade como um todo. Também é importante destacar que a inovação social pode promover condições para cenários sustentáveis, utilizando novos processos, novos produtos ou materiais, novos serviços, mudanças na organização, mudanças no negócio e na cultura.

Conforme o que foi mencionado até aqui, o design sustentável e a inovação social podem se conectar para propor soluções que possam contribuir para o enfrentamento dos

problemas citados. É importante destacar que as soluções que possam surgir dessa conexão têm grande possibilidade de serem sustentáveis. Dentro desse aspecto, estudos que tratam da reciclagem de resíduos sólidos visando o desenvolvimento de novos materiais ou produtos que apresentem as características propostas pelo design sustentável e que tenham como foco o atendimento a toda a sociedade e, principalmente, a comunidades menos favorecidas, se encaixam nos aspectos da inovação social (GOMES, SANTOS, SANTOS, 2021, p. 252). Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo a reciclagem e a valorização do resíduo de gesso proveniente da construção civil através da incorporação deste em formulações cerâmicas para o desenvolvimento de novos materiais eco amigáveis. Esses novos materiais devem ser utilizados na construção civil, principalmente, na construção de habitações de interesse social (HIS) – casas populares.

Desta forma, pretende-se contribuir para que, a partir dos novos materiais desenvolvidos, se tenha uma alternativa de solução que seja viável, factível, de menor impacto ambiental e sustentável. Além disso, pode-se contribuir para a reflexão sobre a importância do estudo de materiais e sustentabilidade a partir da reciclagem e valorização de resíduos sólidos. E ainda, contribuir para despertar ainda mais o interesse por estudos sobre inovação social que tenham o design sustentável como base, com o intuito de promover um embate com os padrões atuais de consumo e produção para então, repensá-los (GOMES, SANTOS, SANTOS, 2021, p. 251).

Após a introdução, a qual apresenta um embasamento teórico possibilitado pela revisão da literatura, o presente artigo traz os materiais e os métodos de análise que foram utilizados para a realização deste estudo. Encerrado este tópico o presente artigo passa a tratar dos resultados obtidos e a discussão desses resultados. Por fim, tem-se a apresentação das conclusões e as referências bibliográficas.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

As matérias primas utilizadas neste trabalho foram: solo arenoso, cimento, água e o resíduo de gesso. O solo foi coletado no município de Ubá – MG. O cimento utilizado foi o cimento Portland CP III – 40 RS. A água utilizada foi água potável coletada a partir da

rede de distribuição de água de Ubá, fornecida pela COPASA – MG. O resíduo de gesso foi proveniente da construção civil e foi coletado no município de Ubá – MG.

O solo foi submetido a um processo de secagem ao ar livre durante 3 dias. Logo depois, foi seco em estufa de laboratório a 110 °C por 24 h. Depois de seco, o solo foi destorroado manualmente até a passagem completa em peneira de 4 mesh (4,75 mm ASTM). O resíduo de gesso foi seco em estufa de laboratório a 110 °C por 24 h. Em seguida, foi destorroado manualmente e passado em peneira 200 mesh (75 µm ABNT). O cimento foi submetido a secagem em estufa de laboratório a 110 °C por 24 h e passado em peneira 200 mesh (75 µm ABNT).

Foram formuladas quatro massas cerâmicas contendo solo arenoso, cimento e resíduo de gesso. O resíduo de gesso foi adicionado como substituto parcial ao cimento utilizado. Os traços cerâmicos formulados são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Traços cerâmicos formulados**

Traços Cerâmicos	Matérias primas (% em peso)		
	Solo	Cimento	Resíduo de Gesso
MRG	50	50	0
MRG 1	50	45	5
MRG 2	50	40	10
MRG 3	50	35	15

Fonte: Dos Autores (2023)

As matérias primas secas nas proporções dadas na Tabela 1 foram misturadas em um moinho de laboratório durante 1 h. Em seguida, as misturas foram umidificadas por meio de um borrifador. Corpos cimentícios cilíndricos ( $\phi = 30$  mm) foram conformados por prensagem uniaxial em prensa hidráulica, modelo PHP com pressão de compactação de 2 toneladas. Após a conformação, os corpos cimentícios foram colocados sobre uma superfície plana e deixados por um período de 6 h. Logo após, eles foram submetidos a um processo de molhagem frequente durante 7 dias. Em seguida, os corpos cimentícios foram

colocados sobre uma superfície sólida em local coberto até que se completasse um período igual a 28 dias (etapa de secagem e cura).

As seguintes propriedades tecnológicas dos corpos cimentícios foram determinadas utilizando-se procedimentos padronizados: massa específica aparente, resistência a compressão simples (NBR 12025/90) e absorção de água (NBR 10834/94).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das propriedades tecnológicas dos corpos cimentícios curados durante 28 dias são apresentados nas Figuras 1-3. São apresentados os valores médios das propriedades estudadas. A Figura 1 mostra o comportamento da absorção de água dos corpos cimentícios. Através da absorção de água é possível avaliar o comportamento da porosidade aberta. A Figura 2 apresenta os resultados da massa específica aparente.

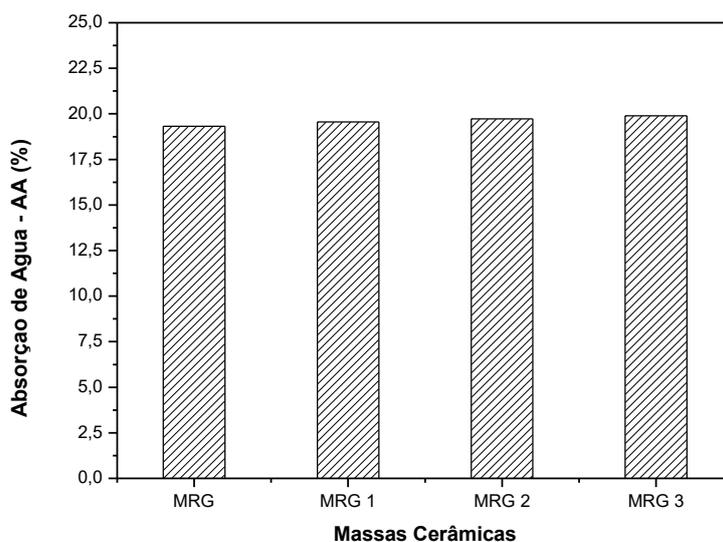


Figura 1 – Absorção de água dos corpos cimentícios  
Fonte: Dos Autores (2023)

Pode ser observado que a absorção de água sofre um ligeiro aumento com concomitante ligeira redução da massa específica aparente. Este comportamento pode estar associado a um menor grau de empacotamento das partículas, o qual pode ter sido promovido pela adição do resíduo de gesso. Isso pode ter provocado um ligeiro aumento da porosidade dos corpos cimentícios, principalmente, da porosidade aberta.

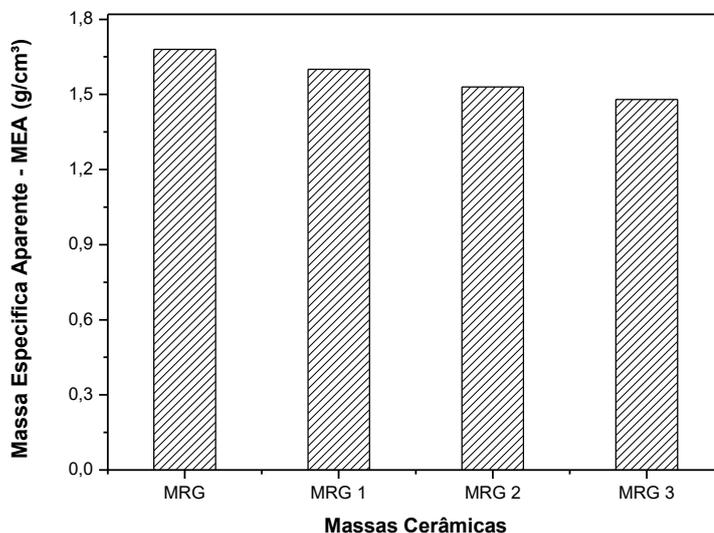


Figura 2 – Massa específica aparente dos corpos cimentícios

Fonte: Dos Autores (2023)

Na Figura 3 é mostrado o comportamento da resistência a compressão simples dos corpos cimentícios estudados neste trabalho.

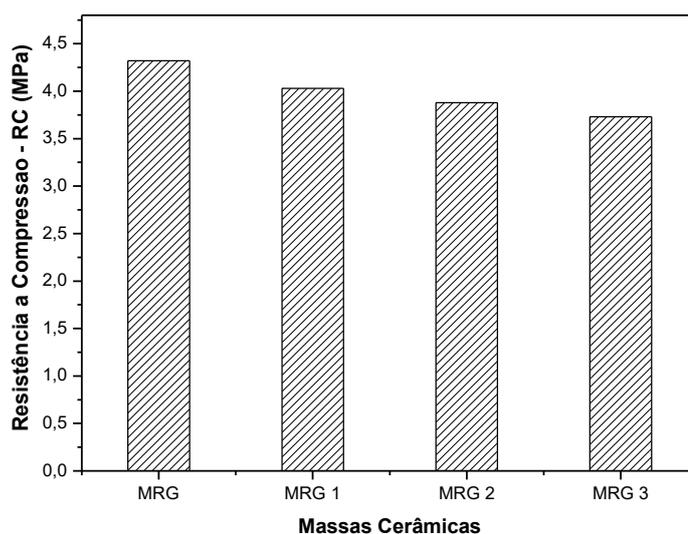


Figura 3 – Resistência a compressão dos corpos cimentícios

Fonte: Dos Autores (2023)

Pode ser observado que o comportamento da resistência a compressão está correlacionado com a absorção de água e massa específica aparente (Figuras 1 e 2). A adição do resíduo de gesso provocou uma redução nos valores de resistência a compressão dos corpos cimentícios. Isto pode estar relacionado a três fatores principais: i) a ligeira porosidade provocada pelo menor empacotamento das partículas; ii) a redução da quantidade de cimento na massa cerâmica, visto que ele é o responsável por promover o aumento da resistência mecânica (MOURA, et al, 2021, p. 75); e iii) a reação entre o sulfato do resíduo de gesso e os aluminatos do cimento, associada a presença de umidade, podem gerar a entrigita tardia. Esse composto ocupa um volume superior ao do reagente original, exercendo tensão expansiva no interior do corpo cimentício. Isso pode resultar em fissuras, comprometendo o desempenho mecânico e a durabilidade das peças cerâmicas (BERNHOEFT; GUSMÃO; TAVARES, 2011, p. 191).

A absorção de água e a resistência a compressão são propriedades que definem a qualidade de materiais cerâmicos para uso na construção civil. A partir dos resultados dessas propriedades, obtidos neste estudo pode-se ter a classificação dos materiais cerâmicos desenvolvidos. É possível verificar que após cura durante 28 dias, os novos materiais cerâmicos desenvolvidos atingiram valores médios de absorção de água (AA) e resistência a compressão (RC) para serem classificados como tijolo ecológico de solo-cimento. A partir da Figura 1 pode ser observado que os valores de absorção de água são inferiores ao valor máximo permitido por norma ( $AA \leq 20\%$  - NBR 10834/94). E a partir da Figura 3 pode ser observado que os valores médios de resistência a compressão simples são superiores ao valor mínimo especificado por norma ( $RC \geq 2,0$  MPa - 12025/90). Além disso, pode ser notado claramente que é possível a obtenção desses novos materiais cerâmicos ecológicos, contendo até 15 % de resíduo de gesso em substituição parcial ao cimento.

Após a discussão acima, a qual se dá em torno das importantes propriedades técnicas/tecnológicas (absorção de água e resistência a compressão simples), é fundamental destacar que a reciclagem e a valorização do resíduo de gesso proveniente da construção civil de Ubá, MG, em materiais cerâmicos eco amigáveis, como os que foram desenvolvidos neste trabalho, se encaixa nos aspectos do design sustentável, da inovação

social e representa uma importante contribuição devido a alguns fatores, tais como: i) do ponto de vista ambiental, o material cerâmico eco amigável desenvolvido se trata do tijolo ecológico de solo-cimento, o qual pode gerar menos impacto negativo ao meio ambiente, devido a redução da emissão de gases poluentes como o CO<sub>2</sub>. Essa redução pode ser de duas formas: a primeira redução pode estar relacionada com o fato desse material não necessitar de ser queimado. Isso, segundo Silva, et al, (2022) pode trazer uma redução de 29,5 % na emissão de CO<sub>2</sub>. A segunda redução pode estar associada ao fato de se ter a substituição parcial do cimento pelo resíduo estudado. De fato, a produção de cimento contribui significativamente para a emissão de gases do efeito estufa através da liberação de grande quantidade de CO<sub>2</sub>. Estima-se que a produção de 1 tonelada de cimento Portland libere na atmosfera 1 tonelada de CO<sub>2</sub> (MOURA, et al, 2021, p. 70). Além disso, pode também se ter a contribuição ambiental pelo fato de se evitar impactos negativos ao meio ambiente causados pelo descarte final incorreto deste resíduo. E ainda, esse material, tijolo ecológico de solo-cimento, proporciona uma construção limpa e com menor quantidade de resíduos e entulhos, já que sua estrutura é de encaixe; ii) do ponto de vista econômico, o material cerâmico desenvolvido neste trabalho por ser classificado como tijolo de solo-cimento pode proporcionar uma economia de 41 % comparado ao tijolo cerâmico convencional na execução de projetos baseados na construção de uma habitação de interesse social de 40,16 m<sup>2</sup>, levando em conta a mão de obra e os materiais. Em relação ao tempo de execução é projetado um tempo de 1,91 vezes mais rápido, e assim uma economia de mesma escala (SILVA, et al, 2022, p. 8). Além disso, a substituição parcial do cimento pelo resíduo de gesso também pode contribuir para baixar o custo final do produto, já que o cimento é a matéria-prima mais cara na formulação cerâmica; iii) do ponto de vista social, o tijolo ecológico de solo-cimento que pode ajudar a solucionar o problema do déficit habitacional já que pode ser articulado com as habitações de interesse social. De acordo com Donato e Barbosa, (2022), a tecnologia associada com o tijolo ecológico de solo-cimento mostra ser capaz de resolver demandas sociais de comunidades carentes, com a produção de moradias mais dignas, a melhoria da infraestrutura da comunidade e a geração de renda e empregos, proporcionando qualidade de vida aos habitantes.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que o resíduo de gesso proveniente da construção civil de Ubá, MG, pode ser usado como matéria-prima alternativa de baixo custo em substituição parcial de até 15 % de cimento no desenvolvimento de novos materiais cerâmicos eco amigáveis classificados como tijolos ecológicos de solo-cimento para serem utilizados na construção civil, principalmente, na construção de casas populares (Habitações de Interesse Social – HIS). Isso pode configurar-se numa prática ecologicamente correta, economicamente viável e socialmente equitativa, sendo de grande importância na ajuda para solucionar problemas socioambientais como aqueles relacionados aos resíduos sólidos e ao déficit habitacional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNHOEFT, L. F., GUSMÃO, A. D., & TAVARES, Y. V. P. (2021). **Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação de argamassa de revestimento interno**. *Ambiente Construído*, v. 11, n. 2, p. 189-199.
- DONATO, T. M. N., & BARBOSA, R. V. R. Aplicação de tijolos ecológicos em habitação de interesse social: considerações sobre a realidade brasileira. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 4., Salvador, 2022. **Anais do 4º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis**. Salvador, 2022. 304-317.
- FREITAS, S. F. de; WERNER, P. B. (2015). **Design e Inovação Social**. *Mix Sustentável*, v. 1, n. 1, p. 50–56.
- GOMES, M. M., SANTOS, W. M. T., & SANTOS, D. M. (2021). **Reaproveitamento de resíduos – um estudo de caso sobre pesquisas da linha Design: materiais, processos e tecnologia do Programa de Pós-Graduação em Design da UFMA**. *DATJournal*, v. 6, n. 3, p. 246-261.
- MOURA, E. M., et al. (2021). **Caracterização e uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em tijolo de solo-cimento**. *Ambiente Construído*, v. 21, n. 1, p. 69-80.
- PAZMINO, A. V. Uma reflexão sobre Design Social, Eco Design e Design Sustentável. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE DESIGN/SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, I., Curitiba, 2007. **Anais do I International Symposium on Sustainable Design/ I Simpósio Brasileiro de Design Sustentável**. Curitiba, 2007.
- SILVA, B. S., et al. **Tijolo de solo-cimento: incorporação de resíduos e viabilidade na construção civil no Brasil**. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 2, p. 1-12, 2022.

SOUZA, A. J., PINHEIRO, B. C. A., & HOLANDA, J. N. F. (2007). **Efeito da adição de resíduo de rocha ornamental nas propriedades tecnológicas e microestrutura de piso cerâmico vitrificado**. *Cerâmica*, v. 57, n. 342, p. 212-218.

## **SOBRE OS AUTORES:**

**Rodrigo Bicalho Mendes:** Doutorando em Arquitetura e Urbanismo (UFV 2021-2024). Mestre em Arquitetura e Urbanismo - UFV (2016), graduação em Ciência da Computação - UNIPAC (2008), Bacharel em Design de Produtos - UEMG (2014), Pós-Graduado em Gestão de Projetos (2019) e Professor no Curso de Design UEMG Campus Ubá. Coordenador do CEMP - Centro de Modelagem e Prototipagem do curso de Design da UEMG campus Ubá, desde 2016, membro do grupo de pesquisa Desenvolvimento Humano, Social e Vida Cotidiana do Departamento de Economia Doméstica da Universidade Federal de Viçosa – UFV, membro do grupo de pesquisa INOVA - Inovações Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa – UFV e fundador da Rodrigo Mendes Design. Áreas de interesse: Inovações Tecnológicas, Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), Design Universal, Metodologias de Design, Design de Marcas e Identidade Visual, Acessibilidade, Tecnologias Assistivas, Usabilidade e Empreendedorismo.

**Bruno Carlos Alves Pinheiro:** Possui graduação em Matemática pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Cataguases (1999), graduação em Física pela Faculdade Filosofia Ciências e Letras Santa Marcelina (2001), mestrado (2005) e doutorado (2009) em Engenharia e Ciência de Materiais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Foi vice-diretor durante 2018-2019 e é atualmente professor efetivo no curso de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais - Campus Ubá. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento e caracterização de materiais cerâmicos, reciclagem e valorização de resíduos sólidos industriais com o desenvolvimento de eco materiais cerâmicos, design sustentável e inovação social, seleção de materiais e processos de fabricação.