

Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos para obras sociais em Campos dos Goytacazes, RJ: Avaliação experimental da qualidade

Jonathan de Andrade Paula Madalena ¹, Marcela da Silva Luna Paravidino ², Niander Aguiar Cerqueira ^{3*}, Bruno Sanches da Silva ², Diego Filipe Rodrigues Ferreira Prata ⁴, Elisa de Miranda Póvoa ⁴, Jonas Alexandre ³

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais (PPGECM), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

³Laboratório de Engenharia Civil (LECIV), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

⁴Empresa de Engenharia CONCREART do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

*e-mail: niander@uenf.br

Resumo:

O método construtivo de alvenaria estrutural tem recebido merecido destaque nos últimos anos, por ser um sistema construtivo mais racionalizado e econômico. Fazendo uma análise bibliométrica com base no banco de dados da Scopus, com filtro para os anos entre 2013 e 2023, foram encontrados 10.386 resultados com a palavra-chave “alvenaria estrutural” a nível mundial, o que confirma a importância do tema. Em particular, quando foi utilizada a palavra-chave “bloco cerâmico estrutural”, o resultado apresentado aponta para 381 trabalhos científicos. No presente trabalho foram avaliados três tipos de blocos cerâmicos denominados B1; B2; e B3. Foram realizados ensaios de compressão simples em prensa hidráulica com capacidade de 200 toneladas de força, avaliação da taxa de absorção e das dimensões dos blocos, para avaliar a possibilidade de utilização em obra de habitação social de quatro pavimentos. Os resultados indicam resistência média à compressão de $6,12 \pm 0,48$ MPa (B1), $8,30 \pm 0,69$ MPa (B2) e $16,08 \pm 1,07$ MPa (B3); resistência característica à compressão de 5,0 MPa (B1), 6,88 MPa (B2) e 14,20 MPa (B3). A taxa de absorção de $13,71 \pm 0,54$ % (B1), $21,48 \pm 0,65$ % (B2) e $18,46 \pm 0,26$ % (B3). As análises laboratoriais indicam qualidade satisfatória para todos os blocos avaliados.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural; bloco cerâmico; resistência mecânica; taxa de absorção de água.

1. INTRODUÇÃO:

A construção civil existe desde os primórdios da civilização e sua importância é evidente no processo de evolução da sociedade. Ao longo dos anos, a construção civil foi agraciada com a introdução de novos métodos construtivos que possuem como objetivo o melhoramento da produção, como também a redução dos custos operacionais.

Existem diversos sistemas construtivos conhecidos, entre eles o concreto armado, sendo o mais utilizado atualmente no país, as estruturas metálicas e a alvenaria estrutural, que possui grandes vantagens. Cerqueira [1] [2] afirma que a busca por aumentar a racionalização na indústria de

construção civil contribui para o aparecimento de novidades produtivas no mercado, dentre elas os Blocos Prensados e Queimados (BPQ) e os Blocos Cerâmicos Extrudados, Prensados e Queimados (BCEPQ), que têm potencial para agregar significativa velocidade nas construções e a minimização de desperdícios e retrabalhos.

Nas estruturas convencionais em concreto armado as cargas da edificação são suportadas pelos elementos estruturais vigas e colunas. Enquanto na alvenaria estrutural esses esforços são transmitidos e suportados pela própria parede, por isso são chamadas de paredes portantes, garantindo o funcionamento autoportante do sistema. Com a ausência de pilares e vigas, pode-se reduzir ou eliminar materiais da obra como madeira e aço, sem comprometer a estrutura, além de haver redução de concreto, assim como redução do tempo [3] [4].

Entre as vantagens desse modelo, pode-se citar a limpeza do canteiro de obras, redução de armaduras e formas, otimização no tempo de execução e redução do número de profissionais no canteiro de obras. Porém, como desvantagem apresenta a restrição quanto à possibilidade de modificações, limitação de vãos livres e a não indicação de vão em balanço.

A composição de elementos da alvenaria estrutural são os blocos estruturais, que podem ser de concreto, cerâmico, solo-cimento, entre outros. Segundo a NBR 15270-1 [5], o tijolo cerâmico maciço fabricado por extrusão normalmente é conhecido como tijolo laminado, aparente ou à vista. A alvenaria estrutural de blocos cerâmicos é um sistema construtivo mais racionalizado e econômico que os sistemas construtivos tradicionais e tem tido sua utilização aumentada nos últimos anos no Brasil.

O sistema construtivo em alvenaria estrutural é uma excelente opção para a indústria da construção civil, que tem uma necessidade premente de produzir habitações num curto intervalo de tempo a preços baixos, atendendo aos requisitos de qualidade e durabilidade. Entretanto, o pleno aproveitamento da alvenaria estrutural depende do conhecimento real das características dos seus componentes e da correta aplicação deles. Isso inclui o estudo dos parâmetros essenciais para o dimensionamento de edifícios em alvenaria estrutural, fundamentado em princípios científicos [6].

A falta de compreensão das propriedades desse compósito pode levar a subestimação da capacidade de carga das paredes de alvenaria [7]. Portanto, é essencial compreender os materiais utilizados na fabricação de blocos cerâmicos e avaliar seu desempenho por meio de testes padronizados, alinhando-os com os custos energéticos e financeiros [8] [9] [10] [11].

Normas internacionais estabelecem que o bloco é o principal componente estrutural das paredes de alvenaria, desempenhando um papel crucial em sua resistência [12]. A conformidade dos blocos cerâmicos com essas normas é fundamental para uma variedade de aplicações na construção civil, especialmente em estruturas de alvenaria, onde as propriedades compressivas desempenham um papel crítico [5] [7] [13] [14].

A demanda por sistemas construtivos mais eficazes, capazes de atender às exigências de um mercado cada vez mais dinâmico, tem estimulado a adoção de tecnologias revolucionárias, novos materiais inovadores e métodos de execução avançados [15]. Nesta perspectiva se encontra o presente trabalho e o desenvolvimento de pesquisas anteriores [16] [17] [18].

O presente estudo busca contribuir para a avaliação das características de diferentes produtos cerâmicos, sendo avaliado um bloco convencional aplicado em construções no município de Campos dos Goytacazes, norte do Estado do Rio de Janeiro e novos tipos de blocos, produzidos a partir de estudos patenteados por pesquisadores da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), com o intuito de sua utilização eficaz na construção civil.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

2.1. Estudo Bibliométrico:

A primeira parte da presente pesquisa foi caracterizada como bibliográfica, para os objetivos foi descritiva e a abordagem foi quantitativa, além de ser caracterizada como um estudo bibliométrico. Um estudo bibliométrico é uma análise quantitativa e estatística da produção bibliográfica em uma determinada área de conhecimento. Esse tipo de pesquisa utiliza métodos estatísticos para avaliar a

quantidade e a qualidade da produção científica, identificar padrões, tendências e relações entre os documentos analisados.

Foram analisados artigos publicados no período entre 2013 a 2023 no banco de dados da Scopus, utilizando o software VOSViewer para tratamento de informações. Os dados coletados incluem autores que publicaram sobre o tema deste trabalho, bem como do período de publicação, os países que mais lideram as publicações considerando as palavras chaves “Structural Masonry” e “Ceramic Block Structural”. Os dados foram apresentados no formato de gráficos e mapas neurais.

2.2. Avaliação Experimental:

A pesquisa apresenta uma abordagem quantitativa, de natureza aplicada, com o objetivo de ser um trabalho exploratório e que se realiza por procedimentos experimentais e bibliográficos. Assim, para alcançar os objetivos idealizados, foram realizados ensaios laboratoriais aplicando os conceitos e recomendações das Normas Brasileiras. A NBR 15270-1, entre outras coisas, define os limites dos ensaios para as classes dos blocos, enquanto a NBR 15270-2 estabelece os critérios para a realização dos ensaios (RC, AA e Dimensional) [5] e [19]. No presente trabalho foi considerada com resistência mínima à compressão o valor de 4,5 MPa, definida como resistência mínima de projeto para a execução de residenciais multifamiliares com quatro pavimentos, para o Programa Minha Casa, Minha Vida.

Foram adquiridos blocos utilizados por uma construtora que atua na execução de obras sociais do programa Minha Casa Minha Vida, nas dimensões de $6,5 \times 14,5 \times 29 \text{ cm}^3$ (B1) conforme Fig.1(a). Também foram utilizados blocos do tipo BCEPQ, nas dimensões de $14 \times 19 \times 29 \text{ cm}^3$, produzidos pela Cerâmica Sardinha, do Polo Ceramista Campista, parceira da UENF no presente estudo. Foram utilizados Blocos de dois tipos, denominados pela fabricante de bloco vermelho (B2) e bloco branco (B3), conforme Fig.1(b) e Fig.1(c).

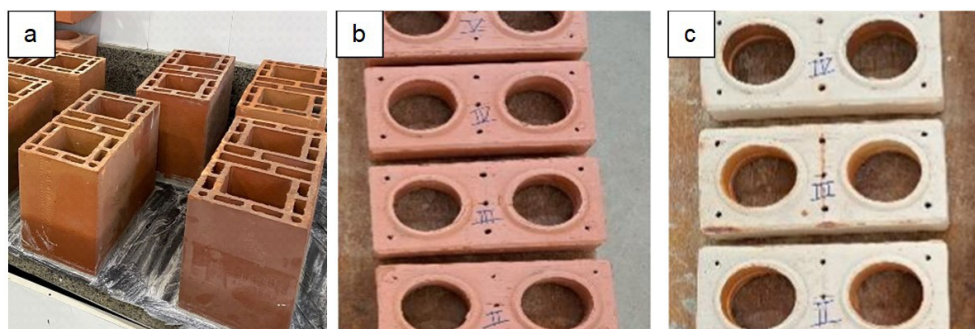


Figura 1. Blocos utilizados na pesquisa: (a) B1; (b) B2; (c) B3

Os blocos foram submetidos a uma avaliação de acordo com as diretrizes estabelecidas pela norma brasileira [5], que abrange aspectos relacionados à geometria, absorção de água e resistência à compressão. A verificação das características geométricas constitui um teste padrão utilizado para verificar a homogeneidade da geometria dos blocos produzidos, identificando possíveis irregularidades e, assim, verificando a qualidade do lote produzido, uma vez que as alterações na geometria dos blocos afetam diretamente outras propriedades [9].

Foram utilizados 13 blocos para a verificação dimensional, 6 blocos para a absorção de água e 13 blocos para a resistência à compressão, conforme padronizado por [5], para cada um dos três modelos de blocos avaliados no projeto.

Para realizar o teste de ruptura dos blocos cerâmicos, utilizou-se a prensa hidráulica Solotest, com capacidade de 200 toneladas-força (tf) e indicador eletrônico digital, além de uma bomba hidráulica manual a uma taxa de aplicação de carga média de 2,5 kN/s. As Fig.2(a) e Fig.2(b) mostram os blocos já capeados e preparados para o teste, enquanto as Fig.2(c) e Fig.2(d) demonstram a realização do ensaio para determinar as resistências dos blocos.

As medições dos blocos foram realizadas utilizando paquímetro com precisão de 0,05 mm e as dimensões foram comparadas com relação ao molde de $30 \times 15 \times 7 \text{ cm}^3$ (comprimento, largura e altura).

Para a avaliação da taxa de absorção de água, as amostras de blocos foram secas em estufa a uma temperatura de 110° C por um período de 24 horas, até estabilizar a massa, definindo-se a massa seca (m_s). Após resfriarem, os blocos foram imersos em água, à temperatura ambiente, por um período de 24 horas. Depois de retirado o excesso de água procedeu-se à pesagem dos blocos em balança de precisão e determinou-se sua massa úmida (m_u). O índice de absorção de água foi então determinado conforme padronizado por [19].

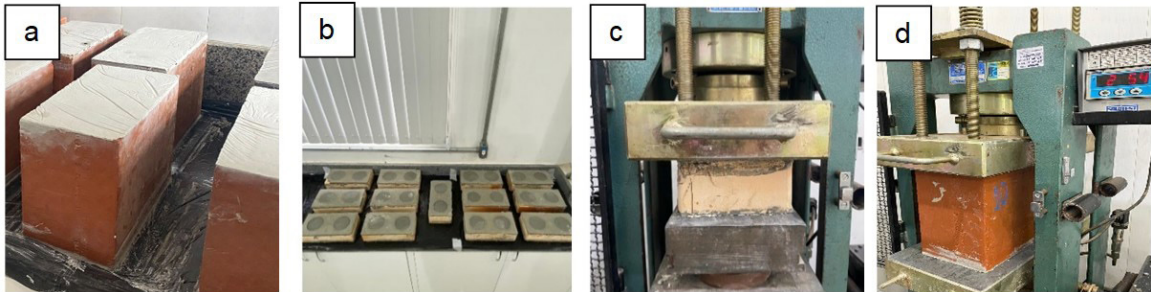


Figura 2. Procedimentos de ensaio de resistência à compressão

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Estudo Bibliométrico:

Com o intuito de facilitar o levantamento das produções científicas publicadas e gerar um mapeamento do que estava sendo produzido foi originado o estudo bibliométrico. Por ele é possível compilar as obras, facilitando a pesquisa dos trabalhos científicos, e assim fomentar diretrizes para trabalhos posteriores, possíveis áreas de interesses do que está sendo mais abordado. A revisão bibliométrica é um subconjunto da revisão sistemática que visa fornecer ideias iniciais sobre padrões de produção e acumulação de conhecimento. As revisões bibliométricas não examinam detalhadamente os estudos individuais, nem se concentram na conclusão dos resultados da pesquisa em si. Em vez disso, utilizam ferramentas de software quantitativas para analisar dados bibliográficos de um grande conjunto de documentos extraídos de um repositório [20].

O quantitativo total de artigos encontrados para as palavras-chave analisadas na presente pesquisa são apresentados na Tab.1.

Tabela 1. Compilado de levantamento bibliométrico utilizando o banco de dados Scopus

Palavras chaves	Resultados obtidos
Structural Masonry	10.386
Ceramic Block Structural	381

A pesquisa foi realizada a nível mundial, sendo observado que os países que despontam em publicações são Itália em primeiro lugar com 3.458, China em segundo com 988 e Estados Unidos em terceiro com 841 publicações. No gráfico da Fig.3 pode-se observar o total das 10.386 publicações divididas por ano, onde encontra-se um pico no ano de 2019 e um pequeno declínio no ano de 2023. É importante salientar que grande parte dos artigos estão nas áreas de engenharia e ciências dos materiais, abordando principalmente seu comportamento mediante a esforços e danos sísmicos.

Para um segundo refinamento, foi utilizada a palavra-chave "Ceramic Block Structural" e observou-se o total das 381 publicações divididas por ano, conforme apresentado no gráfico da Fig.4, sendo que o Brasil desponta em primeiro lugar com um total de 79 publicações, seguido da China e Estados Unidos, com 65 e 39, respectivamente. O pico de publicações ocorreu no ano de 2017 e um forte declínio no ano de 2023.

Os dados obtidos na base Scopus foram tratados no software VOSViewer com o intuito de construir mapas de visualização sobre a abordagem dos temas, sendo o enfoque nos autores e suas respectivas publicações. Na Fig.5, é apresentado um mapa neural indicando os pesquisadores que mais publicaram sobre tema alvenaria estrutural.

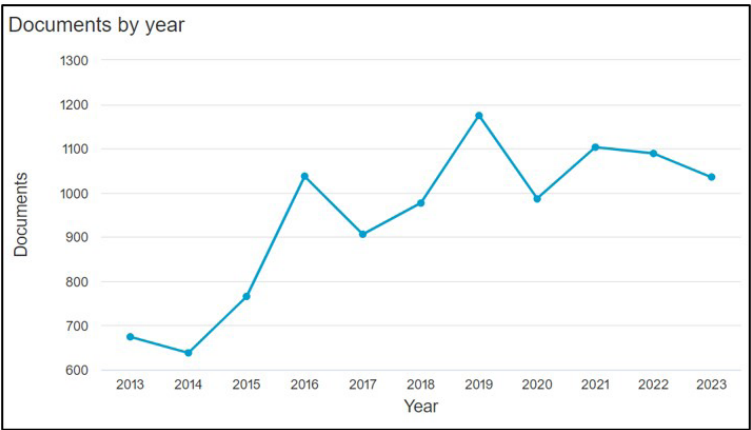


Figura 3. Relação de quantidade de publicações por ano para o termo Structural Masonry

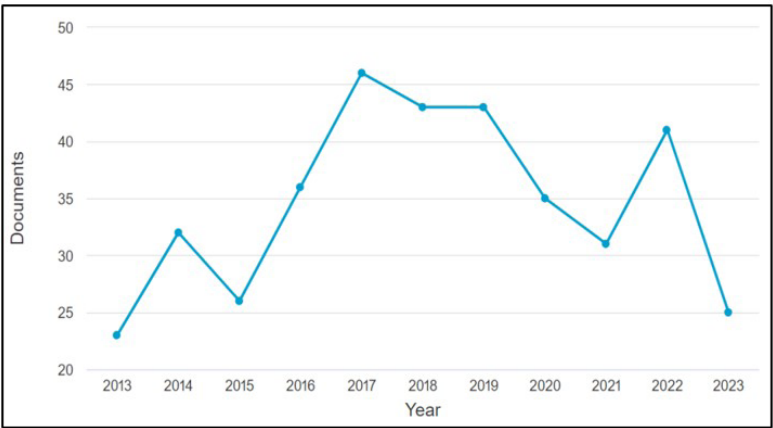


Figura 4. Relação de quantidade de publicações por ano para o termo Ceramic Block Structural

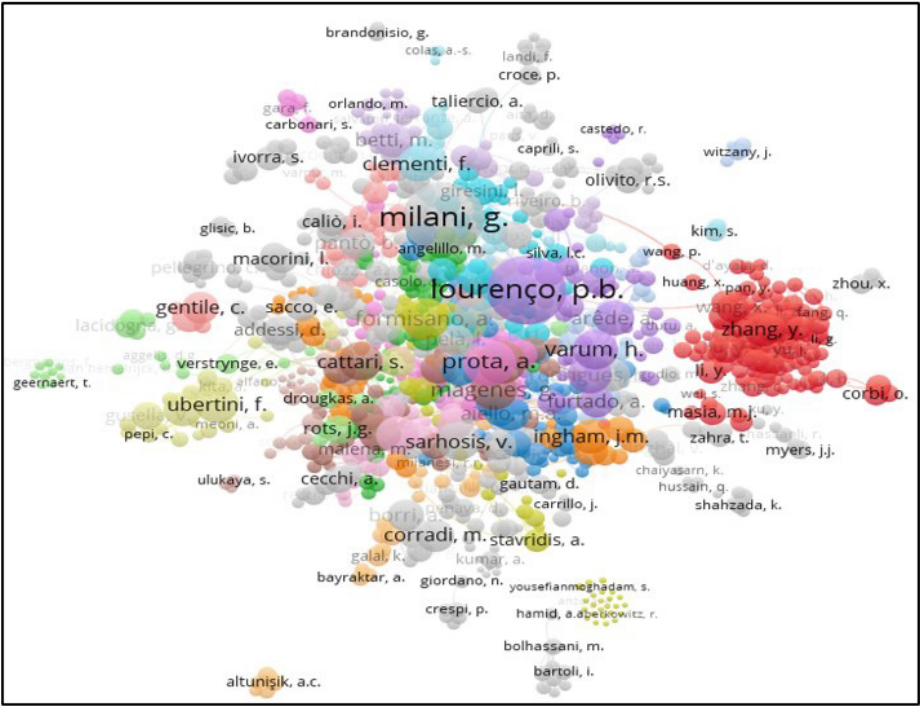


Figura 5. Mapa neural de autores para o termo Structural Masonry.

Os autores mais destacados são Chen Y e Wang Y, conforme o gráfico da Fig.6.

Ao analisar as medidas dos blocos, foram constatadas pequenas variações que não excederam 4 mm (milímetros), sendo considerados todos com padrão de qualidade aceitável.

Os resultados encontrados, conforme dados da Fig.8, indicam valores médios de resistência mecânica à compressão simples considerando a área bruta dos blocos de 6,12 ($\pm 0,48$) MPa para os blocos do tipo B1; 8,30 ($\pm 0,69$) MPa para os blocos do tipo B2 e 16,08 ($\pm 1,07$) MPa para os blocos do tipo B3.

$$f_{b(k), \text{est}} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + f_{b(3)} \dots + f_{b(i-1)}}{i-1} \right] - f_{b(i)} \quad (1)$$

Onde: $f_{bk,est}$ é a resistência característica estimada da amostras, expressa em MPa; $f_{b(1)}, \dots, f_{b(i)}$ são os valores de resistência à compressão individuais dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente; $i=n/2$ se n for par ou $i=(n-1)/2$ se n for ímpar; n é a quantidade de blocos da amostra.

As resistências características à compressão (f_{bk}) determinadas considerando a formulação das equações 1 para $n=13$, são iguais a 5,0 MPa (B1), 6,88 MPa (B2) e 14,20 MPa (B3). Tais valores de resistência característica excedem ao limite mínimo de 4,00 MPa estabelecido para blocos VED40 e EST40 e de 4,5 MPa definidos para o presente trabalho.

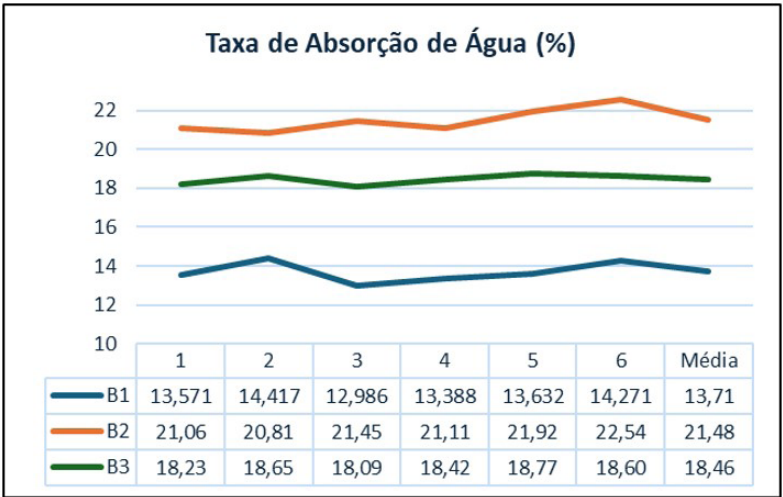


Figura 7. Taxa de absorção de água para os blocos cerâmicos

Os resultados do ensaio de resistência à compressão são apresentados no gráfico da Fig.8.

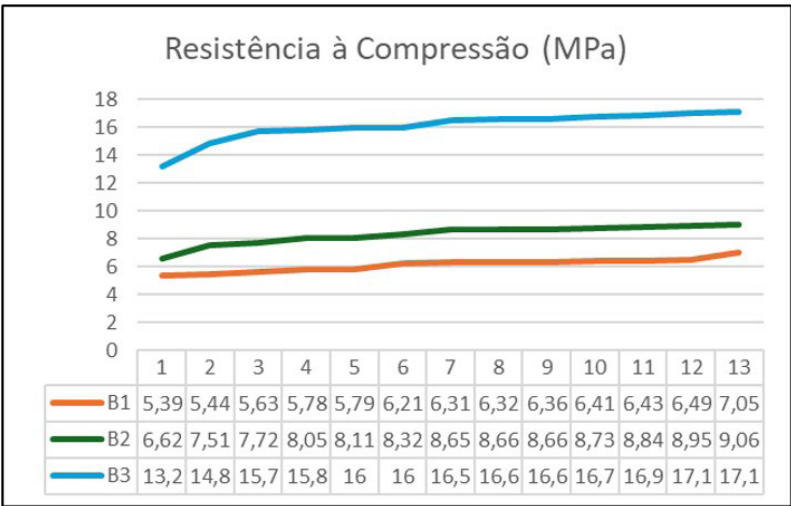


Figura 8. Resistência à compressão para os blocos cerâmicos

4. CONCLUSÃO:

O estudo bibliométrico indicou a importância do presente trabalho, pois ainda há muito o que se conhecer e aprimorar com relação aos blocos cerâmicos, em particular no que tange aos blocos prensados de cerâmica.

Com relação à análise experimental dos blocos considerados na presente pesquisa, verifica-se que as características geométricas são atendidas plenamente. A absorção média de água e a resistência à compressão estão em conformidade com os padrões estabelecidos para blocos de vedação. Quanto

aos blocos estruturais, a resistência à compressão atendeu às exigências normativas, porém, apenas os blocos extrudados tradicionais (B1) e os BCEPQ brancos (B3) atenderam também aos requisitos de absorção de água da classe estrutural EST40, enquanto os blocos vermelhos (B2) não atingiram esses parâmetros. Esses resultados demonstram a qualidade dos blocos cerâmicos produzidos, destacando sua adequação para diversas aplicações na construção civil, com exceção dos blocos vermelhos para uso estrutural.

Há significativa segurança dos blocos quanto à compressão e absorção de água dentro dos padrões normativos para blocos de vedação, e no caso dos blocos B1 e B3, também para blocos estruturais. Esses blocos atendem à solicitação do tipo de projeto em questão, que trata de uma obra de interesse social para o programa Minha Casa Minha Vida.

Sugere-se para trabalhos futuros uma investigação quanto ao desempenho dos blocos em condições de exposição a diferentes ambientes, como variações extremas de temperatura, umidade e ciclos de congelamento e descongelamento, para assim testar a durabilidade dos blocos.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem o apoio e aporte financeiro das empresas CONCREART e Cerâmica Sardinha, das Instituições de Ensino IFF e UENF e da Agência de Fomento CNPq.

REFERÊNCIAS:

- [1] Cerqueira NA, Souza VB, Alexandre J, Xavier GC, Fediuk R, Monteiro SN, Barreto MN, Azevedo AGR, 2022. Mechanical feasibility study of pressed and burned red ceramic blocks as structural and sealing masonry. *Materials* 15, 5004-5004.
- [2] Cerqueira NA, 2017. Parâmetros físicos e mecânicos de blocos prensados e queimados de cerâmica vermelha para uso como alvenaria estrutural. Campo de Goytacazes: Programa de Pós-Graduação em Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- [3] Silveira CR, Santos EMA, Ferreira WP, Locatelli APK, 2021. Análise comparativa entre o sistema construtivo concreto PVC e alvenaria convencional utilizadas em construções de habitações de interesse social. *Brazilian Applied Science Review* 5, 6, 2068-2083.
- [4] Cichinelli G, 2013. Sistema construtivo para casas e sobrados usa painéis de PVC preenchidos com concreto. *Revista Pini Techne* 10, 199. Pág. 67 a 73.
- [5] NBR 15270-1, 2023. Componentes cerâmicos. Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 26 pág. Disponível em: <<https://normadesempenho.com.br/wp-content/uploads/2024/05/NBR-15270-1-2023.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2024.
- [6] Miller C, 2008. Determinação de parâmetros mecânicos e modelagem numérica em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos da indústria de Campos dos Goytacazes. Campos dos Goytacazes: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- [7] Mohamad G, Lourenço PB, Roman HR, Barbosa CDS, Rizzatti E, 2012. Stress-strain behavior of concrete block masonry prisms under compression. Florianópolis, Brazil: 15th International Brick and Block Masonry Conference.
- [8] Silva B, 2022. Análise de resistência à compressão e da absorção de água em tijolos de solo-cimento substituídos parcialmente por cal hidratada. Campos dos Goytacazes: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- [9] Cerqueira NA, Marvila MT, Azevedo ARG, Alexandre J, Xavier GC, Souza VB, 2020. Analysis of deformability modulus by linear and nonlinear elastic methods in ceramic structural masonry and mortars. *Cerâmica* 66, 229-235.
- [10] Cerqueira NA, Silva BS, Alexandre J, Azevedo ARG, 2023. Estudo de parâmetros macroestruturais de blocos cerâmicos extrudados, prensados e queimados de cerâmica vermelha. São Paulo: 76° Congresso Anual da ABM, 1265-1278.
- [11] Azevedo ARG, Marvila TM, Júnior Fernandes W, Alexandre J, Xavier GC, Zanelato EB et al, 2019. Assessing the potential of sludge generated by the pulp and paper industry in assembling locking blocks. *Journal of Building Engineering* 23, 334-340.
- [12] Rizzatti E, Roman H, Mohamad G, Nakanishi E, 2011. Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria. *Revista Matéria* 16, 2, 730-746.
- [13] Cerqueira NA, Souza V, Alexandre J, Xavier GC, Fediuk R, Monteiro SN, 2022. Mechanical feasibility study of pressed and burned red ceramic blocks as structural and sealing masonry. *Materials* 15, 14, 5004.
- [14] Barbosa C, Lourenço P, Hanai, J, 2010. On the compressive strength prediction for concrete masonry prisms. *Materials and Structures* 43, 3, 331-344.
- [15] Cerqueira N, 2017. Parâmetros físicos e mecânicos de blocos prensados e queimados de cerâmica vermelha para uso como alvenaria estrutural Campos dos Goytacazes: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- [16] Cerqueira NA, Alexandre J, Xavier GC, Souza VB, Azevedo ARG, 2018. Comportamento físico e mecânico de blocos prensados e queimados de cerâmica vermelha. *Cerâmica Industrial* 22, 5-6, 41-49.

- [17] Alexandre J, Silva C, 2012. Caracterização da argila para confecção de blocos prensados e queimados. Curitiba: Anais do 56° Congresso Brasileiro de Cerâmica, 1° Congresso Latino-Americano de Cerâmica, IX Brazilian Symposium on Glass and Related Materials 841-851.
- [18] Pedroti LG, Alexandre J, Xavier GC, Monteiro SN, Vieira CMF, Bahiense AV et al, 2011. Desenvolvimento de massa cerâmica para blocos queimados e prensados. *Cerâmica Industrial* 16, 1, 25-30.
- [19] NBR 15270-2, 2023. Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <<https://normadedesempenho.com.br/wp-content/uploads/2024/05/NBR-15270-2-2023.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2024.
- [20] Hallinger P, Kovacevic J, 2023. Applying bibliometric review methods in education: rationale, definitions, analytical techniques, and illustrations. 4th ed 546-556.
- [21] Lourenço PB, 2008. Structural masonry analysis: Recent developments and prospects. University of Newcastle. <https://api.core.ac.uk/oai/oai:repositorium.sdum.uminho.pt:1822/17176>
- [22] Milani G, Lourenço PB, Tralli A, 2006. Homogenization approach for the limit analysis of out-of-plane loaded masonry walls. *Journal of Structural Engineering* 132, 1650-1663.