



Efeitos da substituição parcial do cimento Portland por cinza de eucalipto no estado fresco de argamassas para revestimento de paredes e tetos

Effects of partial replacement of Portland cement with eucalyptus ash on the fresh properties of rendering mortars for walls and ceilings

Thiago de Oliveira Ribeiro

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, Bahia | thiagoribeiro@aluno.ufrb.edu.br

Lylian Gabriele Carneiro Oliveira

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, Bahia | lyliangabriele@aluno.ufrb.edu.br

Jéfiter Soares Gonçalves

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, Bahia | jefgoncalves@outlook.com

Pedro Lucas da Costa Duarte Cerqueira

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, Bahia | pedrolucascerqueira@hotmail.com

Fernanda Nepomuceno Costa

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia | Cruz das Almas, Bahia | fernandacosta@ufrb.edu.br

RESUMO

Este estudo avalia os efeitos da substituição parcial do cimento Portland pelo resíduo de olaria, proveniente da queima da madeira eucalipto, resultando no resíduo da cinza de eucalipto (RCE), nas propriedades de argamassas no estado fresco. Foram preparadas argamassas utilizando traços com 0%, 5%, 10% e 15% de substituição e analisados os impactos na consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado e retenção de água. A avaliação da cinza indicou que esta não atende aos requisitos normativos para materiais pozzolânicos devido ao baixo índice de atividade pozzolânica e elevada perda ao fogo. Entretanto, devido a sua finura, o resíduo pode atuar como filler, contribuindo para a melhoria de propriedades da argamassa no estado endurecido. Os resultados nas argamassas mostraram que a incorporação do RCE melhora a trabalhabilidade da argamassa e reduz levemente a retenção de água.

Palavras-chave: Cinzas de eucalipto; Reaproveitamento; Argamassas.

ABSTRACT

This study evaluates the effects of the partial replacement of Portland cement by brick kiln waste, originating from the burning of eucalyptus wood, resulting in eucalyptus ash residue (EAR), on the properties of mortars in the fresh state. Mortars were prepared using mixes with 0%, 5%, 10%, and 15% replacement and the impacts on consistency, bulk density, air content, and water retention were analyzed. The evaluation of the ash indicated that it does not meet the normative requirements for pozzolanic materials due to the low pozzolanic activity index and high loss on ignition. However, due to its fineness, the residue can act as a filler, contributing to the improvement of mortar properties in the hardened state. The results in the mortars showed that the incorporation of EAR improves the workability of the mortar and slightly reduces water retention.

Keywords: Eucalyptus ash; Reuse; Mortars.

1 INTRODUÇÃO

As indústrias cerâmicas desempenham um papel relevante na cadeia produtiva da construção civil brasileira, movimentando cerca de R\$18 bilhões por ano e gerando mais de 293 mil empregos diretos, o que corresponde a aproximadamente 4,8% do setor (ANICER, 2025). Em seu processo de fabricação, utiliza-se energia térmica tanto na secagem quanto na queima dos produtos, atingindo temperaturas entre 800 °C e 1000 °C — intervalos essenciais para provocar as transformações físico-químicas da argila (Oliveira e Holanda, 2004).

Os fornos de operação contínua destacam-se pela eficiência no consumo de combustível, utilizando predominantemente lenha, carvão ou serragem como fontes de energia (Couvignou, 2007). Dentre essas, a lenha de eucalipto é amplamente empregada, resultando na geração de resíduos como a cinza da queima (Foelkel, 2011). Esse resíduo é constituído por minerais oxidados e carbono parcialmente queimado, podendo apresentar características pozolânicas, ou seja, capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio presente no cimento Portland, formando compostos cimentantes adicionais (Foelkel, 2011).

O cimento Portland é o segundo material mais consumido no mundo; no entanto, sua cadeia produtiva é responsável por aproximadamente 8% a 10% das emissões globais de gases de efeito estufa (SNIC, 2025). Diante desse cenário, têm-se buscado alternativas mais sustentáveis, como a substituição parcial do clínquer por adições minerais, com o objetivo de reduzir impactos ambientais e promover uma construção civil mais sustentável (Lothenbach *et al.*, 2011). Nesse contexto, a Resolução CONAMA nº 448/2012 determina que os municípios implementem políticas de gestão sustentável de resíduos sólidos, incentivando sua reutilização na cadeia produtiva (CONAMA, 2012). Dessa forma, a cinza gerada na queima da lenha de eucalipto (RCE) em olarias pode ser aproveitada como adição mineral ao cimento Portland.

Com o intuito de promover a valorização desse resíduo, este trabalho tem como objetivo avaliar, por meio de ensaios no estado fresco, o desempenho de argamassas utilizadas em revestimentos de paredes e tetos, nas quais o RCE, proveniente de uma olaria da cidade de Cruz das Almas – BA, é empregado como substituto parcial do cimento Portland.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). O estudo teve início com a visita a uma olaria (Figura 1) para a coleta do resíduo de cinzas de eucalipto, seguida pela definição do programa experimental.

Figura 1: Coleta do resíduo de cinzas de eucalipto em uma fábrica ceramista de Cruz das Almas – BA.



Fonte: Os autores.

2.1 MATERIAIS

O aglomerante utilizado nos ensaios foi o cimento Portland CP V - ARI, escolhido devido ao seu baixo teor de adições, com o objetivo de minimizar possíveis interações entre o RCE e outros componentes. A areia natural utilizada foi extraída de uma jazida em Alagoinhas – Bahia, peneirada para a remoção de impurezas e, posteriormente, mantida em estufa a (105 ± 5) °C por 24 horas até atingir massa constante. A água

empregada em todos os ensaios foi destilada utilizando um destilador da marca Marte, sendo disponibilizada pelo Laboratório de Qualidade da Água da UFRB. O RCE foi coletado em uma indústria ceramista e transportado ao Laboratório de Materiais de Construção da UFRB em sacos de rafia.

2.2 MÉTODOS

A caracterização dos materiais seguiu as normas técnicas estabelecidas. A determinação da massa específica do cimento foi realizada conforme a NBR NM 23 (ABNT, 2000). Já para a areia natural, foram adotadas as diretrizes da NBR NM 45 (ABNT, 2006) para a massa unitária e da NBR NM 52 (ABNT, 2009) para a massa específica.

O RCE passou por um processo de beneficiamento para a remoção de impurezas indesejadas. Inicialmente, o material foi submetido à secagem em estufa, seguindo uma rampa de aquecimento de 4,5 °C por minuto até atingir a temperatura de (100±5) °C, na qual permaneceu por 24 horas. Após o resfriamento, as cinzas foram peneiradas, sendo selecionada a fração passante na peneira de abertura 75 µm (nº 200), conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: RCE passante na peneira de abertura de 75 µm.



Fonte: Os autores.

A escolha dessa fração deve-se à sua finura, que visa proporcionar um tamanho de grão semelhante ao do cimento, além de seu potencial como material de preenchimento devido ao efeito *filler*, o que pode favorecer uma maior compatibilidade com a matriz cimentícia.

Para avaliar as propriedades do RCE e verificar sua conformidade com os critérios da NBR 12653 (ABNT, 2014) para a classificação como material pozolânico, foram conduzidos ensaios para determinar sua massa específica, conforme NBR NM 23 (ABNT, 2000), índice de atividade pozolânica aos 28 dias conforme NBR 5752 (ABNT, 2014), perda ao fogo conforme NBR 17086-6 (ABNT, 2023) e teor de umidade conforme NBR NM 24 (ABNT, 2002).

Após o beneficiamento dos materiais, foram preparadas argamassas para avaliar o impacto da incorporação do resíduo em suas propriedades. Para isso, foram formuladas misturas com diferentes composições, incluindo uma amostra de referência sem utilização do resíduo e amostras contendo 5%, 10% e 15%, em peso, de substituição parcial do cimento Portland por cinza. A dosagem adotada seguiu a proporção de 1:6, em massa, com uma relação água/(cimento + RCE) fixa de 1,05 (Guimarães *et al.*, 2019). A homogeneização dos materiais foi realizada em misturador mecânico, utilizando um recipiente não absorvente, em conformidade com as diretrizes da NBR 13279 (ABNT, 2005).

Em seguida, a fim de avaliar a influência dos diferentes teores de RCE nas propriedades das argamassas no estado fresco, foram realizados os seguintes ensaios: índice de consistência, conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016), densidade de massa e teor de ar incorporado, de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005) e retenção de água, conforme estabelecido na NBR 13277 (ABNT, 2005).

3 RESULTADOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização dos materiais utilizados, incluindo parâmetros como a massa específica dos materiais, a massa unitária do agregado e a caracterização do RCE para análise de sua pozolanidade.

Tabela 1: Caracterização dos materiais utilizados na produção das argamassas.

Material	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)	Índice de atividade pozolânica aos 28 dias (%)	Perda ao fogo (%)	Teor de Umidade (%)
CP V - ARI	3,15	-	-	-	-
AREIA NATURAL	2,62	1,59	-	-	-
RCE	2,55	-	83,45	37	0,6

Fonte: Os autores.

A massa específica do RCE foi determinada como 2,55 g/cm³, enquanto a do cimento CP V-ARI foi de 3,15 g/cm³. Esse resultado indica que as partículas do RCE possuem uma densidade inferior à do cimento, ou seja, para um mesmo volume, o RCE apresenta uma massa menor quando comparado ao cimento.

No entanto, os resultados obtidos indicam que as cinzas de eucalipto não apresentam propriedades adequadas para serem utilizadas como material pozolânico em matrizes cimentícias, o que pode impactar negativamente o desempenho mecânico das argamassas no estado endurecido quando estas são produzidas com substituição parcial do cimento pelo resíduo. Embora o teor de umidade esteja dentro dos limites estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT, 2014), os ensaios de índice de atividade pozolânica aos 28 dias registraram um valor de 83%, abaixo do mínimo exigido pela norma vigente.

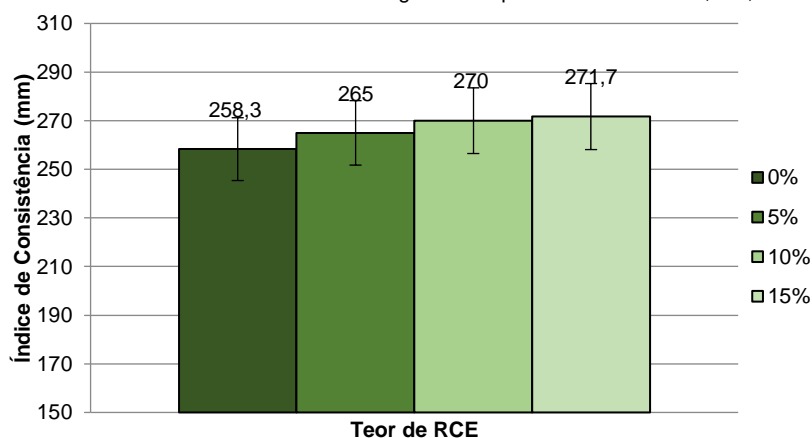
Além disso, a elevada perda ao fogo, de 37%, reforça a ausência de pozolanicidade do material, uma vez que o limite aceitável é de 6%. Esse resultado sugere uma alta concentração de carbono no RCE, o que pode comprometer a resistência mecânica do compósito. Diante disso, investigações complementares, como análises da composição química por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), são recomendadas para melhor compreensão das características do resíduo.

3.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

3.2.1 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

Os resultados obtidos nos ensaios para a determinação do índice de consistência mantendo constante a relação água/(cimento+RCE), conforme ilustrado na Figura 3, demonstram que a consistência da argamassa aumenta com o aumento do teor de cinzas.

Figura 3: Resultados do índice de consistência das argamassas para os teores de 0%, 5%, 10% e 15% de RCE.

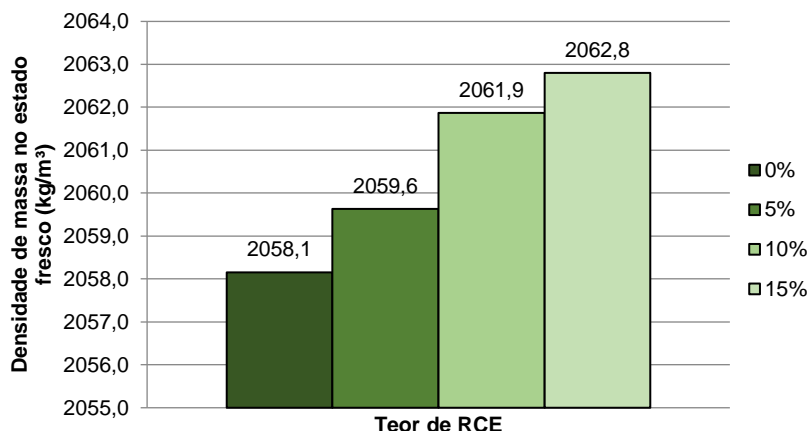


Fonte: Os autores.

Observa-se que a substituição de 5% do cimento por cinzas de eucalipto resultou em um aumento de 2,6% no índice de espalhamento em comparação com a argamassa de referência. Com 10% de substituição, o aumento foi de 4,5%, e com 15%, de 5,2%. Esses dados indicam que as cinzas de eucalipto promovem uma melhoria na trabalhabilidade da argamassa, comportamento atribuído à menor finura do RCE em relação ao cimento Portland, o que reduz a demanda de água e favorece a fluidez da mistura.

3.2.2 DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO

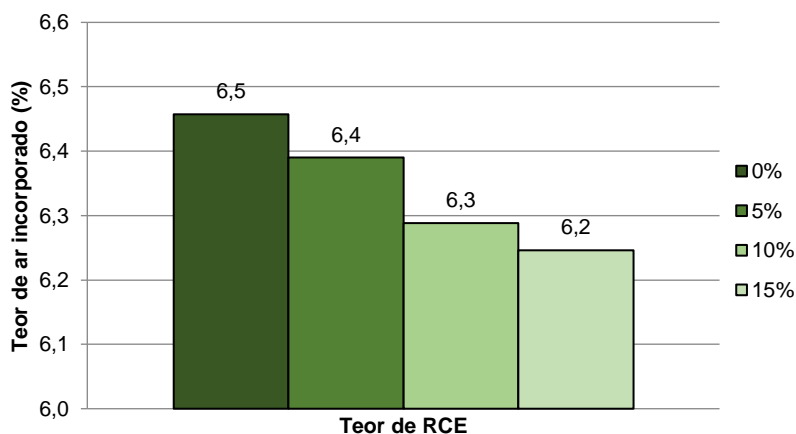
Conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005), foi realizado o ensaio de densidade de massa no estado fresco, cujos resultados são apresentados na Figura 4. Verifica-se um pequeno incremento na densidade de massa das misturas com 5%, 10% e 15% de substituição do cimento Portland por RCE, em relação à mistura de referência (0%). No entanto, essa variação é pouco significativa: a diferença em relação à referência foi de 0,07% para a substituição de 5%, 0,18% para 10% e 0,23% para 15%.

Figura 4: Resultados do ensaio de densidade de massa para os teores de 0%, 5%, 10% e 15% de RCE.

Fonte: Os autores.

Conforme a NBR 13281-1 (ABNT, 2023) as argamassas são classificadas como DF4, por possuírem densidades maiores que 2000 kg/m³.

Considerando que a densidade de massa no estado fresco é inversamente proporcional ao teor de ar incorporado, observa-se que, nas misturas em que a densidade aumentou, houve uma diminuição correspondente no teor de ar incorporado, conforme ilustrado na Figura 5. Esse comportamento pode estar relacionado às características físicas do RCE, como sua granulometria e distribuição de partículas, que podem ter favorecido o empacotamento dos grãos e, conseqüentemente, a redução do ar aprisionado na matriz fresca.

Figura 5: Resultados do ensaio de teor de ar incorporado para os teores de 0%, 5%, 10% e 15% de RCE.

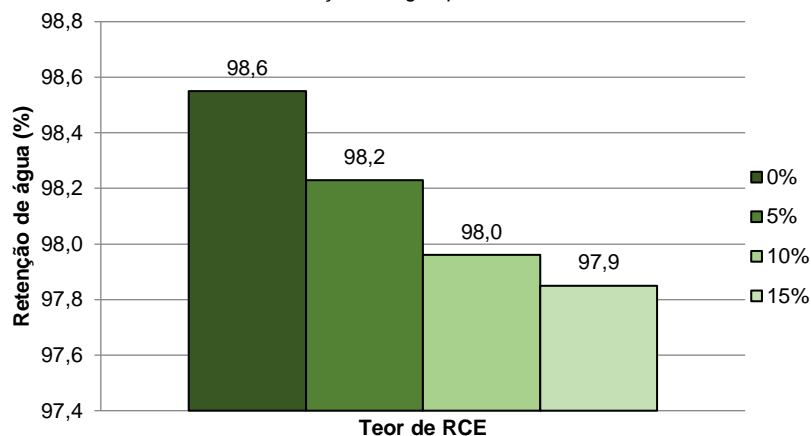
Fonte: Os autores.

O comportamento decrescente do teor de ar incorporado pode estar relacionado à liberação gradual do ar, favorecendo a sedimentação das partículas sólidas e, conseqüentemente, o aumento da densidade de massa observado. Esse fenômeno está em consonância com a análise de Dils *et al.* (2016), que investigaram o impacto da presença de ar na microestrutura de argamassas de alto desempenho.

3.2.3 RETENÇÃO DE ÁGUA

Na análise da retenção de água, observou-se que o aumento do percentual de substituição do cimento Portland por RCE resultou em uma leve redução na capacidade de retenção de água da argamassa, conforme apresentado na Figura 6. Segundo Cincotto *et al.* (1995), a retenção de água corresponde à capacidade da argamassa, no estado fresco, de conservar sua consistência mesmo em condições que favorecem a perda de água por absorção ou evaporação.

A redução na retenção de água pode impactar negativamente a aderência da argamassa ao substrato, especialmente em aplicações verticais, onde a sucção do suporte tende a intensificar a perda de água. Além disso, essa diminuição pode comprometer a trabalhabilidade durante o tempo de aplicação, reduzindo o tempo disponível para o manuseio adequado do material. Tais efeitos devem ser considerados no desempenho final do revestimento, especialmente em condições ambientais mais severas.

Figura 6: Resultados do ensaio de retenção de água para os teores de 0%, 5%, 10% e 15% de RCE.

Fonte: Os autores.

4 CONCLUSÃO

O estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de argamassas para revestimento de paredes e tetos por meio da reutilização de RCE, substituindo parcialmente o cimento em proporções de 0% (referência), 5%, 10% e 15%, apresentando os seguintes resultados:

- A substituição parcial do cimento Portland por cinza de eucalipto aumentou o espalhamento da argamassa, melhorando sua trabalhabilidade.
- A substituição parcial do cimento por RCE reduz levemente a retenção de água da argamassa. O maior teor de RCE resulta em mais água livre e maior fluidez, conforme indicado pelo ensaio de índice de consistência.
- O resíduo de cinza de eucalipto não atendeu aos critérios normativos para materiais pozolânicos, apresentando baixo índice de atividade pozolânica e elevada perda ao fogo.
- Apesar da limitação como material pozolânico, o que poderá impactar nas propriedades no estado endurecido, a cinza de eucalipto pode ser utilizada como “filler”, contribuindo para a melhoria da compacidade da matriz.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Pesquisa em Valorização de Resíduos na Construção Civil da UFRB (Valora Civil), à FAPESB e à empresa Massa Fort Concreto pela doação dos materiais.

REFERÊNCIAS

ANICER. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. Disponível em: <Dados do Setor - ANICER>. Acesso em: 22 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281-1.** Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaio Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2023.

- _____. **NBR 17086-6.** Cimento Portland – Análise química – Parte 6: Determinação da perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2023.
- _____. **NBR NM 23.** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2000.
- _____. **NBR 5752.** Materiais Pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR NM 24.** Materiais Pozolânicos – Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2002.
- _____. **NBR 12653.** Materiais Pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
- CINCOTTO, M.A., SILVA, M.A.C., CARASEK, H. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, (Boletim 68 IPT), São Paulo, 1995.
- CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: MMA/CONAMA 2012.
- COUVIGNOU, E. M. Análise da conformidade e caracterização da matéria-prima empregada na fabricação de blocos cerâmicos na região metropolitana de Salvador. 2007. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Salvador, 2007.
- DILS, J.; BOEL, V.; DE SCHUTTER, G. Impact of Air Entrainment on the Microstructure and Mechanical Performance of High Performance Mortar. **Key Engineering Materials**, 629-630(358-365), 2014. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.629-630.358, 2015.
- FOELKEL, C. Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto: Resíduos Minerais. **Eucalyptus Online Book**. São Paulo, v. 25, n. 5, out. 2011
- GUIMARÃES, C. C.; SANTOS, I. C. S.; ALMEIDA, M. S. S. Cinza de padaria como adição mineral em substituição parcial ao cimento Portland na produção de argamassas. ANAIS DO 61ª CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO – CBC2019, IBRACON, Fortaleza – CE, 2019.
- LOTHENBACH, B.; SCRIVENER, K.; HOOTON, R. D. Supplementary cementitious materials, **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 12, pp. 1244-1256, December, 2011.
- OLIVEIRA, G. E.; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha. Universidade Estadual do Norte Fluminense Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro – RJ, 2004.
- SNIC. SINDICATO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DE CIMENTO. Disponível em: <<http://snic.org.br/historia>>. Acesso em: 22 fev. 2025.