


RESÍDUOS VÍTREOS EM TIJOLOS SOLO CIMENTO

Ednardo Fernandes de Medeiros^A, Sâmea Valensca Alves Barros^B



ARTICLE INFO	RESUMO
<p>Article history: Received: Jan, 28th 2025 Accepted: Mar, 28th 2025</p>	<p>Objetivo: O objetivo desta pesquisa é investigar a viabilidade técnica da substituição parcial do Cimento <i>Portland</i> por resíduos vítreos, com o intuito de introduzi-los na cadeia produtiva de solo cimento.</p>
<p>Palavras-chave: Pozolana Alternativa; Materiais Ecológicos; SDG 12; Desempenho Mecânico.</p> <div data-bbox="172 929 480 1176" style="text-align: center;">  </div>	<p>Referencial Teórico: A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regida pela Lei 12.305/10, apresenta o conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, que envolve desde os fabricantes até os consumidores. Tal conceito promove a reinserção dos resíduos, que já completaram seu ciclo de vida em um processo produtivo, em novas cadeias produtivas, criando, assim, um novo ciclo de vida para esses materiais.</p> <p>Método: Traçou-se o planejamento experimental para realização desta pesquisa, composto pelas etapas: aquisição dos materiais convencionais e alternativos utilizados; caracterização química-mineralógica do resíduo vítreo; definição dos traços e moldagem dos corpos de prova; determinação da resistência à compressão simples e absorção de água dos tijolos propostos.</p> <p>Resultados e Discussão: Os resultados obtidos revelaram que a substituição parcial do cimento CP V ARI RS tanto para o teor de 10% de pó vítreo quanto para o de 20% atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos por norma para absorção de água e resistência à compressão simples para solo cimento.</p> <p>Implicações da Pesquisa: A implicação prática e teórica desta pesquisa é tornar o setor da construção civil sustentável à medida que promove o consumo e produção de materiais ecológicos.</p> <p>Originalidade/Valor: Este estudo contribui para a literatura propondo uso do resíduo vítreo diferente dos encontrados nas pesquisas existentes, estas só propõem em concretos e argamassas.</p> <p>Doi: https://doi.org/10.26668/businessreview/2025.v10i5.5459</p>

VITREOUS WASTE IN BRICKS SOIL CEMENT

ABSTRACT

Objective: The objective of this research is to investigate the technical feasibility of partially replacing *Portland* Cement with vitreous waste, with the aim of introducing them into the soil cement production chain.

Theoretical Framework: The National Solid Waste Policy (PNRS), governed by Law 12.305/10, presents the concept of shared responsibility for the life cycle of products, which involves everyone from manufacturers to consumers. This concept promotes the reinsertion of waste that has already completed its life cycle in a production process into new production chains, thus creating a new life cycle for these materials.

Method: The experimental planning for this research was outlined, consisting of the following steps: acquisition of conventional and alternative materials used; chemical-mineralogical characterization of the vitreous residue;

^A Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. E-mail: ednardo09@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-9771-083X>

^B Doutora em Ciências e Engenharia dos Materiais. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. E-mail: sameavalensca@ufersa.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9035-486x>

definition of the traces and molding of the test specimens; determination of the resistance to simple compression and water absorption of the proposed bricks.

Results and Discussion: The results obtained revealed that the partial replacement of CP V ARI RS cement for both the 10% and 20% vitreous powder content met the minimum requirements established by the standard for water absorption and simple compression strength for cement soil.

Research Implications: The practical and theoretical implication of this research is to make the construction sector sustainable as it promotes the consumption and production of ecological materials.

Originality/Value: This study contributes to literature by proposing a use of vitreous residue different from that found in existing research, which only proposes it in concrete and mortar.

Keywords: Alternative Pozzolan, Ecological Materials, SDG 12, Mechanical Performance.

RESIDUOS VÍTREO EN LADRILLOS SUELO CEMENTO

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de esta investigación es investigar la viabilidad técnica de sustituir parcialmente el Cemento Portland por residuos vítreos, con el fin de introducirlos en la cadena de producción de suelo cemento.

Marco Teórico: La Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS), regulada por la Ley 12.305/10, presenta el concepto de responsabilidad compartida por el ciclo de vida de los productos, que involucra a todos, desde los fabricantes hasta los consumidores. Este concepto promueve la reinserción de residuos, que ya han completado su ciclo de vida en un proceso productivo, en nuevas cadenas productivas, creando así un nuevo ciclo de vida para estos materiales.

Método: Se trazó la planificación experimental para la realización de esta investigación, la cual consta de los siguientes pasos: adquisición de materiales convencionales y alternativos utilizados; Caracterización químico-mineralógica del residuo vítreo; Definición de las líneas y molde de las probetas; Determinación de la resistencia a la compresión simple y la absorción de agua de los ladrillos propuestos.

Resultados y Discusión: Los resultados obtenidos revelaron que la sustitución parcial del cemento CP V ARI RS tanto por el contenido de polvo vítreo del 10% como del 20% cumplió con los requisitos mínimos establecidos por la norma para la absorción de agua y resistencia a la compresión simple para suelos de cemento.

Implicaciones de la investigación: La implicación práctica y teórica de esta investigación es hacer sustentable el sector de la construcción promoviendo el consumo y producción de materiales ecológicos.

Originalidad/Valor: Este estudio contribuye a la literatura al proponer un uso del residuo vítreo diferente al encontrado en las investigaciones existentes, que sólo lo proponen en hormigones y morteros.

Palabras clave: Puzolana Alternativa, Materiales Ecológicos, ODS 12, Rendimiento Mecánico.

1 INTRODUÇÃO

O vidro é um material bastante utilizado em diversas cadeias produtivas, sendo empregado, por exemplo, em esquadrias; fachadas; sacadas; coberturas, entre outras aplicações. Esta alta demanda gera volumosa quantidade de resíduos vítreos, quando a vida útil destes produtos chega ao final, eles em quantidades substanciais representam ameaça direta à saúde humana e ao meio ambiente (Gil et al., 2020).

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) do Brasil, a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos devem ser pautados na seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final

dos rejeitos (BRASIL, 2010). Nesse contexto, o desenvolvimento de pesquisas que visam a inserção dos resíduos vítreos processados e beneficiados em novas cadeias produtivas, como a da construção civil, é de suma importância para colocar em prática a gestão adequada conforme as normativas da PNRS.

Pesquisas vem sendo desenvolvidas nas últimas décadas com o intuito de promover a inserção dos resíduos vítreos, após serem beneficiados, em outras cadeias produtivas. A exemplo do estudo de Moraes et al. (2022) que investigaram o comportamento mecânico de argamassas confeccionadas com resíduos de vidro em substituição parcial ao Cimento *Portland* obtiveram resultados superiores aos limites mínimos estabelecidos por normas.

Já Costa e Schneider (2021) verificaram a viabilidade técnica da substituição de aglomerante por resíduos vítreos na produção de pavimento intertravado de concreto e chegaram a resultados satisfatórios.

Portanto, esta pesquisa se torna relevante por ampliar a literatura evidenciando a viabilidade técnica da substituição parcial do cimento *Portland* por resíduos vítreos em cadeias produtivas distintas das mencionadas.

Nesta perspectiva, esta investigação tem como objetivo verificar o desempenho mecânico de tijolos de solo cimento confeccionados com resíduos vítreos coletados no município de Mossoró/RN e beneficiados na granulometria de material pulverulento, tendo como parâmetros a resistência à compressão simples e a absorção de água.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RESÍDUOS EM TIJOLOS DE SOLO CIMENTO

Na mistura de solo cimento pode ser incorporado distintos materiais, convencionais ou resíduos sólidos beneficiados, com diferentes finalidades de usos dentro da mistura, como proporcionar a redução do consumo de cimento *Portland* e em substituição parcial do solo (Oliveira & Barros, 2024).

A redução do consumo em solo cimento acontece quando o resíduo é beneficiado na granulometria de material pulverulento e apresenta atividade pozolânica (Hill & Sharp, 2002; Rosa et al., 2020). Podendo, também, proporcionar o efeito *filler* e melhorar o empacotamento do sistema (Oliveira & Barros, 2024).

O vidro é um material amplamente utilizado no setor da construção civil, podendo ser definido, de acordo com Bauer (2008), como um líquido super-resfriado composto, principalmente, por sílica, carbonato de sódio e cálcio, sendo a sílica o componente com maior percentual. Devido a predominância de sílica em sua composição, o vidro pode apresentar boas propriedades pozolânicas, tornando-o um material com potencial para aplicação no setor da construção civil como material alternativo para concretos e argamassas (Campbell, 2023).

Como o vidro é um material muito utilizado em diversos setores por sua versatilidade, no Brasil por ano é produzido mais de 1 milhão de toneladas de vidro, mas apenas 25% desse volume é reciclado (Time Musa, 2024). Para mudar este contexto, uma das possibilidades de reciclagem do resíduo vítreo é o seu beneficiamento através da moagem e a utilização em matrizes cimentícias (Morais et al., 2022; Campbell, 2023; Costa & Schneider, 2021).

2.2 REQUISITOS TÉCNICOS DOS TIJOLOS DE SOLO CIMENTO

O solo cimento corresponde a uma mistura homogênea e compactada entre solo, cimento e água cuja dosagem ocorre de acordo com as normas que regulamentam a produção desse material utilizado na construção civil. Essa mistura quando endurecida e curada adquire boa resistência (ABCP, 2004).

Bauer (2008) relata que a qualidade do solo cimento e suas características são determinadas por diversos fatores, incluindo a quantidade de cimento utilizada, o tipo de solo empregado, o nível de umidade da mistura e o grau de compactação. Logo, para produção desses tijolos o solo tem que passar por seleção criteriosa, pois é fundamental para a obtenção de um produto final com as características desejadas e se ter um menor consumo do cimento (ABCP, 2000).

Nesse sentido, a NBR 10833 (ABNT, 2012) estabelece que a quantidade de matéria orgânica no solo deve ser limitada de forma a não prejudicar a hidratação do cimento, além de apresentar as características descritas na Tabela 1.

Tabela 1

Critérios para a seleção de solos para uso em tijolos solo-cimento.

CARACTERÍSTICA	Requisito (%)
% Passante na peneira ABNT 4,75 mm	100
% Passante na peneira ABNT 0,075 mm	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Índice de plasticidade	≤ 18

Fonte: Adaptado da NBR 10833 (ABNT, 2012).

No que diz respeito ao cimento para a produção do tijolo solo-cimento, podem ser utilizados: Cimento *Portland* Comum, Composto, de Alto-Forno, Pozolânico e o de Alta Resistência Inicial, desde que atendam as normas referentes a cada tipo. Quanto a água, deve ser de boa qualidade, livre de impurezas que possam prejudicar a reação química de hidratação do cimento (ABPC, 2000).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Materiais convencionais

Os materiais convencionais utilizados foram: Cimento *Portland* CP V ARI RS e solo argiloso. O solo utilizado foi coletado no Campus Leste da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), em Mossoró/RN. Após a coleta, o material passou pelo processo de secagem ao ar, destorroamento e peneiramento na peneira ABNT nº 4 (4,75 mm) no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFERSA.

3.1.2 Materiais alternativos

O material alternativo utilizado foi resíduos de vidro oriundos de garrafas do tipo “LongNeck” de cervejas coletadas no município de Mossoró/RN. Essas passaram pelo processo de moagem no Abrasão de Los Angeles, e posteriormente pelo processo de peneiramento em peneira ABNT nº 200 (abertura de 0,075 mm) nos Laboratórios de Mecânica dos Solos e de Materiais de Construção da UFERSA, respectivamente. A Figura 2 mostra o resíduo de vidro após moagem e peneiramento (granulometria de pó).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Caracterização física do solo

A caracterização física do solo ocorreu através dos ensaios: granulometria por peneiramento (ABNT NBR 7181/2016); Limite de Liquidez (LL) (ABNT NBR 6459/2016);

Limite de Plasticidade (LP) (ABNT NBR 7180/2016) e compactação Proctor Normal (ABNT NBR 7182/2016), realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos no Campus Leste da UFERSA no município de Mossoró/RN.

3.2.2 Caracterização química do pó de vidro

A caracterização química do pó de vidro ocorreu utilizando a técnica de espectrometria de fluorescência de raios x (equipamento EDX 720 da Shimadzu) para determinação da composição química no Laboratório de Tecnologia dos Materiais da universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

3.2.3 Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados 18 corpos de provas (CP's) cilíndricos, com dimensões de (50x100) mm, seguindo a norma NBR 12024 (ABNT, 2012), sendo: 06 CP's no traço 1:10 (cimento: solo), esses chamados de referência; 06 CP's no traço 1:10 (cimento: solo) com teor de substituição parcial do cimento Portland por 10% de pó de vidro e 06 CP's no traço 1:10 (cimento: solo) com teor de substituição parcial do cimento Portland por 20% (Tabela 2). Dos 18 CP's, 09 foram para a realização do ensaio de absorção e 09 para o de resistência à compressão simples).

Tabela 2

Traços volumétricos com base no percentual de substituição.

PERCENTUAL DE SUBSTITUIÇÃO	TRAÇO
0% (Referência)	1:10*
10 %	0,90:0,10:10
20 %	0,80:0,20:10

*Refere-se apenas à cimento e solo, pois no de referência não foi utilizado pó de vidro.
Fonte: Autores (2025).

A quantidade de água para moldar CP's foi estabelecida através do ensaio de compactação Proctor Normal, conforme a norma NBR 7182 (ABNT, 2016). Neste ensaio, determinou-se a umidade ótima e o peso específico seco máximo, sendo 21% e 1,70 g/cm³, respectivamente. Após moldados, os corpos de prova foram curados em câmara úmida por 28 dias, para posterior ensaios de absorção de água e de resistência à compressão simples.

3.3 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de absorção de água foi realizado conforme rege a NBR 8492 (ABNT, 2012). Enquanto o ensaio de resistência à compressão simples ocorreu conforme a NBR 12025 (ABNT, 2012). Para a realização desse ensaio, o equipamento utilizado para romper os CP's foi a Máquina Universal de Ensaio EMIC Modelo DL 10000, célula CCE30kN.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO

A Tabela 3 apresenta as características físicas obtidas para o solo utilizado nesta pesquisa.

Tabela 3

Caracterização física do solo.

CARACTERÍSTICA	REQUISITO (%)	VALOR OBTIDO PARA O SOLO ESTUDADO (%)
% Passante na peneira ABNT 4,75 mm	100	100
% Passante na peneira ABNT 0,075 mm	10 a 50	22
Limite de liquidez	≤ 45	37
Índice de plasticidade	≤ 18	15

Fonte: Autores (2025).

De acordo com os resultados da Tabela 3, percebe-se que o solo estudado atende a todos os requisitos exigidos pela NBR 10833 (ABNT, 2012) para ser utilizado na fabricação de tijolos de solo cimento. Verifica-se, ainda, que ele é classificado, de acordo com Caputo (1988), como mediantemente plástico porque seu IP se encontra no intervalo $7 < IP \leq 15$ (Tabela 3).

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PÓ DE VIDRO

A Tabela 4 apresenta a composição química do pó de vidro. Ao analisar a composição obtida e comparar com os requisitos químicos da NBR 12653 (ABNT, 2014), verificou-se que apresenta alto teor de SiO_2 (72,19%) e que a soma de SiO_2 com Al_2O_3 e

Fe₂O₃ corresponde a 78,13%, logo com relação a este parâmetro pode ser considerado material com propriedades pozolânicas.

Tabela 4

Caracterização química do pó de vidro.

Componentes	(%)
SiO ₂	72,19
CaO	13,50
Na ₂ O	6,56
Al ₂ O ₃	3,42
Fe ₂ O ₃	2,52
SO ₃	0,18
Outros óxidos	1,63

Fonte: Autores (2025).

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A Tabela 5 apresenta de forma detalhada os valores de absorção de água encontrados para cada um dos corpos de prova submetidos ao ensaio. Ao se comparar os valores da Tabela 5 com os requisitos exigidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012) é possível concluir que todos os CP's atenderam a eles. Para a média dos valores de absorção de água, o máximo exigido pela norma é 20%, e para os valores individuais, 22%. Como nenhum CP excedeu esses valores, foram atendidos os requisitos.

Tabela 5

Resultados do ensaio de absorção d'água.

TRAÇO	ABSORÇÃO DE ÁGUA Média (%)	DESVIO PADRÃO
1:10 (Referência)	18,81	(±) 0,05
1:10 (10% de substituição)	17,83	(±) 0,19
1:10 (20% de substituição)	17,87	(±) 0,12

Fonte: Autores (2025).

Em comparação ao traço de referência, os traços que contém pó de vidro na sua composição apresentaram menor absorção de água, tanto nos valores individuais quanto na média, corroborando com os resultados obtidos para resistência à compressão simples.

4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

A Tabela 6 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão simples para todos os 09 CP's, apresentando também as resistências médias e o desvio padrão.

Tabela 6

Resultados do ensaio de resistência à compressão simples (RCS).

TRAÇO	RCS Média (MPa)	DESVIO PADRÃO
1:10 (Referência)	2,75	(±)0,26
1:10 (10% de substituição)	2,65	(±)0,05
1:10 (20% de substituição)	3,54	(±)0,17

Fonte: Autores (2025).

Nota-se que todos os traços ultrapassaram a resistência mínima média requerida pela NBR 8491 (ABNT, 2012), que é de 2,0 MPa. Também é possível observar que a resistência do traço com teor de substituição de 20 % do pó de vidro se sobressaiu em relação aos demais, demonstrando o efeito positivo da substituição parcial do cimento *Portland* pelo pó de vidro no teor de 20%.

5 CONCLUSÃO

Diante do estudo realizado, foi possível chegar as seguintes conclusões:

- O solo utilizado nesta pesquisa apresenta os parâmetros físicos indicados pela NBR 10833 (ABNT, 2012) e está apto para ser utilizado na fabricação de tijolos de solo cimento.
- A composição química do pó de vidro quando se analisa o parâmetro da soma de SiO₂ com Al₂O₃ e Fe₂O₃ estabelecido pela NBR 12653 (ABNT, 2014) pode ser considerado como material com atividade pozolânica.
- Os resultados dos ensaios de absorção de água indicaram que os corpos de provas produzidos com adição de resíduos vítreos atendem aos requisitos estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012), tanto em relação aos valores individuais quanto à média, confirmando a viabilidade técnica da utilização desse material para a fabricação de tijolos solo cimento.
- A análise dos resultados dos ensaios de resistência à compressão simples (RCS) revelou que os corpos de prova contendo pó de vidro superaram os valores mínimos exigidos

pela NBR 8491 (ABNT, 2012), com destaque para a formulação com o teor de 20% de substituição, que apresentou maior RCS média.

- Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica da substituição parcial do cimento CP V ARI RS por pó de vidro na produção de tijolos de solo-cimento. Com isso, à incorporação de resíduos vítreos contribui para promover um novo ciclo de vida para garrafas “*Long-Necks*”.

REFERÊNCIAS

- ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland (2000). Boletim Técnico: Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais – BT-111. 3ed. rev. atual. São Paulo, 16p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). NBR 12025: Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016). NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). NBR 8491: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012). NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro

- Bauer, L.A F (2008). *Materiais de Construção* (5 ED). Rio de Janeiro: LTC. 538 p. 2 v.
- Campbell, A. P (2023). Análise da substituição da areia por resíduos de vidro na construção civil. *Revista Científica Semana Acadêmica*. Fortaleza, ano MMXXIII, Nº. 000229.
- Gil, A. D.; Silva, A. M.; Oliveira, J. L. M. DE; Felismino, T. R.; A, A. A. R (2020). Tampos e bancadas de cimento e vidro triturado reciclado como alternativas sustentáveis a materiais de granito e mármore. In: XXII SEMANA UNIFICADA DE APRESENTAÇÕES. São Paulo, 1-29.
- Hill, J. & Sharp, J. H. (2002). The mineralogy and microstructure of three composite cements with high replacement levels. *Cement & Concrete Composites*, 24, 191-199.
- Morais, A.; Dourado, J. B. O. L.; Lima, E. K. DE; Resende, C. X.; Paz, G. M. DA; Matos, J. M. E. DE; Santos, V. B. DOS (2022). Argamassa cimentícia: Uso sustentável de pó fino de vidro reciclado como precursor parcial. *Cerâmica industrial*, v. 27, n. 1, p. 1–11.
- Oliveira, L. A. A. ; Barros, S. V. A (2024). Soil-cement bricks with perlite as mcs and mesquite and cashew ash as filler. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PROFESSIONAL BUSINESS REVIEW*, v. 9, p. e04629.
- Rosa, L. S. et al. (2020). Materiais cimentícios suplementares: Histórico e novas tendências. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 7, 121-127.
- Time Musa (2024). Por que o Governo Federal está olhando para as taxas de reciclagem do vidro? Disponível em: <<https://www.musa.co/blog/reciclagem-do-vidro>>. Acesso em: 2025.