

## Desempenho mecânico e durabilidade de blocos cerâmicos extrudados, prensados e queimados para alvenaria estrutural e de vedação

Jonathan de Andrade Paula Madalena <sup>1</sup>, Izzis do Espírito Santo Simões <sup>1</sup>, Niander Aguiar Cerqueira <sup>\*1</sup>, Marcelo Neves Barreto <sup>2</sup>, Mayara Silva de Almeida <sup>1</sup>, Elias Sócrates Nascimento da Cruz Júnior <sup>1</sup>, Luiz Henrique Bento Barbosa Júnior <sup>1</sup>, Bruno da Silva Sanches <sup>1</sup>, Jonas Alexandre <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

<sup>2</sup> Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

\*e-mail: niander@uenf.br

### Resumo

Este trabalho avalia o comportamento estrutural e a durabilidade de blocos cerâmicos extrudados, prensados e queimados (BCEPQ), produzidos com argila vermelha de alta plasticidade da região Norte Fluminense. A proposta surge da constatação de que, embora amplamente utilizados, os blocos convencionais ainda enfrentam limitações quanto à resistência e durabilidade, especialmente em ambientes agressivos. Foram realizados ensaios de resistência à compressão, absorção de água, ciclos de umidade/secagem e estabilidade térmica. Os resultados revelaram desempenho superior aos requisitos normativos, com resistência média de 12,70 MPa, absorção de água de 18,46% e perda de massa de apenas 5,43% após 2400 h. Constatou-se ainda a manutenção da resistência estrutural mesmo após exposição térmica a 600 °C. Os dados demonstram a viabilidade técnica dos BCEPQ para aplicações em alvenaria estrutural e de vedação, inclusive em ambientes agressivos, indicando potencial para uso em programas habitacionais de baixo custo.

**Palavras-chave:** Blocos cerâmicos; Durabilidade; Resistência mecânica; Desempenho térmico; BCEPQ.

### 1. INTRODUÇÃO:

A cerâmica vermelha ocupa posição central na cadeia produtiva da construção civil brasileira, com ampla aplicação em elementos de vedação e cobertura, como blocos, tijolos e telhas. Estima-se que a produção anual de unidades cerâmicas no país ultrapasse 100 bilhões, sendo os blocos responsáveis por cerca de 70% desse total [1]. Trata-se de um setor com impacto expressivo, movimentando aproximadamente R\$ 30 bilhões por ano e gerando milhares de empregos diretos e indiretos [2].

Apesar dessa relevância, a indústria cerâmica ainda enfrenta limitações tecnológicas. A predominância de métodos produtivos tradicionais, com baixo grau de automação, afeta diretamente a qualidade dos produtos. Em muitos casos, observa-se a ocorrência de patologias construtivas, como fissuras, elevada porosidade e baixo desempenho mecânico, especialmente em contextos expostos a variações térmicas ou ciclos de umidade/secagem.

Com a crescente demanda por materiais mais duráveis e eficientes, tanto o setor produtivo quanto a pesquisa acadêmica têm buscado soluções que ampliem a vida útil e a confiabilidade dos componentes cerâmicos. Nesse cenário, os blocos extrudados, prensados e queimados (BCEPQ) se destacam como alternativa promissora. A combinação dessas etapas permite maior compactação da matriz cerâmica, resultando em menor porosidade e melhores propriedades físico-mecânicas.

Pesquisas recentes indicam que a aplicação integrada de extrusão, prensagem e queima controlada pode melhorar significativamente o desempenho dos blocos, tornando-os aptos para uso em alvenaria estrutural e de vedação [3 – 8]. No entanto, ainda há lacunas na literatura quanto ao comportamento desses blocos frente a condições ambientais agressivas, como exposição prolongada à umidade e variações térmicas intensas.

O presente estudo busca contribuir com essa discussão ao avaliar, de forma integrada, o comportamento estrutural e a durabilidade de BCEPQ produzidos com argila de alta plasticidade da região Norte Fluminense. São abordados aspectos como resistência à compressão, absorção de água, estabilidade térmica e resposta a ciclos de umidade/secagem, considerando parâmetros normativos e critérios de desempenho aplicáveis à construção civil contemporânea. O estudo parte de uma problemática concreta na indústria cerâmica brasileira: a baixa durabilidade e resistência mecânica de blocos convencionais utilizados em alvenaria estrutural e de vedação, especialmente sob condições ambientais agressivas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS:

Os blocos cerâmicos BCEPQ foram produzidos com argila extraída na localidade de São Sebastião, distrito de Campos dos Goytacazes (RJ). O processo industrial envolveu três etapas principais: extrusão com equipamento WD36, prensagem em prensa hidráulica Eco Master 7000 Turbo II e queima em forno tipo abóbada, com controle de temperatura (800 °C). A Fig.1 ilustra as diferentes fases do processo.



**Figura 1.** (a) BCEPQ ainda úmidos, após saída da etapa de extrusão; (b) Molde da prensa hidráulica com BCEPQ durante a etapa de prensagem; (c) Bloco após queima com indicação das dimensões nominais

A caracterização da matéria-prima foi conduzida segundo as normas da ABNT para análise granulométrica [9], limite de liquidez [10] e limite de plasticidade [11]. A composição química da argila foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), utilizando espectrômetro Shimadzu EDX-720, operando com tubo de raios X de 50 kV e atmosfera de hélio. A caracterização das fases mineralógicas da matéria-prima foi realizada por meio de ensaio de difração de raios X (DRX) com o equipamento modelo XRD-7000 da marca Shimadzu. A análise foi conduzida com radiação Cu K $\alpha$ , utilizando varredura contínua no intervalo de 2 $\theta$  entre 5 e 60°, com amostra previamente peneirada (material passante na malha 325 mesh).

A avaliação do desempenho estrutural dos BCEPQ foi realizada por meio do ensaio de resistência à compressão simples, em prensa hidráulica EMIC DL-30000, com célula de carga de 30 toneladas e taxa de aplicação de carga de 0,5 MPa/s, conforme os critérios estabelecidos pela NBR 15270-1 [12];

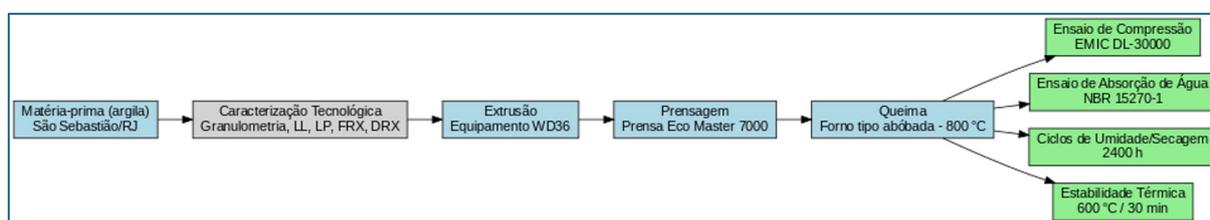
Para avaliação da durabilidade dos BCEPQ foram realizados ensaios de degradação acelerada, adaptado da metodologia proposta por Xavier et al. [13], considerando 100 ciclos de 24 horas

(totalizando 2400 horas), com 12 horas de imersão em água potável e 12 horas de secagem a °C em estufa. Os blocos foram pesados ao final de cada ciclo para avaliação da perda de massa;

Para avaliação da estabilidade térmica, foram montados prismas cerâmicos secos, sem uso de argamassa, com encaixe direto entre as unidades. O aquecimento foi realizado em forno elétrico da marca ALDIEN, com temperatura máxima de 1200 °C, potência de 8000 W e dimensões internas de 250 × 450 × 600 mm. O forno é equipado com isolamento térmico em manta de fibra cerâmica de 4", resistores em Kanthal A1 e controle térmico via três controladores NOVUS N480D acoplados a termopares tipo K. O ciclo térmico foi composto por rampa de aquecimento de 5 °C/min até 600 °C, com permanência de 30 minutos nessa temperatura. Essa metodologia segue a NT 02-19:2019 do Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ), utilizada na avaliação do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) [14].

Após o ciclo, os prismas foram imediatamente submetidos ao ensaio de compressão simples, ainda aquecidos, sem resfriamento controlado.

A Fig.2 apresenta o diagrama esquemático do processo de produção e das etapas experimentais adotadas neste estudo.



**Figura 2.** Diagrama esquemático do processo de produção dos BCEPQ e dos ensaios realizados para avaliação de desempenho

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Matéria-prima:

A argila utilizada apresentou alta plasticidade, considerado adequado para conformação cerâmica por extrusão. A Tab.1 apresenta os resultados da caracterização granulométrica e dos limites de Atterberg. Essas propriedades são fundamentais para avaliar o comportamento da matéria-prima durante os processos de conformação e secagem dos blocos cerâmicos.

**Tabela 1.** Propriedades tecnológicas do solo argiloso

Propriedade	Valor
Argila	46%
Silte	23%
Areia	31%
Limite de Liquidez (LL)	47,9%
Limite de Plasticidade (LP)	28,7%
Índice de Plasticidade (IP)	19,2%

As propriedades tecnológicas da argila analisada, como o índice de plasticidade e a distribuição granulométrica, estão em consonância com os parâmetros ideais para conformação cerâmica por extrusão [15].

A análise química por FRX revelou predominância dos óxidos de silício (SiO<sub>2</sub> = 46,36%) e alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 37,83%), e análise mineralógica por DRX evidenciou a presença majoritária de caulinita e illita. Essa composição está de acordo com o perfil mineralógico típico de argilas do Sudeste e do Semiárido brasileiro [16], e contribui para a boa plasticidade e estabilidade durante a queima.

### 3.2. Absorção de água:

Os BCEPQ apresentaram média de absorção de água de 18,4% ( $\pm 0,4$ ), conforme os resultados mostrados na Fig.3. Esses valores atendem aos limites estabelecidos pela NBR [12] para blocos das classes VED40 ( $\leq 22\%$ ) e EST40 ( $\leq 20\%$ ), confirmando a viabilidade para uso tanto em alvenaria de vedação quanto estrutural.

Bloco	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Taxa de Absorção (%)
B1	2659,9	3136,3	17,91
B2	2561,9	3044,9	18,85
B3	2619,7	3105,2	18,53
B4	2664,4	3159,2	18,57
B5	2490,1	2954	18,63
B6	2659,9	3136,3	17,91
<b>Média</b>	-	-	<b>18,40</b>
<b>Desvio Padrão</b>	-	-	<b>0,40</b>



Figura 3. Taxa de absorção de água (%) dos blocos BCEPQ após imersão, conforme norma NBR 15270-1 [12]

A absorção observada está associada ao processo de conformação conjugada por extrusão e prensagem, que favorece maior compactação e menor porosidade do material. Diferentemente dos valores obtidos por Vieira et al. [17], que registraram taxas próximas a 22% para blocos com adição de resíduos vítreos, os BCEPQ demonstraram absorção média de 18,46%, o que reforça a eficácia da compactação proporcionada pela prensagem pós-extrusão. Essa diferença pode ser explicada não só pelo processo de conformação, mas também pela baixa fração de silte na argila utilizada (23%), que favorece estrutura interna menos porosa.

### 3.3. Resistência à compressão:

Os resultados do ensaio a compressão são apresentados no gráfico da Fig.4. A resistência média à compressão foi de 12,70 MPa ( $\pm 1,34$ ), superando largamente o mínimo de 4,0 MPa exigido pela NBR [12] para blocos estruturais da classe EST40.

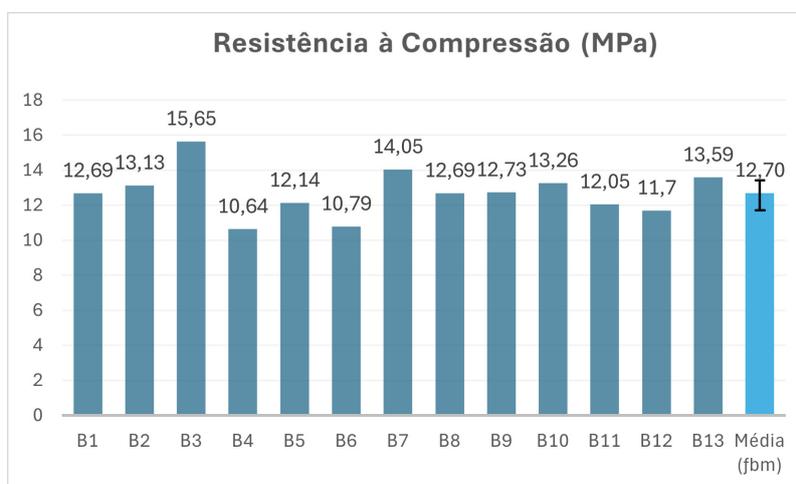


Figura 4. Resistência média à compressão dos BCEPQ

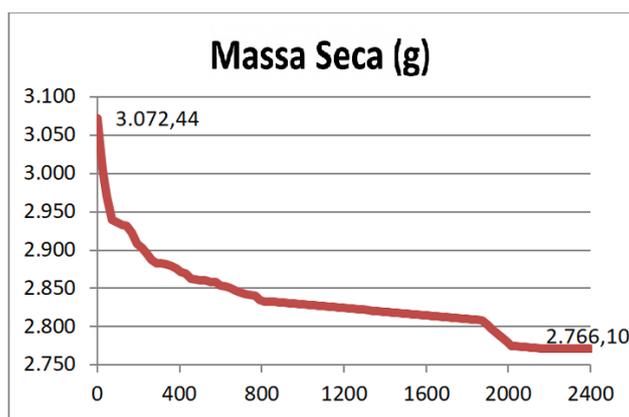
Os valores verificados para compressão em BCEPQ pode ser atribuída à combinação entre a densificação obtida pelo processo de conformação dupla (extrusão e prensagem), à homogeneidade da matriz cerâmica e à composição química da argila utilizada. A análise por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) revelou teores elevados de óxidos fundentes, como  $Fe_2O_3$  e  $K_2O$ , que favorecem a formação de fases vítreas durante a queima, promovendo maior coesão entre as partículas e resultando em melhor desempenho mecânico.

Tal comportamento foi igualmente observado por Rizzatti et al. [18], mas os valores obtidos neste estudo superam os daquela referência, indicando que a sinergia entre prensagem e extrusão, associada à curva térmica aplicada, resulta em microestrutura mais densa e homogênea.

A padronização das dimensões dos BCEPQ, aliada ao seu desempenho técnico, aponta para o potencial de aplicação em sistemas de alvenaria racionalizada, conforme propõe Zechmeister [19] ao discutir a importância da coordenação modular na construção civil.

### 3.4. Degradação:

A Fig.5 apresenta a variação da massa seca ao longo de 100 ciclos de umidade/secagem. Observa-se uma tendência de estabilização da perda de massa a partir do 25º ciclo, indicando que os processos de lixiviação e redistribuição de umidade concentram-se majoritariamente nas fases iniciais do envelhecimento. A perda acumulada de apenas 5,43% revela elevada estabilidade físico-química da matriz cerâmica, possivelmente associada à baixa porosidade efetiva e à presença de fases vítreas formadas durante a queima controlada.



**Figura 5.** Variação da massa seca (g) dos BCEPQ ao longo de 2400 horas de exposição a ciclos de umidade e secagem.

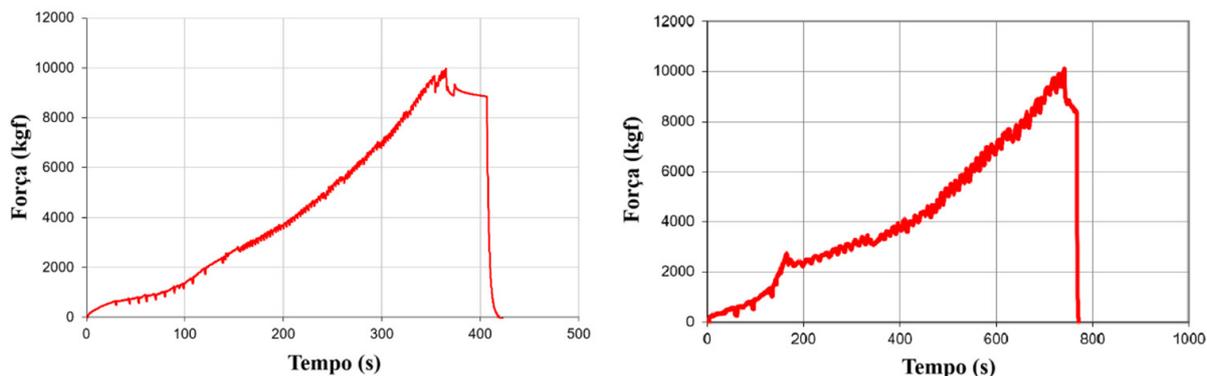
A curva não apresenta picos abruptos, o que sugere uma distribuição uniforme dos poros e resistência à mobilização de partículas solúveis. A baixa perda de massa, com estabilização de perda após o 25º ciclo sugere que a microestrutura dos BCEPQ apresenta distribuição de poros predominantemente fechada. Sabe-se que a presença de fases vítreas atua como barreira à penetração de água, limitando a lixiviação após as primeiras exposições.

O desempenho verificado está em consonância com resultados obtidos por Xavier et al. [13], que observaram estabilidade de massa em peças cerâmicas expostas a ciclos de envelhecimento, desde que apresentassem densidade aparente elevada e distribuição de poros predominantemente fechada. Isso indica estabilidade físico-química frente a ambientes agressivos, essencial para durabilidade em longo prazo [13].

A estabilidade da massa sob ciclos repetidos de umidade/secagem reforça a aplicabilidade dos BCEPQ em ambientes externos, fachadas expostas ou regiões de elevada umidade relativa, onde ciclos higrotérmicos são recorrentes. Esse desempenho pode contribuir para a redução de manifestações patológicas por infiltração e eflorescência ao longo da vida útil da edificação.

### 3.5. Estabilidade térmica:

A resistência residual média registrada foi de 1,68 MPa, valor praticamente idêntico à resistência inicial em temperatura ambiente, evidenciando retenção íntegra da capacidade portante após exposição severa ao calor (Fig.6).



**Figura 6.** (a) Curva força-tempo do ensaio de compressão de prisma cerâmico à temperatura ambiente; (b) Curva força-tempo do ensaio de compressão de prisma cerâmico imediatamente após exposição a 600°C por 30 minutos

Após exposição térmica a 600 °C por 30 minutos, os prismas mantiveram resistência de 1,68 MPa, equivalente à obtida em temperatura ambiente, evidenciando conservação da capacidade portante mesmo após exposição a 600 °C (Fig.7). Esse valor indica uma alta resistência térmica, que pode estar associada ao fato de serem blocos de encaixe sem uso de argamassa cimentícia, diferente do comportamento térmico esperado em prismas de cerâmicas comuns com juntas argamassadas.



**Figura 7.** Prisma cerâmico rompido após ensaio de compressão simples, realizado imediatamente após exposição térmica a 600°C por 30 minutos.

Alguns estudos demonstram que blocos cerâmicos estruturais, ao serem submetidos a temperaturas elevadas, apresentam perdas significativas de massa e propriedades mecânicas, com surgimento de microfissuras nas juntas de argamassa [20,21]. Avaliando paredes, Nguyen e Meftah [22] apontam para perdas superiores a 60% em blocos argilosos convencionais submetidos a esse tipo de ensaio. Na Fig.7 apresenta-se o prisma rompido após aplicação de temperatura de 600 °C por 30 minutos. Observa-se a integridade geral dos BCEPQ, com fissuração centralizada das unidades, indicando manutenção parcial da capacidade estrutural.

Diferentemente do que reporta a literatura técnica, os blocos BCEPQ demonstraram comportamento excepcional ao manterem a resistência à compressão dos prismas (1,68 MPa) mesmo após a exposição a 600 °C por 30 minutos. A discrepância entre os resultados observados neste estudo e as tendências apontadas por esses autores pode estar relacionada à microestrutura específica dos BCEPQ,

caracterizada por menor porosidade efetiva e maior grau de sinterização, conforme evidenciado nas análises físico-químicas (FRX, DRX). Essa estabilidade térmica reforça a viabilidade do uso desses blocos em situações que exigem resistência ao fogo, representando uma contribuição relevante frente às limitações normativas atualmente vigentes no Brasil.

A manutenção da resistência após exposição térmica indica potencial uso em paredes corta-fogo e em ambientes de alta carga térmica, como cozinhas industriais e áreas de caldeiras. Ainda que a norma NBR 15270-1 não estabeleça parâmetros térmicos, a resistência residual obtida (1,68 MPa) pode servir como base para futuras propostas de regulamentação.

Resultados similares de integridade parcial foram relatados por Menegon et al. [23], que analisaram miniparedes de alvenaria estrutural expostas a 600 °C, com e sem controle de dilatação térmica. Os autores observaram fissuração vertical localizada e destacaram que a rigidez das juntas argamassadas influencia significativamente o comportamento térmico da parede. Em contraste, os blocos BCEPQ testados neste estudo, sem uso de argamassa, apresentaram manutenção integral da resistência à compressão, com ruptura centrada e sem perda da capacidade portante, mesmo sob o mesmo nível de aquecimento, o que indica desempenho térmico superior quando consideradas as condições específicas de montagem e composição mineralógica.

A resposta térmica da alvenaria pode variar significativamente a depender do método de ensaio adotado (padronizado ou realístico). Há um risco de superestimação da resistência residual, reforçando a necessidade de contextualizar o comportamento dos blocos BCEPQ em condições reais de incêndio [24].

### 3.6. Síntese comparativa de desempenho:

Com base nos resultados obtidos nos diferentes ensaios, observa-se que os BCEPQ apresentaram desempenho técnico compatível com as exigências normativas brasileiras para alvenaria estrutural e de vedação. A Tab.2 resume os principais parâmetros avaliados e sua relação com os limites estabelecidos pela NBR 15270-1 [12], permitindo uma visualização integrada das propriedades funcionais do material.

**Tabela 2.** Comparativo das propriedades dos BCEPQ com os requisitos normativos

Propriedade	Resultado Experimental	Limite segundo NBR 15270-1 [12]	Classificação Técnica
Resistência à compressão (MPa)	12,70 ± 1,34	≥ 4,0 MPa	Atende à classe EST40
Absorção de água (%)	18,46 ± 0,33	≤ 20% (EST40) / ≤ 22% (VED40)	Atende às duas classes
Perda de massa (%)	5,43% após 2400 h	Não especificado na norma	Avaliação qualitativa positiva
Resistência residual (prisma)	1,68 MPa (após 600 °C / 30 min)	— (sem referência direta)	Desempenho mantido com relação a temperatura ambiente

Este conjunto de dados evidencia a viabilidade técnica dos BCEPQ para uso em alvenaria estrutural e de vedação, inclusive em ambientes com maior exposição a agentes físicos e químicos. O desempenho térmico, embora ainda sem parâmetro normativo específico, apresenta comportamento robusto frente às exigências construtivas em situação de alta carga térmica.

## 4. CONCLUSÃO:

Este estudo teve como objetivo investigar o comportamento estrutural e a durabilidade de blocos cerâmicos extrudados, prensados e queimados, desenvolvidos a partir de argila vermelha de alta plasticidade da região Norte Fluminense. Os métodos adotados compreenderam ensaios de compressão simples, absorção de água, ciclos acelerados de umidade/secagem (2400 h) e avaliação térmica a 600 °C, com análise da resistência residual dos blocos.

Os resultados demonstraram resistência média à compressão de 12,70 MPa e absorção de água de 18,46%, ambos superiores aos limites normativos [12]. A perda de massa após envelhecimento acelerado foi de apenas 5,43%, e os blocos mantiveram resistência estrutural mesmo após exposição térmica, com desempenho equivalente ao observado em temperatura ambiente.

A combinação de extrusão, prensagem e queima controlada resultou em blocos cerâmicos com desempenho significativamente superior aos modelos convencionais em aspectos críticos como resistência mecânica, absorção de água e estabilidade físico-química. A uniformidade microestrutural obtida com o processo de conformação dupla e a queima otimizada contribuiu para a densificação da matriz cerâmica, refletindo-se em elevados índices de resistência à compressão e baixa porosidade.

Os resultados experimentais demonstraram que os BCEPQ suportam variações térmicas intensas sem perda significativa de desempenho estrutural, além de manterem estabilidade dimensional e resistência após exposição a ciclos de degradação por umidade e secagem. Esses atributos ampliam suas possibilidades de aplicação, especialmente em alvenarias expostas, fachadas de edifícios e regiões de elevada umidade relativa do ar.

A adequação às exigências normativas e o desempenho acima dos limites mínimos estabelecidos posicionam os BCEPQ como alternativa tecnicamente viável para alvenaria estrutural e de vedação, inclusive em projetos com exigências de durabilidade prolongada. Sua incorporação em programas habitacionais pode representar um avanço no enfrentamento de patologias construtivas recorrentes, com reflexos positivos em segurança, longevidade e custos de manutenção das edificações.

Ainda que os resultados laboratoriais sejam consistentes, recomenda-se o aprofundamento de investigações sobre comportamento em escala real, incluindo análises de desempenho em campo, aderência em sistemas construtivos integrados e viabilidade econômica em diferentes contextos produtivos. A consolidação do uso desses blocos dependerá da articulação entre avanços tecnológicos, regulamentação técnica e capacidade de adaptação do setor industrial.

## REFERÊNCIAS:

- [1] ANICER 2025. Panorama do Setor Cerâmico. Associação Nacional da Indústria Cerâmica. [www.anicer.com.br](http://www.anicer.com.br)
- [2] Ramos C A B, Costa F A, Lima J S 2008. Diagnóstico da indústria cerâmica vermelha no Brasil. *Cerâmica* 54, 331, 23–29.
- [3] Cerqueira N A, Marvila M T, Azeredo A R G, Alexandre J, Xavier G C, Souza V B 2020. Analysis of deformability modulus by linear and nonlinear elastic methods in ceramic structural masonry and mortars. *Ceramic* 66, 229-235.
- [4] Silva B S, Cerqueira N A, Madalena J A P, Alexandre J, Cruz Junior E S N, Oliveira R P 2025. Evaluation of the physical and mechanical properties of extruded, pressed, and fired red ceramic blocks. Springer: *Characterization of Minerals, Metals, and Materials, The Minerals, Metals & Materials Series*. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-80680-3\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-031-80680-3_33)
- [5] Silva B S, Cerqueira N A, Madalena J A P, Oliveira R P, Cruz Junior E S N, Alexandre J, Azevedo A R G 2024. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos cerâmicos extrudados, prensados e queimados de cerâmica vermelha. São Paulo: 77º Congresso Anual da ABM Internacional 77, 1392-1401.
- [6] Silva B S, Cerqueira N A, Alexandre J, Madalena J A P, Cruz Junior E S N, Simões I E S, Sá B S C, Azeredo L B, Ferreira A W R, Barreto L A F 2024. Caracterização de solos para produção de blocos cerâmicos extrudados, prensados e queimados de cerâmica vermelha. São Paulo: 77º Congresso Anual da ABM Internacional 77, 3662-3669.
- [7] Madalena J A P, Paravidino M S L, Cerqueira N A, Silva B S, Prata D F R F, Póvoa E M, Alexandre J 2024. Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos para obras sociais em Campos dos Goytacazes, RJ: Avaliação experimental da qualidade. *Cerâmica Industrial* 29, e1029. <https://doi.org/10.4322/cerind.2024.046>
- [8] Madalena J A P, Sá B S C, Cerqueira N A, Silva B S, Azevedo A R G, Alexandre J, Almeida M S 2025. Experimental and numerical modeling of thermal performance of extruded, pressed, and fired ceramic blocks. Springer: *Characterization of Minerals, Metals and Materials 2025, The Minerals, Metals & Materials Series*. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-80680-3\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-031-80680-3_35)
- [9] ABNT NBR 7181 2016. Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [10] ABNT NBR 6459 2016. Solo: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [11] ABNT NBR 7180 2016. Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [12] ABNT NBR 15270-1 2023. Componentes cerâmicos: Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [13] Santos P S 1992. Ciência e tecnologia das argilas. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blucher.
- [14] Xavier G C, Saboya F, Maia P C A, Alexandre J 2009. Análise de processos de degradação acelerada em laboratório para estudo da durabilidade de peças cerâmicas vermelhas incorporadas com resíduo de granito. *Cerâmica* 55, 1-10.
- [15] CBMERJ 2025. Nota Técnica NT 2-19. Segurança estrutural contra incêndio. Resistência ao fogo dos elementos de construção. 2ª ed. Rio de Janeiro: Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro.
- [16] Pinto L A, Souza T D, Silva D B, Peixoto L P, Rodrigues M I B 2021. Estudo da argila utilizada na produção de cerâmica vermelha no semiárido cearense. *Matéria* 26, 3, 1–11. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620210003.13019>
- [17] Vieira C M F, Monteiro S N, Santos P S 2016. Influência da composição da argila nas propriedades dos blocos cerâmicos. *Cerâmica* 57, 337, 100–105.
- [18] Rizzatti E, Roman H R, Mohamad G, Nakanishi E Y 2011. Avaliação da resistência à compressão de blocos cerâmicos. *Cerâmica Industrial* 23, 2, 110–115.

- [19] Zechmeister D 2005. Estudo para a padronização das dimensões de unidades de alvenaria estrutural no Brasil por meio do uso da coordenação modular. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [20] Russo S, Sciarretta F 2013. Masonry exposed to high temperatures: Mechanical behaviour and properties. An overview. *Fire Safety Journal* 55, 69–86. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.12.005>
- [21] Nalon G H, Ribeiro J C L, Pedroti L G, Silva R M, Araújo E N D, Santos R F, Lima G E S 2023. Review of recent progress on the effects of high temperatures on the mechanical behavior of masonry prisms. *Infrastructures* 8, 112. <https://doi.org/10.3390/infrastructures8070112>.
- [22] Nguyen T T, Meftah F 2012. Thermal behavior of fired clay bricks under high temperatures. *Journal of Building Engineering* 5, 120–125.
- [23] Menegon J, Graeff A G, Silva Filho L C P 2020. Structural masonry walls exposed to high temperatures with thermal expansion control. *ALCONPAT* 10, 1, 97–113. <https://doi.org/10.21041/ra.v10i1.440>
- [24] Daware A, Naser M Z 2021. Fire performance of masonry under various testing methods: A state-of-the-art review. *Fire Safety Journal* 122, 103293. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103293>