XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TERMOACÚSTICAS DAS ARGAMASSAS LEVES COM ADIÇÃO DE NANOCELULOSE BACTERIANA

Analysis of the Thermoacoustic Properties of Light Mortars with Addition of Bacterial Nanocellulose

THALIAN VALENTE SOARES[1], CARMEANE EFFTING[2], ADILSON SCHACKOW[3]
[1] Doutoranda em Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, thaliansoares14@gmail.com
[2] Professora Doutora, Universidade do Estado de Santa Catarina, carmeane.effting@udesc.br
[3] Doutor, Universidade do Estado de Santa Catarina, adilson.schackow@udesc.br

RESUMO
Este estudo investigou as propriedades térmicas e acústicas de uma argamassa contendo vermiculita e nanocelulose bacteriana, um biopolímero sustentável e econômico, produzido por bactérias. As concentrações de 0,05%, 0,15% e 0,25% de nanocelulose foram analisadas, com foco na consistência, resistência à tração na flexão, resistência à compressão e propriedades termoacústicas. A adição de nanocelulose aumentou a consistência da argamassa, porém reduziu as resistências mecânicas. Além disso, observou-se um aumento na densidade da massa aparente, o que resultou em maior condutividade térmica, enquanto as propriedades acústicas mostraram uma diminuição da perda de transmissão em altas frequências, indicando um desempenho moderado no isolamento acústico.

Palavras-chave: Celulose bacteriana. Argamassas leves. Vermiculita.

ABSTRACT
This study investigated the thermal and acoustic properties of a mortar containing vermiculite and bacterial nanocellulose, a sustainable and cost-effective biopolymer produced by bacteria. The concentrations of 0.05%, 0.15%, and 0.25% of nanocellulose were analyzed, focusing on consistency, flexural strength, compressive strength, and thermoacoustic properties. The addition of nanocellulose increased the mortar's consistency but reduced its mechanical strengths. Additionally, an increase in apparent density was observed, resulting in higher thermal conductivity, while the acoustic properties showed a reduction in transmission loss at higher frequencies, indicating moderate performance in acoustic insulation.

Key-words: Bacterial cellulose. Lightweight mortars. Vermiculite.

Como citar:
SOARES, T.V.; EFFTING, C.; SCHACKOW, A. Análise das propriedades termoacústicas das argamassas leves com adição de nanocelulose bacteriana. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável por cerca de 50% da extração de recursos naturais e da geração de resíduos [1,2], o que motiva a busca por materiais inovadores que melhorem as propriedades mecânicas e a sustentabilidade das construções [3-5]. O uso de materiais biológicos, como polímeros derivados da celulose, reduz a dependência de matérias-primas convencionais e minimiza as emissões de CO_2 [6,7].

A nanocelulose é um material derivado da celulose com características em escala nanométrica. Quando incorporada a compósitos cimentícios como material de reforço, ela pode melhorar a estrutura do material, atuando diretamente na microestrutura [8,9]. Além disso, a nanocelulose pode substituir produtos derivados do petróleo, sendo uma alternativa renovável e de baixo custo [10,11,12,13].

A nanocelulose deste estudo foi obtida pela Nanobiocell (Joinville/SC) [14], utilizando um processo inovador com microrganismos que elimina as impurezas e reduz custos, sem a necessidade de meios comerciais ou tratamentos químicos, tornando-se mais sustentável. Quando comparada à nanocelulose derivada de plantas, a produção de nanocelulose bacteriana consome 90% menos água e energia, gerando apenas resíduos biodegradáveis [15,16].

A vermiculita é um material poroso e de baixa densidade que, quando adicionada à argamassa, reduz a condutividade térmica e a transmissão acústica, promovendo maior conforto termoacústico e diminuindo o consumo de energia [17,18]. Segundo Köksal *et al.* [19], a inclusão de vermiculita nas argamassas traz benefícios tanto para o conforto térmico quanto para a segurança contra incêndios, melhorando o desempenho térmico e garantindo que as paredes externas atendam aos requisitos de transmitância e capacidade térmica.

Este estudo objetivou avaliar as propriedades mecânicas e o desempenho termoacústico de argamassas leves no estado resistido, incorporando nanocelulose à matriz cimentícia. A adição desse material buscou melhorar a resistência e a estruturação da argamassa, enquanto a vermiculita, utilizada como agregado, contribui para a redução da densidade, melhoria do isolamento termoacústico e o aumento da eficiência energética das construções.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Os materiais utilizados na composição das argamassas foram: cimento Portland (CP II Z-32) com adição de 6% a 14% de material pozolânico e 10% de fíler; cal hidratada do tipo CH-III; areia fina de rio (quartzo) como agregado miúdo e vermiculita expandida superfina como agregado leve, com condutividade térmica de 0,070 W/m.K a 23ºC. Os aditivos químicos foram o superplastificante MC-Powerflow 4001 e o incorporador de ar Centripor 420 da MC-Bauchemie. As características físicas dos componentes da argamassa são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características físicas dos materiais.

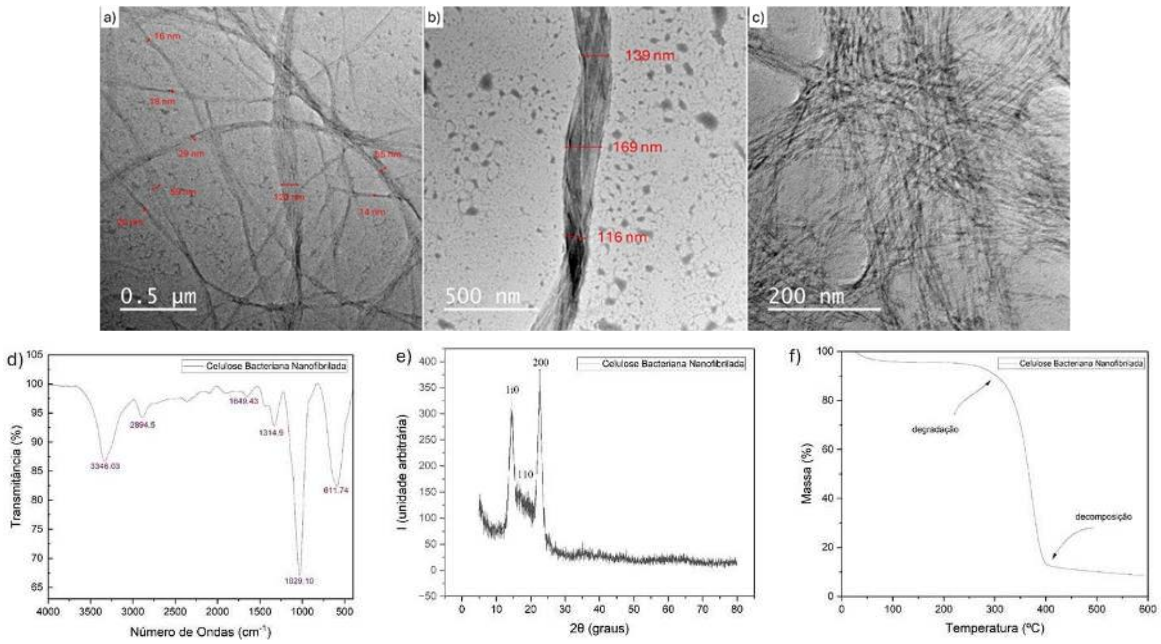
Propriedades	Materiais					
	CP	CH	AF	VE	ADITIVOS	
					SP	IA
Diâmetro Máximo (mm)	0,041	0,130	0,600	1,180	–	–
Densidade (g/cm^3)	2,920	2,400	2,460	0,072	1,120	1,000
Densidade aparente (g/cm^3)	1,080	0,750	1,500	0,207	–	–
Módulo de Finura	–	–	1,400	1,710	–	–

Legenda: CP – Cimento; CH – Cal Hidratada; AFN – Areia; VE – Vermiculita; ÁG – Água; SP – Superplastificante; IA – Incorporador de Ar.

Fonte: Os autores (2025).

A Figura 1 apresenta as características da nanocelulose utilizada no estudo. Os painéis "a", "b" e "c" mostram a micrografia eletrônica de transmissão, que revela a morfologia da nanocelulose, classificada como microfibrilada, com diâmetro nanométrico variando de 14 nm a 169 nm. O comprimento não pôde ser estimado devido ao emaranhado das microfibrilas, resultando em uma proporção de comprimento excessivamente longa para ser mensurada. As nanofibrilas apresentam uma alta razão L/D (comprimento/diâmetro), e quanto maior essa razão, mais interessante a fibra se torna em termos de suas propriedades de reforço [20]. A análise Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) apresenta deformações na composição química, a análise de Difração de Raios X (DRX) aponta que a celulose possui uma cristalinidade de 38,18%, e a análise de Termogravimetria (TGA) indica estabilidade térmica entre 100-250ºC.

Figura 1 – Características da celulose do estudo: Microscopia eletrônica de transmissão da celulose bacteriana (a) Microfibrilas dispersadas em escala 500 nm; (b) Microfibrilas unitária em 500 nm; (c) Emaranhado de partículas na escala 200 nm; (d) FTIR; (e) DRX; (f) TGA.



Fonte: Os autores (2024).

Para a produção das argamassas, foram preparadas quatro formulações: uma de referência (MREF) e as demais com adição de celulose bacteriana (MCB) em concentrações de 0,05%, 0,15% e 0,25% em relação à massa de cimento. Todas as formulações mantiveram a proporção mássica de 1:0,79:3:0,33 (cimento:cal:areia:vermiculita), com substituição de 55% do volume do agregado natural por vermiculita expandida superfina. A relação água/cimento foi de 1,28, pois o uso de aditivos permitiu reduzir o volume de água em 34%. A composição das argamassas que foram desenvolvidas neste estudo está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição das argamassas em volume (kg/m^3).

Mistura	Proporção dos Materiais								
	CP	CH	AF	VE	Água	SP	IA	NB	A/C
	Kg/m^3								
MREF	213,88	168,76	640,06	72,46	275,82	3,21	1,07	-	1,28
MCB05	213,88	168,76	640,06	72,46	275,82	3,21	1,07	0,107	1,28
MCB15	213,88	168,76	640,06	72,46	275,82	3,21	1,07	0,321	1,28
MCB25	213,88	168,76	640,06	72,46	275,82	3,21	1,07	0,535	1,28

Legenda: CP – Cimento; CH – Cal Hidratada; AF – Areia; VE – Vermiculita; SP – Superplastificante; IA – Incorporador de Ar; NB – Nanocelulose Bacteriana; A/C – Água/Cimento.

Fonte: Os autores (2025).

Para a caracterização das argamassas, foram realizadas análises das propriedades mecânicas, incluindo o índice de consistência no estado fresco, conforme a NBR 13276 [21]. No estado endurecido, os ensaios de resistência à tração e compressão , e a densidade da massa aparente foram realizados com três corpos de prova de 4 x 4 x 16 cm. A resistência à tração na flexão foi determinada de acordo com a NBR 13279 [22], e a resistência à compressão, conforme a NBR 13279 [22] e a ASTM C270 [23] e a densidade da massa aparente conforme a NBR 13280 [24]. As propriedades térmicas foram avaliadas por meio de ensaios de condutividade térmica, seguindo as normas ISO 8301 [25] e ASTM C518 [26]. Utilizou-se um condutivímetro Sensu modelo K10 N, baseado na Lei de Fourier, para determinar a relação entre a taxa de fluxo de calor e a condutividade térmica de um corpo sujeito a uma diferença de temperatura.

Para a análise acústica, foi medida a perda de transmissão utilizando o tubo de impedância Bruel & Kjaer Tipo 4206, conforme a norma E1050 [27]. Realizaram-se duas medições: uma com amostra de 100 mm de diâmetro, na faixa de 50 Hz a 1.600 Hz, e outra com amostra de 29 mm de diâmetro, na faixa de 1600 Hz a 6400 Hz. O tubo de impedância foi acoplado a um alto-falante que gerava ondas acústicas, e a amostra foi posicionada entre o tubo e uma terminação rígida, para minimizar a absorção e transmissão nas paredes [28].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

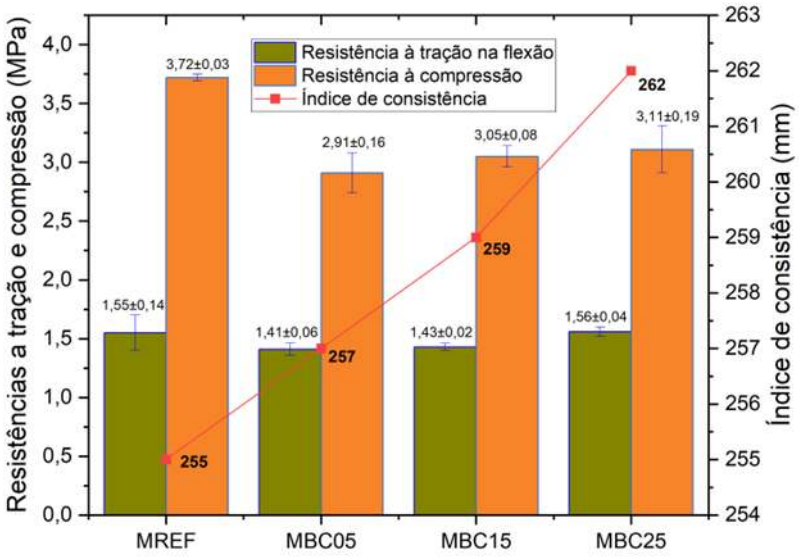
ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA E RESISTÊNCIAS MECÂNICAS

A Figura 2 mostra que todas as argamassas apresentaram o índice de consistência dentro dos limites da NBR 16541 [29], que recomenda espalhamento de 260 ± 5 mm. As resistências à

flexão e à extensão foram medidas aos 28 dias. As misturas MREF e MBC25 foram classificadas como R3 (acima de 1,5 MPa) para resistência à tração na flexão, enquanto MBC05 e MBC15 ficaram na classificação R2, segundo a NBR 13281-1 [30]. Na resistência à compressão, todas as misturas atenderam à norma C270 [23], que exige resistência mínima de 2,5 MPa para argamassas convencionais com cal.

A argamassa com 55% de vermiculita apresentou espalhamento de 255 mm [31]. As argamassas com nanocelulose bacteriana mostraram espalhamentos até 2,67% maiores que a MREF, devido à boa dispersão da nanocelulose e à compatibilidade com o superplastificante, que melhoraram a distribuição de partículas e a trabalhabilidade [32,13]. Entretanto, a adição de nanocelulose reduziu o desempenho mecânico, possivelmente devido à quantidade de nanocelulose e à presença de vermiculita, um material poroso que pode ter causado vazios na argamassa, resultando em uma estrutura interna mais frágil e pior desempenho mecânico [20].

Figura 2 – Índices de consistências e resistências de tração e compressão das argamassas aos 28 dias.

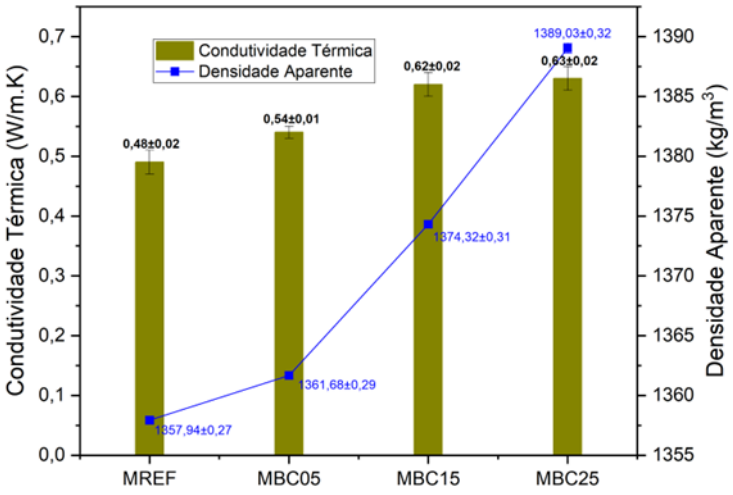


Fonte: Os autores (2024).

PROPRIEDADES TÉRMICAS E ACÚSTICAS

A Figura 3 apresenta os resultados de condutividade térmica e densidade da massa aparente das argamassas desenvolvidas. De acordo com a NBR 13281-1 [30], as argamassas deste estudo foram classificadas como DE1. As argamassas leves apresentaram densidade de massa aparente no estado endurecido entre 1200 e 1400 kg/m³ [33]. A inserção de celulose aumentou o peso dos corpos de prova e a condutividade térmica em até 23,8% em relação à mistura MREF, sugerindo que a nanocelulose bacteriana influenciou o refinamento dos microporos, promovendo a hidratação do cimento e densificando sua matriz. Becker *et al.* [34] observaram resultados semelhantes ao adicionar vermiculita à mistura, enquanto Sahlol [35] e Reis *et al.* [36] destacaram que, embora a nanocelulose tenha potencial para isolamento térmico, as microfibrilas possuem maior espaço intersticial que aumentam a condutividade, tornando o ambiente mais suscetível à temperatura externa [17].

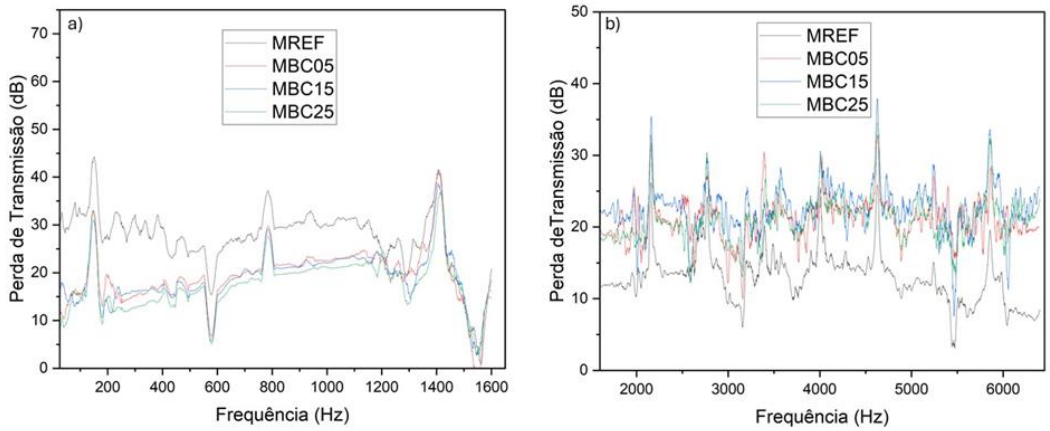
Figura 3 – Aumento da condutividade térmica e densidade da massa aparente das argamassas leves.



Fonte: Os autores (2024).

A Figura 4 apresenta a perda de transmissão sonora das argamassas desenvolvidas em baixa e alta frequência. Conforme os estudos de Cintra *et al.* [31], foram analisadas as frequências sonoras entre 315 Hz e 1000 Hz, pois são os intervalos que englobam os sons ambientais mais comuns. Segundo a Lei da Massa Acústica, quanto maior a perda de transmissão, maior a capacidade de isolamento acústico do material. Os resultados demonstraram que, nas frequências de 50-1400 Hz, a mistura MREF apresentou a maior perda de transmissão. Nas faixas de frequência 1400-1600 Hz, a MBC05 se destacou, enquanto entre 1600-6400 Hz, as perdas oscilaram, com exceção da MREF, que teve a menor perda de transmissão, indicando menor capacidade de isolamento acústico. Comparando os resultados de perda de transmissão obtidos pelo tubo de impedância com os dados de Becker *et al.* [34] e Reis *et al.* [36], a MBC05 apresentou desempenho médio em isolamento acústico, com a MREF se destacando em baixas frequências e a MBC15 em altas frequências. No entanto, considerando as variações nas espessuras das amostras e na homogeneidade das misturas, os resultados deste ensaio podem ter sido influenciados por essas características, além do teor de nanocelulose bacteriana.

Figura 4 – Perda de Transmissão; (a) Baixa Frequência; (b) Alta Frequência.



Fonte: Os autores (2024).

.

CONCLUSÕES

As argamassas com adição de nanocelulose bacteriana atenderam aos requisitos de consistência e resistência previstos em normas, mas apresentaram redução nas propriedades mecânicas, possivelmente devido à interação com a vermiculita. A adição de nanocelulose aumentou a condutividade térmica, embora tenha comprometido o isolamento térmico, sugerindo que o espaço intersticial das microfibrilas contribuiu para isso. Em termos de isolamento acústico, a mistura MREF teve bom desempenho nas baixas frequências, enquanto a MBC15 se destacou nas altas frequências. Recomenda-se, em trabalhos futuros, investigar diferentes proporções de vermiculita e nanocelulose, testar outros tipos de nanocelulose para otimizar as propriedades térmicas e acústicas, além de realizar estudos de durabilidade e analisar processos alternativos de mistura e cura para melhorar a homogeneidade e o desempenho das argamassas ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

[1] D.W. Besen; R.L.M. da Silva. **Tecnologias inovadoras e sustentabilidade na construção civil: um estudo de caso em Santa Catarina, SC**. Engenharia Civil – Pedra Branca, 2017.

[2] A.B. Moradikhou, A. Esparham, M. Jamshidi Avanaki, Physical & mechanical properties of fiber reinforced metakaolin-based geopolymer concrete, **Constr Build Mater 251** (2020) 118965. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118965.

[3] A.G. Araújo, A.M.P. Carneiro, R.P. Palha, Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis, **J Clean Prod** 256 (2020). https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120350.

[4] C.F. Pinto. **Em busca de uma arquitetura sustentável: o uso de fontes alternativas de energia**. 2009. 224f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

[5] M.S. Morsy, H.A. Aglan, Development and characterization of nanostructured-perlite-cementitious surface compounds, **J Mater Sci** 42 (2007). https://doi.org/10.1007/s10853-007-1981-3.

[6] L. Liang, X. Zhang, Q. Liu, X. Li, X. Shang, Cellulose nanofibrils for the performance improvement of ultra-high ductility cementitious composites, **Cellulose** 29 (2022) 1705–1725. https://doi.org/10.1007/S10570-022-04421-Z/TABLES/8.

[7] K. Dhali; M. Ghasemlou; F. Daver,; P. Cass; B. Adhikari. A review of nanocellulose as a new material towards environmental sustainability**. Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 775, p. 145871, jun. 2021.

[8] O.A. Hisseine, W. Wilson, L. Sorelli, B. Tolnai, A. Tagnit-Hamou, **Nanocellulose for improved concrete performance: A macro-to-micro investigation for disclosing the effects of cellulose filaments on strength of cement systems**, (2019). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.042.

[9] W.J. Long, J.L. Tao, C. Lin, Y. cun Gu, L. Mei, H.B. Duan, F. Xing, Rheology and buildability of sustainable cement-based composites containing micro-crystalline cellulose for 3D-printing**, J Clean Prod** 239 (2019). https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118054.

[10] R.J. Moon, G.T. Schueneman, J. Simonsen, Overview of Cellulose Nanomaterials, Their Capabilities and Applications, **JOM** 68 (2016) 2383–2394. https://doi.org/10.1007/s11837-016-2018-7.

[11] D. Klemm *et al*. Nanocelluloses: a new family of nature-based materials. Angewandte Chemie International Edition, v. 50, n. 24, p. 5438-5466, 2011

[12] S.M. Keshk, Bacterial Cellulose Production and its Industrial Applications, J Bioprocess Biotech 04 (2014). https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000150.

[13] M.A. Akhlaghi, R. Bagherpour, H. Kalhori, Application of bacterial nanocellulose fibers as reinforcement in cement composites, **Constr Build Mater** 241 (2020). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118061.

[14] Nanobiocell. Disponível em: https://nanobiocell.com.br/ Acessado em 20/03/2024.

[15] Lahiri, Dibyajit et al. Bacterial cellulose: Production, characterization, and application as antimicrobial agent. International journal of molecular sciences, v. 22, n. 23, p. 12984, 2021.

[16] Blanco Parte, Francisco German et al. Current progress on the production, modification, and applications of bacterial cellulose. Critical reviews in biotechnology, v. 40, n. 3, p. 397-414, 2020.

[17] SCHACKOW, Adilson *et al*. Análisis de la transmitancia térmica de las paredes y coberturas para construcciones utilizando hormigón ligero con vermiculita y EPS. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales.** Investigación**, desarrollo y práctica**, p. 65-80, 2019.

[18] SCHACKOW, Adilson; EFFTING, Carmeane; FOLGUERAS, Marilena V.; GÜTHS, Saulo; MENDES, Gabriela A.. Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 57, p. 190-197, abr. 2014.

[19] KOKSAL, Fuat; GENCEL, Osman; KAYA, Mehmet. Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures. Construction and Building Materials, v. 88, p. 175-187, 2015.

[20] SOARES, T. V., EFFTING, C., MIRANDA, K. W., e SCHACKOW, A. (2024). Application of bacterial nanofibrillated cellulose for performance improvement in vermiculite lightweight mortar. **Construction and Building Materials**, 449, 138474.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ___. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- **Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.

[22] 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.

[23] ASTM C270 - 19ae1 **Standard Specification for Mortar for Unit Masonry**, (n.d.). https://www.astm.org/Standards/C270.htm (accessed February 15, 2021).

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **___.** NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - **Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro, 2005.

[25] ISO, ISO 8301(R2014): Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties **– Heat flow meter apparatus**, International Organization for Standardization, 1991

[26] ASTM C518-21, Standard Test Method for Steady - **State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus** 1, (2021).

[27] ASTM E1050-19, **Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.

[28] GERGES, S. Noise: **Fundamentals and control**. Florianópolis, BR: NR Editora, 2000.

[29] ABNT NBR 16541: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios.** Rio de Janeiro, 2016.

[30] ABNT NBR 13281-1: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2023.

[31] CINTRA, C. L. D.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B. **Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus**- Propriedades relevantes. Cerâmica, v. 60, p. 69-76, 2014.

[32] CABRAL, Marllon Victor Soares. **Soluções aquosas de celulose microcristalina tratada superficialmente (TMCC) para desenvolvimento de compósitos cimentícios com melhor desempenho mecânico**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2020.

[33] H. Carasek, Mortars, in: **Construction Materials and Principles of Materials Science and Engineering**, 2nd ed., IBRACON, São Paulo, 2010.

[34] P.F.B. Becker, C. Effting, A. Schackow, Lightweight thermal insulating coating mortars with aerogel, EPS, and vermiculite for energy conservation in buildings, **Cem Concr Compos** 125 (2022). https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104283.

[35] D.G. Sahlol, E. Elbeltagi, M. Elzoughiby, M. Abd Elrahman, Sustainable building materials assessment and selection using system dynamics, **Journal of Building Engineering** 35 (2021) 101978. https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101978.

[36] R.R. dos Reis, C. Effting, A. Schackow, Cellulose nanofibrils on lightweight mortars for improvement of the performance of cement systems, **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications** 5 (2023) 100303. https://doi.org/10.1016/J.CARPTA.2023.100303.