



**RODOLFO HENRIQUE FREITAS GRILLO**

**PROPRIEDADES TÉRMICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA  
ARMADA DOSADA COM RESÍDUO CERÂMICO PARA  
APLICAÇÃO EM INSTALAÇÕES DE MATERNIDADE NA  
SUINOCULTURA**

**LAVRAS-MG  
2024**

**RODOLFO HENRIQUE FREITAS GRILLO**

**PROPRIEDADES TÉRMICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA ARMADA DOSADA  
COM RESÍDUO CERÂMICO PARA APLICAÇÃO EM INSTALAÇÕES DE  
MATERNIDADE NA SUINOCULTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola, área de  
concentração em Construções, Ambiente e  
Tratamento de Resíduos, para a obtenção do título de  
Doutor.

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos  
Orientador

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Grillo, Rodolfo Henrique Freitas.

Propriedades térmicas e mecânicas de argamassa armada  
dosada com resíduo cerâmico para aplicação em instalações de  
maternidade na suinocultura / Rodolfo Henrique Freitas Grillo. -  
2024.

161 p. : il.

Orientador(a): Alessandro Torres Campos.

Coorientador: Tadayuki Yanagi Junior

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Instalações para suínos. 2. Maternidade suína. 3.  
Escamoteador. I. Campos, Alessandro Torres. II. Título.

**RODOLFO HENRIQUE FREITAS GRILLO**

**PROPRIEDADES TÉRMICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA ARMADA DOSADA  
COM RESÍDUO CERÂMICO PARA APLICAÇÃO EM INSTALAÇÕES DE  
MATERNIDADE NA SUINOCULTURA**

**THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF REINFORCED MORTAR DOSED  
WITH CERAMIC WASTE FOR APPLICATION IN PIG FARROWING FACILITIES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola, área de  
concentração em Construções, Ambiente e  
Tratamento de Resíduos, para a obtenção do título de  
Doutor.

APROVADA em 07 de maio de 2024.

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior    UFLA  
Prof. Dr. Rodrigo Allan Pereira    UFLA  
Prof. Dr. Allan Alves Fernandes    UNIPAMPA  
Prof. Dr. Régis Marciano de Souza    IFSULDEMINAS

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos  
Orientador

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2024**

*Dedico este trabalho a Deus e a toda minha família que amo tanto.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar força, sabedoria e confiança nos momentos difíceis que passei ao longo dessa fase da minha vida. Um curso de quatro anos, cercado de inúmeras situações complicadas e atípicas decorrente da pandemia.

Agradecimento especial a toda a minha família, em especial a minha esposa Aline Cury Ward Grillo, que esteve sempre ao meu lado, ajudando-me a seguir em frente mesmo diante das dificuldades. Aos meus pais, Francisco de Assis Grillo e Neide Freitas Grillo, que também sempre estiveram presentes, aconselhando-me e deixando claro que as dificuldades devem sempre nos fortalecer. Aos meus irmãos e cunhados que sempre me incentivaram a seguir a carreira acadêmica.

Gostaria também de fazer um agradecimento especial ao Professor Dr. Alessandro Torres Campos, que me orientou ao longo dessa jornada. Sou imensamente grato pela amizade, confiança e também por permitir que eu pudesse alcançar mais uma importante fase da minha carreira acadêmica como professor, iniciada em julho 2012. Expresso aqui minha gratidão ao Professor Dr. Alessandro, pelos ensinamentos, paciência, companheirismo e também pela dedicação e empenho na etapa de correção do trabalho.

Gostaria também de agradecer ao Professor Dr. Allan Alves Fernandes pelas análises estatísticas, uma área um pouco complicada para mim. Sou eternamente grato por sua disponibilidade e contribuição na minha tese.

Agradecimento especial ao Professor Dr. Tadayuki Yanagi Junior, pelas importantes contribuições no exame de qualificação e também pela execução da parte experimental.

Ao Professor Dr. Rafael Farinassi Mendes, pelos experimentos realizados no Laboratório de Materiais na determinação da condutividade térmica das amostras.

Agradeço ao Professor Dr. Régis Marciano de Souza, pelas orientações importantes na área de estruturas de concreto armado.

Agradeço também aos colegas que trabalharam na secretaria da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pois foram períodos difíceis e de muito trabalho, especialmente no período da pandemia.

## RESUMO GERAL

Na maternidade para suínos, o escamoteador, no interior da cela de maternidade, é responsável por garantir as condições térmicas ideais para os leitões recém-nascidos, minimizando as elevadas taxas de mortalidade por hipotermia, mantendo um ambiente mais aquecido do que demandado pelas matrizes. A promoção e a manutenção da temperatura em seu interior dependem não só de uma fonte adicional de calor, mas também do material empregado para o seu fechamento que, para ser eficiente, deve apresentar a propriedade de baixa condutividade térmica. Torna-se interessante o emprego, para esse fim, de materiais oriundos de processo de fabricação industrial, classificados como resíduos ou subprodutos, fomentando práticas sustentáveis e reduzindo custos nos processos construtivos das instalações rurais. O objetivo do presente trabalho foi avaliar as propriedades térmicas e mecânicas de argamassa sustentável, dosada com resíduo cerâmico industrial, para ser utilizada no processo de fabricação modular de escamoteadores para instalações de maternidade na suinocultura. Para dosagem das argamassas, foi utilizado o traço em volume 1:4 (cimento, agregado), e a dosagem de água foi determinada a partir dos resultados do ensaio que mede o índice de consistência, variando da condição plástica para seca. Duas amostragens de argamassas foram utilizadas nos ensaios: uma obtida a partir da substituição de agregado natural por resíduo cerâmico, designada AN, nos teores 0%, 12%, 25%, 37% e 50%; e outra dosada com 100% de resíduo cerâmico, variando somente a dosagem de água, designada AC, para relação água/cimento 1,35, 1,20, 1,12, 1,05 e 0,90. Para os ensaios de resistência mecânica, foram preparados corpos de prova cilíndricos e também no formato de barras. Para o ensaio de condutividade térmica, foram preparadas amostras no formato de placas. Foram designadas de AN e AC as argamassas em que se empregaram o agregado natural e o agregado cerâmico, respectivamente. O melhor resultado do índice de consistência para argamassa mais plástica foi obtido para argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, AC-1,35, de 346 mm, que também apresentou índice de vazios de 23,68%, mais elevado que o observado para argamassa AN-0%, de 22,55%. A argamassa que apresentou o maior índice de vazios, de 30,86%, e a menor densidade de massa unitária da amostra seca, de 2.134 g cm<sup>-3</sup>, foi a argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, AC-0,90, que também foi a que apresentou plasticidade adequada para etapa de conformação das placas, de 197 mm. Analisando as propriedades térmicas das amostras, verificou-se que a argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, designada AC-0,90, apresentou o valor mais baixo de condutividade térmica,  $\lambda = 0,439 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , ou seja, uma condição isolante mais eficiente, resultado importante para as placas que serão fabricadas para construção do escamoteador. Apresentou também uma redução mais elevada da taxa de condutividade térmica, de 42%, comparada com a argamassa AN, de 25%. A influência do resíduo cerâmico na redução da condutividade térmica também foi observada nas dosagens das argamassas por substituição, designadas AN, ou seja, a elevação do teor de substituição de agregado natural por resíduo cerâmico reduziu também a condutividade térmica das amostras. Para os resultados de resistência mecânica, a argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, AC-0,90, de menor condutividade térmica, também apresentou resistência mecânica suficiente para resistir aos esforços em serviço, equivalente à aplicação de força máxima de 318,60 kg. A partir dos resultados analisados, foi possível constatar as reais possibilidades de se utilizar resíduo cerâmico originado do processo de fabricação de louças cerâmicas sanitárias na dosagem de argamassa para fabricação do escamoteador na suinocultura.

**Palavras-chave:** Instalações para suínos; maternidade suína; escamoteador; divisórias; resíduos cerâmicos; propriedades da argamassa; isolamento térmico.

## GENERAL ABSTRACT

In the pig maternity ward, the hider, inside the maternity cell, is responsible for ensuring ideal thermal conditions for newborn piglets, minimizing high mortality rates due to hypothermia, and maintaining a warmer environment than required by the sows. Promoting and maintaining the temperature inside depends not only on an additional source of heat, but also on the material used to close it, which, to be efficient, must have low thermal conductivity. It is interesting to use, for this purpose, materials from the industrial manufacturing process, classified as waste or by-products, promoting sustainable practices and reducing costs in the construction processes of rural facilities. The objective of the present work was to evaluate the thermal and mechanical properties of sustainable mortar, dosed with industrial ceramic waste, to be used in the modular manufacturing process of farrowing pen for maternity facilities in pig farming. For mortar dosage, a 1:4 volume mix (cement, aggregate) was used, and the water dosage was determined based on the results of the test that measures the consistency index, varying from plastic to dry condition. Two mortar samples were used in the tests: one obtained from the replacement of natural aggregate with ceramic waste, called AN, at levels 0%, 12%, 25%, 37% and 50%; and another dosed with 100% ceramic waste, varying only the water dosage, designated AC, for water/cement ratios of 1.35, 1.20, 1.12, 1.05 and 0.90. For mechanical resistance tests, cylindrical specimens and in the shape of bars were prepared. For the thermal conductivity test, sheet-shaped samples were prepared. The mortars in which natural aggregate and ceramic aggregate are used, respectively, were designated AN and AC. The best result for the consistency index for more plastic mortar was obtained for mortar dosed with 100% ceramic residue, AC-1.35, measuring 346 mm, which also presented a void index of 23.68%, higher than that observed for AN-0% mortar, 22.55%. The mortar that presented the highest void content, 30.86%, and the lowest unit mass density of the dry sample,  $2,134 \text{ g cm}^{-3}$ , was the mortar dosed with 100% ceramic residue, AC-0.90, which was also the one that presented adequate plasticity for the 197 mm sheet forming stage. Analyzing the thermal properties of the samples, it was found that the mortar dosed with 100% ceramic waste, designated AC-0.90, presented the lowest thermal conductivity value,  $\lambda = 0.439 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , that is, a more efficient insulating condition, an important result for the sheets that will be manufactured for the construction of the farrowing pen. It also presented a higher reduction in the thermal conductivity rate, of 42%, compared to AN mortar, of 25%. The influence of ceramic residue on the reduction of thermal conductivity was also observed in the dosages of mortar replacement, designated AN, that is, the increase in the replacement content of natural aggregate with ceramic residue also reduced the thermal conductivity of the samples. For the mechanical resistance results, the mortar dosed with 100% ceramic residue, AC-0.90, with lower thermal conductivity, also presented sufficient mechanical resistance to resist stress in service, equivalent to the application of a maximum force of 318.60 kg. From the results analyzed, it was possible to verify the real possibilities of using ceramic residue originating from the process of manufacturing ceramic sanitary ware in the dosage of mortar for manufacturing the farrowing houses in pig farming.

**Keywords:** Swine housing; swine farrowing facilities; piglet housing; partition walls; ceramic waste; properties mortar; thermal insulation.

## INDICADOR DE IMPACTO

A pesquisa realizada concentrou-se na produção de argamassa dosada com resíduo originado do processo de produção industrial de louças cerâmicas sanitárias para aplicação em instalações de maternidade na suinocultura. A adoção dessa prática sustentável nas construções agrícolas, a partir do escopo desta pesquisa, promove impactos reais nas esferas social, tecnológica e econômica da sociedade, contemplando 5 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU). O impacto social refere-se à utilização do resíduo cerâmico na produção de argamassas, promovendo a sustentabilidade no descarte de resíduos industriais, uma vez que oferece uma segunda via de descarte desses materiais que, de outra forma, poderiam ser despejados em aterros, reduzindo a pressão sobre o meio ambiente. Nesse sentido, atende ao 11º objetivo, item 11.6, que estabelece a redução do impacto ambiental negativo *per capita* das cidades, inclusive prestando especial atenção à gestão de resíduos municipais, e também ao 12º objetivo, item 12.5, que estabelece a redução da geração de resíduos por meio da prevenção, reciclagem e reuso. Além disso, ao melhorar o conforto térmico dos leitões em maternidades, a pesquisa fomenta o bem-estar animal, o que é um reflexo da crescente conscientização sobre a importância de práticas para a boa e satisfatória qualidade de vida na produção animal, atendendo, dessa forma, ao 2º objetivo, que estabelece a condição sustentável na produção de alimentos. Do ponto de vista tecnológico, os resultados obtidos demonstram a possibilidade de obtenção de materiais de construção alternativos, com propriedades específicas, de baixa condutividade térmica, a partir de resíduos cerâmicos. Essa característica é crucial para o controle de temperatura em ambientes que demandam uma eficiência térmica elevada, como os escamoteadores de maternidades suínas. Assim, a pesquisa não só propõe uma inovação tecnológica no uso de resíduos, mas também estabelece um novo patamar de eficiência em materiais de construção, com potencial de aplicação em outras áreas das construções rurais que demandem isolamento térmico. Com isso, tem-se o 8º objetivo atendido, item 8.4, que estabelece a dissociação do crescimento econômico com a degradação ambiental. E, finalmente, têm-se os impactos econômicos, verificados a partir da possibilidade de utilização de resíduos cerâmicos de louças sanitárias em substituição ao agregado natural, reduzindo a exploração dos recursos naturais não renováveis, resultando em métodos construtivos mais econômicos para instalações industriais rurais. Essa economia potencial pode ser amplamente benéfica para pequenos e médios produtores rurais, aumentando a competitividade e a viabilidade econômica na suinocultura, em conformidade com o objetivo 11º, item 11.1, que estabelece o direito à habitação de baixo custo para todos; com o 12º

objetivo, item 12.2, que estabelece a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais; e também conforme o 9º objetivo, item 9.1, que estabelece a condição sustentável das infraestruturas em âmbito regional, com preços acessíveis para todos. As possibilidades de projetos acadêmicos extensionistas, envolvendo a Universidade e a comunidade externa, também podem ser fomentadas a partir de projetos de pesquisa que contemplem a utilização dessa argamassa para ser utilizada nas mais diversas etapas dos processos construtivos das instalações rurais, especialmente para pequenos produtores regionais.

## IMPACT INDICATORS

The research carried out focused on the production of mortar dosed with residue originating from the industrial production process of ceramic sanitary ware, for application in maternity facilities in pig farming. The adoption of this sustainable practice in agricultural constructions, based on the scope of this research, promotes real impacts on the social, technological and economic spheres of society, covering 5 of the 17 objectives for Sustainable Development, proposed by the United Nations (UN). The social impact refers to the use of ceramic waste in the production of mortars, promoting sustainability in the disposal of industrial waste, as it offers a second way of disposing of these materials, which could otherwise be dumped in landfills, reducing the pressure on the environment. In this sense, in compliance with the 11th objective, item 11.6, which establishes the reduction of the negative environmental impact per capita of cities, including paying special attention to the management of municipal waste, and the 12th objective, item 12.5, which establishes the reduction in the generation of waste through prevention, recycling and reuse. Furthermore, by improving the thermal comfort of piglets in maternity wards, the research promotes animal well-being, which reflects the growing awareness of the importance of more humane practices in animal production. In this way, meeting the 2nd objective, which establishes a sustainable condition in food production. From a technological point of view, the results obtained demonstrate the possibility of obtaining alternative construction materials, with specific properties of low thermal conductivity from ceramic waste. This characteristic is crucial for temperature control in environments that require high thermal efficiency, such as pig farrowing rooms. Thus, the research not only proposes a technological innovation in the use of waste, but also establishes a new level of efficiency in construction materials, with potential for application in other areas of rural construction that require thermal insulation. With this, the 8th objective has been met, item 8.4, which establishes the dissociation of economic growth with environmental degradation. Finally, there are the economic impacts verified from the possibility of using sanitary ceramic waste to replace natural aggregate, reducing consumption of non-renewable natural resources, resulting in more economical construction methods for rural industrial installations. This potential savings can be widely beneficial for small and medium-sized rural producers, increasing competitiveness and economic viability in pig farming. In accordance with the objectives, 11th in item 11.1, which establishes the right to low-cost housing for all. The 12th objective, item 12.2, which establishes the sustainable management and efficient use of natural resources, and also the 9th objective, item 9.1, which establishes the sustainable condition of infrastructures at a regional level, with

affordable prices for everyone. The possibilities for academic extension projects, involving the University and the external community, can also be promoted through research projects that include the use of this mortar to be used in the most diverse stages of the construction processes of rural facilities, especially for small local producers.

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE.....</b>	<b>13</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Produção de suínos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Importância da manutenção térmica dos leitões em instalações de maternidade .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Mortalidade por hipotermia em instalações de maternidade na suinocultura .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Choque térmico em leitões em instalações de maternidade .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Instalações de maternidade na suinocultura .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2</b>	<b>Produção e geração de resíduos sólidos na indústria cerâmica .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Utilização de resíduos cerâmicos na produção de argamassa e concreto.....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Propriedades das argamassas e concretos dosados com resíduos cerâmicos..</b>	<b>35</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Propriedades térmicas de argamassa e concreto dosados com resíduos cerâmicos.....</b>	<b>37</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>
	<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS .....</b>	<b>53</b>
	<b>ARTIGO 1 - ARGAMASSA ARMADA DOSADA COM RESÍDUO CERÂMICO PARA APLICAÇÃO EM MATERNIDADE DE SUÍNOS – RESISTÊNCIA MECÂNICA E CONDUTIVIDADE TÉRMICA DAS PLACAS.....</b>	<b>53</b>
	<b>ARTIGO 2 - RESISTÊNCIA MECÂNICA E PLASTICIDADE DE ARGAMASSA DOSADA COM RESÍDUO CERÂMICO PARA CONFORMAÇÃO DE PLACAS ARMADAS PARA APLICAÇÃO EM MATERNIDADE DE SUÍNOS.....</b>	<b>114</b>

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

O ambiente de criação animal é formado por uma série de variáveis climáticas responsáveis por promover aos animais respostas físicas e biológicas, de ocorrência intrínseca e constantes, buscando sempre as condições ideais de conforto (Riber *et al.*, 2018).

O comportamento de resposta, originado a partir das interações entre animal e ambiente, dependente da raça, seguida da intensidade das condições ambientais e sua natureza física, química e biológica. Entretanto, verifica-se que animais de mesma raça, quando aclimatados em condições distintas, também podem apresentar comportamentos divergentes na busca pelo conforto (Averós *et al.*, 2020; Pol *et al.*, 2021).

Em muitos países, o bem-estar animal é utilizado não só como parâmetro na avaliação da qualidade de vida, mas também em termos de eficiência no ambiente de criação, evitando, por exemplo, problemas relacionados aos índices elevados de mortalidade, consumo excessivo de ração, entre outros (Hofmann *et al.*, 2020).

Nas atividades agroindustriais, em especial na suinocultura, a promoção do bem-estar dos animais mantém relação direta com a concepção e desenvolvimento dos projetos das instalações de criação (Andersen *et al.*, 2023).

Esses projetos devem ser orientados a partir das variáveis climáticas locais, das demandas climáticas específicas dos suínos e, também, da indicação de materiais com propriedades adequadas para as aplicações projetadas, para condições térmicas específicas nas celas de maternidade, ao longo de todas as etapas, desde o nascimento, até a desmama (Riber *et al.*, 2018; Barnabé *et al.*, 2020; Andersen *et al.*, 2023).

Na suinocultura, as instalações de maternidade são locais destinados às porcas prenhas e leitões recém-nascidos, utilizadas especificamente em períodos anteriores e posteriores ao parto, que apresentam características críticas, como a proximidade existente entre áreas ocupadas por porcas lactantes e leitões recém-nascidos, que apresentam especificidades térmicas distintas (Vasdal *et al.*, 2010; Schild *et al.*, 2020).

Torna-se um desafio para a engenharia a promoção e manutenção das condições térmicas ideais desses dois microclimas, ou seja, temperatura mais baixas para porcas lactantes e temperaturas mais elevadas para leitões recém-nascidos, em um espaço tão reduzido, com a mínima interferência um no outro (Brandt *et al.*, 2012; Farmer; Edwards, 2022).

As instalações de maternidade são formadas por espaços denominados de celas de maternidade, com uma área central delimitada e ocupada pela porca e eventualmente pelos leitões. Nas laterais e região frontal da área ocupada pela porca há também três áreas de acesso específico dos leitões. Usualmente, nas laterais não são dispostos aparatos para aquecimento, mas, no escamoteador, que fica localizado na parte frontal da cela, sempre há uma fonte adicional de calor (Zhang; Xin, 2001).

A manutenção desses dois microclimas e a proximidade dessas duas regiões na cela de maternidade estão usualmente condicionadas à oferta adicional de calor artificial aos leitões, utilizando lâmpadas incandescentes, resistências, tapetes térmicos, entre outros dispositivos de fornecimento de calor, impedindo uma série de problemas relacionados à mortalidade perinatal a partir da hipotermia (Zhang; Xin, 2001; Lane *et al.*, 2020; Jorquera-Chavez *et al.*, 2021). Em paralelo, há também a necessidade de ofertar um sistema de arrefecimento para a porca em lactação, ocorrendo preferencialmente nas regiões entre a cabeça e o dorso do animal. Entre as técnicas disponíveis para isso, citam-se: o gotejamento de água no animal, a oferta de ar frio na condição de névoa, a oferta de água gelada a 17,0 °C, entre outros, minimizando, dessa forma, a condição de estresse da porca (Wagenberg *et al.*, 2006; Jeon *et al.*, 2006; Phillips; Fraser; Pawluczuk, 2020; Zhang *et al.*, 2022).

Nesse sentido, a eficiência da oferta e manutenção térmica ideal envolvida nesses dois microclimas impõe condições restritas, não permitindo por exemplo que se tenha nenhum tipo de sobreposição térmica envolvendo a área central, com temperatura mais baixa ocupada pela porca, com a área do escamoteador, com temperatura mais elevada ocupada pelos leitões (Vasdal *et al.*, 2010; Leonard *et al.*, 2021; Farmer; Edwards, 2022).

A importância e a eficiência dos escamoteadores nas celas de maternidade mantêm relação direta com a redução da taxa de mortalidade dos leitões, que de forma intrínseca apresentam um sistema biológico ineficiente na geração de calor, dificultando sua manutenção homeotérmica, deixando-os vulneráveis quando expostos a choques térmicos elevados, especialmente nos períodos iniciais de vida (Baert *et al.*, 2022).

A mortalidade de leitões recém-nascidos, a partir da evolução do quadro de hipotermia, é substancialmente elevada, a taxa pode chegar até a 80% para períodos imediatamente após o parto até o quinto dia de vida (Sulzbach *et al.*, 2020; Farmer; Edwards, 2022).

Um outro benefício atribuído aos escamoteadores é a redução da mortalidade por esmagamento, ocorrendo principalmente quando os leitões buscam sua manutenção térmica utilizando a porca lactante como fonte de calor (Pedersen; Malmkvist; Jørgensen, 2007).

A principal função dos escamoteadores em instalações de maternidade de suínos está relacionada à oferta, manutenção e controle da temperatura ideal de conforto térmico dos leitões recém-nascidos, que apresentam demandas térmicas específicas logo nas quatro primeiras semanas de vida, podendo variar de 42,0 °C a 25,0 °C, segundo diversos autores (Carroll *et al.*, 2012; Santiago *et al.*, 2019; Sartor *et al.*, 2021; Zakari; Akefe; Uchendu, 2021).

Considerações importantes sobre a eficiência dos escamoteadores são verificadas a partir das possibilidades de sua implantação na cela de maternidade. O acesso deve ser facilitado por parte dos leitões. Deve-se utilizar de uma fonte de calor precisa, garantindo a temperatura ideal no seu interior para cada período específico de vida dos leitões (Lane *et al.*, 2020).

Suas dimensões em termos de área útil devem disponibilizar espaço suficiente para abrigar porcas com grandes ninhadas e buscar materiais e utilização de processos construtivos mais eficientes, respectivamente. Devem ser empregados materiais com baixa condutividade térmica, que reduzam a perda de calor para o exterior do escamoteador, e processos construtivos mais eficientes, do tipo pré-moldados, minimizando o custo na execução do projeto, em especial na produção de peças modulares na condição de placas (Vasdal *et al.*, 2010; Fels; Sange; Kemper, 2016; Baude *et al.*, 2022).

A implantação do escamoteador na cela de maternidade pode ocorrer na região frontal de geometria retangular, ocupando toda a extensão, ou na condição triangular, ocupando um dos cantos da cela. Outra possibilidade é a implantação do escamoteador na lateral da cela de maternidade, no formato retangular, localizado de frente para o úbere da porca (Hales *et al.*, 2014; Larsen; Thodberg; Pedersen, 2017; Leonard *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2022).

As fontes de calor utilizadas no interior dos escamoteadores mais comuns provêm da utilização de lâmpadas incandescentes, tapetes térmicos, entre outros (Zhang; Xin; 2001).

A área útil disponível no interior dos escamoteadores vem aumentando em razão das práticas atuais relacionadas às gestações envolvendo número elevado de leitões. Fels, Sange e Kemper (2016) dimensionaram a área útil do escamoteador na cela de maternidade, considerando leitões deitados na condição dispersa, ou amontoados em grupos, e definiram uma área mínima de 0,06 m<sup>2</sup> por leitão. Entretanto, outros autores consideram ser possível o emprego de áreas substancialmente menores à referência anterior (Nieuwamerongen *et al.*, 2018; Verdon; Morrison; Rault, 2019).

Outra característica importante a ser observada no projeto de escamoteadores refere-se à necessidade de facilidade de acesso à área interna para as etapas de manutenção e limpeza, viabilizando de forma prática não só a retirada de leitões mortos, mas também facilitando os

procedimentos constantes de desinfecção e higienização (Allepuz *et al.*, 2018; Alarcón *et al.*, 2019; Misra *et al.*, 2020).

Com a atual preocupação com as questões ambientais, é desejável que os materiais empregados na construção dos escamoteadores, além de apresentarem baixa condutividade térmica, tenham caráter sustentável, oriundos preferencialmente de materiais descartados nos processos de produção industrial, denominados muitas vezes de resíduos ou subprodutos (Vasdal *et al.*, 2010; Cecchin *et al.*, 2017; Sartor *et al.*, 2021; Conrad *et al.*, 2022).

A etapa de fabricação dos escamoteadores também deve se orientar a partir de processos construtivos mais eficientes, de menor custo. Pode-se utilizar, por exemplo, de técnicas de fabricação modular ou pré-moldadas, permitindo uma série de benefícios, como menor custo de produção, controle rigoroso na produção das peças, manutenção das propriedades do material nas peças produzidas, facilidade de reposição de partes do escamoteador, processo industrial de fabricação em série, entre outros (O'Hegarty; Kinnane, 2020; Martins *et al.*, 2023; Lago; Volpe; Papa, 2023).

A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, empresa fundada em 1936, de grande prestígio nacional e internacional, responsável por desenvolver estudos, aplicações e também regulamentar no Brasil todas as atividades industriais relacionadas à fabricação ou utilização do material cimento no desenvolvimento de novos produtos, em especial indústrias produtoras de estruturas pré-fabricadas na condição de placas modulares, publicou um importante informativo técnico sobre a utilização de placas armadas e conformadas com argamassa (ABCP, 2024).

O informativo técnico BT-126, publicado pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, trata da versatilidade na utilização de placas armadas pré-fabricadas conformadas com argamassa na execução das construções, especialmente para aplicações em construções rurais, na fabricação de galpões, silos, reservatórios, estábulos, bebedouros, tanques de banho dos animais, entre outros (ABCP, 1996).

Nas edificações agrícolas verifica-se que a utilização de materiais alternativos, recuperáveis, de baixo custo, originados no próprio meio rural ou a partir de processos industriais, contribui não só para a manutenção das condições térmicas das edificações, mas também é uma forma de atenuar a exploração elevada de recursos naturais, minimizando substancialmente a degradação do meio ambiente (Samer, 2013; Picuno, 2016).

Pesquisa recente também indica a importância de utilização de materiais alternativos nas edificações rurais industriais na produção de suínos. Utilizando metodologia BIM, *Building Information Modeling*, a avaliação do impacto ambiental nas etapas construtivas indica que os

materiais utilizados na execução das alvenarias representam os valores mais expressivos para quantificação do teor das emissões de carbono e consumo de água (Si *et al.*, 2023).

A maior contribuição na disponibilidade de materiais alternativos recuperáveis é gerada a partir das linhas de produção industrial. O volume disponibilizado desses materiais na cadeia produtiva cresce substancialmente nos grandes centros e é orientado a partir do aumento populacional urbano (Awoyera; Olalusi; Iweriebo, 2021; Pitarch *et al.*, 2021).

Frequentemente, muitas pesquisas buscam a reclassificação desses resíduos ou subprodutos com a finalidade de avaliar suas propriedades e sua real possibilidade de reclassificação em termos de matéria-prima de elevado interesse industrial, em especial no controle das condições ambientais na agroindústria (Anderson; Smith; Au, 2016).

O setor industrial relacionado com a produção de materiais de base cimentícia utiliza quantidades substanciais de materiais naturais denominados de agregados na composição das argamassas e concretos. Esses materiais naturais denominados de agregados são classificados como recursos não renováveis, e sua exploração ocorre de maneira insustentável, condicionada a uma atividade substancialmente crescente decorrente do crescimento populacional, especialmente nos setores habitacional e de infraestrutura (Mohammadhosseini *et al.*, 2019).

Órgãos internacionais, como a *International Energy Agency* - IEA, sediada em Paris, a fim de minimizarem os impactos ambientais crescentes na produção de materiais cimentícios, recomendam a utilização de materiais alternativos na condição de agregados para fabricação de argamassas e concretos (Ray *et al.*, 2021; IEA, 2022).

A atividade industrial relacionada à produção de materiais cerâmicos, em especial produção de revestimentos e louças sanitárias, é um setor de grande representatividade industrial. Destaca-se substancialmente não só na economia global, mas também por apresentar em seu processo de produção uma taxa elevada na geração de resíduos com possibilidades de serem utilizados como agregados em argamassa e concretos (Zanelli *et al.*, 2021).

O volume total produzido e as preocupações com as questões ambientais em torno dos resíduos gerados nas indústrias cerâmicas podem ser verificados por agências e órgãos governamentais nos âmbitos nacional e internacional, como: Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres - ANFACER; Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT; Ministério de Minas e Energia – MME; Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos - LPNRS, Lei nº 12.305/2010; e *International Organization for Standardization* - ISO, diretriz 17889-1:2021 *Ceramic tiling systems - Sustainability for ceramic tiles and installation materials* (MME, 2009; IPT, 2018; ANFACER, 2020; ISO 17889-1, 2021, LPNRS, 2023).

O interesse da comunidade científica internacional em estudar os resíduos gerados nas indústrias cerâmicas, em grande parte, mantém relação direta com a implementação das certificações ambientais, como a ISO 17889-1:2021 *Ceramic tiling systems - Sustainability for ceramic tiles and installation materials*, que são obrigatórias em muitos países e indispensáveis para o acesso à comercialização em âmbito mundial (Souza *et al.*, 2018; Silvestri *et al.*, 2020; ISO 17889-1, 2021).

No Brasil, as diretrizes do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – IBAMA, que enquadra e orienta as questões sustentáveis no setor industrial cerâmico, têm como referência a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos: obrigações e infrações – PNRS, Lei nº 12.305/2010, que responsabiliza as indústrias pela coleta e restituição dos resíduos sólidos em outros ciclos produtivos ou destinação final ambientalmente adequada.

Em paralelo às certificações internacionais, desenvolveram-se classificações para várias atividades industriais, que utilizam como referência para análise os processos industriais e suas características a partir dos tipos de emissões e poluições, servindo como indicador e, também, para atribuição de metas e critérios mais sustentáveis na linha de produção, em especial o setor industrial cerâmico (Souza *et al.*, 2018; Zanelli *et al.*, 2021).

Nesse cenário, a indústria cerâmica aparece com muitas responsabilidades, por estar classificada como atividade industrial que apresenta elevado consumo energético a partir do processo de queima utilizado na linha de produção, e também por contribuições significativas nas emissões de materiais no ar, solo e água, como gases do processo de queima, materiais particulados e também materiais líquidos e substâncias lixiviadas (Souza *et al.*, 2018; Zanelli *et al.*, 2021). Entretanto, muitos estudos já foram realizados com resíduos cerâmicos industriais, com publicações demonstrando importantes benefícios nas propriedades dos materiais de base cimentícia, quando utilizados na condição de agregados (Mohammadhosseini *et al.*, 2019).

Considerando a geração elevada de resíduos cerâmicos nos parques industriais de produção de peças referente a louças sanitárias, delineada por estudos e diretrizes de órgãos importantes em âmbito nacional e internacional, e de forma paralela as questões relacionadas à dificuldade dos leitões recém-nascidos na geração de calor e a elevada taxa de mortalidade por hipotermia na suinocultura, considera-se, neste trabalho, que o emprego de resíduos da indústria de louças cerâmicas sanitárias, para a construção de placas para uso na construção de escamoteadores para instalação de maternidade de suínos, pode constituir-se uma alternativa sustentável, de baixo custo, de boas características térmicas, em substituição aos materiais construídos em argamassa convencional, dosadas com agregados naturais explorados na natureza de forma insustentável.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades térmicas e mecânicas de argamassas dosadas com resíduo cerâmico de louças sanitárias, para serem empregadas na construção modular de escamoteadores para instalações de maternidade de suinocultura.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial teórico serão abordados temas sobre as condições térmicas em instalações de maternidade na suinocultura, como a dificuldade da oferta e manutenção das condições térmicas ideais no microclima existente em áreas muito próximas delimitadas nas celas de maternidade dos suínos, especificamente áreas ocupadas por porcas lactantes, com demanda por temperaturas mais baixas, e área abrigada e controlada por uma fonte adicional de calor, de acesso exclusivo dos leitões recém-nascidos, denominadas de escamoteadores.

Para leitões recém-nascidos serão abordados temas específicos, como a capacidade homeotérmica dos indivíduos em instalações de maternidade, o impacto do choque térmico e as elevadas taxas de mortalidade e a importância da fonte adicional de calor nos escamoteadores.

A partir da consolidação da importância dos escamoteadores em instalações de maternidade, serão vistas as possibilidades de utilização de materiais alternativos do tipo resíduo cerâmico, em especial originados a partir da fabricação de louça cerâmica sanitária, para serem utilizados como agregados miúdos no processo de dosagem de argamassa para fabricação dos escamoteadores.

Serão abordados também dados importantes em termos de volume gerado desses resíduos nas linhas de produção do setor industrial cerâmico, as reais possibilidades de dosagens desses materiais como agregados na fabricação de materiais de base cimentícia, a promoção das propriedades de condutividade térmica, especialmente para condição isolante, a plasticidade das argamassas e, também, as propriedades de resistência mecânica.

### 2.1 Produção de suínos

Nos dias atuais, o desenvolvimento tecnológico implementado em todas as instâncias da cadeia produtiva intensiva na produção de suínos é uma realidade presente nos principais sistemas de produção industrial, e sua consolidação fundamenta-se a partir das elevadas demandas do mercado consumidor global (Zheng *et al.*, 2021; Vilas-Boas; Klerkx; Lie, 2022; Kells, 2022; Farmer; Edwards, 2022; Hewitt; Kemp; Millet, 2022).

Nesse sentido, a eficiência do processo produtivo e o delineamento das orientações e decisões nas instalações industriais na suinocultura ocorrem a partir de três parâmetros importantes.

Inicialmente, tem-se um processo de produção que prioriza as condições de eficiência máxima na produção dos rebanhos, muitas vezes orientada por questões comerciais, como gestações hiperprolíficas, melhoramento genético, suplementação nutricional, entre outras (Heub *et al.*, 2019).

Em uma outra perspectiva, têm-se as orientações internacionais relacionadas ao conforto e bem-estar animal, que a partir de 1994 sugeriram uma ferramenta importante baseada nos domínios físicos, funcionais, estado mental e afetivo para a promoção dos conceitos de bem-estar na suinocultura (Morello *et al.*, 2019; Mós *et al.*, 2020; Albernaz-Gonçalves; Olmos; Hötzel, 2021; Čandek-Potokar *et al.*, 2022; Farmer; Edwards, 2022; Hewitt; Kemp; Millet, 2022).

E, finalmente, os questionamentos da sociedade civil em referência às práticas implementadas nos sistemas de produção industrial. Neste sentido, algumas bastante difundidas e já consolidadas (Vilas-Boas; Klerkx; Lie, 2022).

Um sistema de produção de suínos de caráter dinâmico, tecnológico e humanizado gera uma série de benefícios, eleva a eficiência, implementa possibilidades tecnológicas, minimiza os custos, entre outros. Entretanto, de forma paralela, traz também uma série de problemas e desafios a serem superados, em especial a elevada densidade de leitões recém-nascidos por matriz e os efeitos das condições térmicas inadequadas em instalações de maternidade na suinocultura (Farmer; Edwards, 2022).

As gestações hiperprolíficas são responsáveis por implementar taxas elevadas de mortalidade de leitões recém-nascidos, em grande parte decorrentes da evolução do quadro de hipotermia, especialmente para indivíduos com déficit nutricional a partir da baixa habilidade materna da porca (Nuntapaitoon *et al.*, 2019; Hole *et al.*, 2019; Taechamaeteeikul *et al.*, 2022; Kells, 2022; Hewitt; Kemp; Millet, 2022).

### **2.1.1 Importância da manutenção térmica dos leitões em instalações de maternidade**

O sistema termorregulatório dos suínos ocorre por meio de mecanismos homeotérmicos responsáveis pela manutenção da temperatura corporal dos animais na zona de termoneutralidade. Entretanto, para leitões em instalações de maternidade, essa atividade fisiológica caracteriza-se por apresentar baixa eficiência em razão de fatores relacionados com a própria natureza dos indivíduos, e também fatores secundários relacionados ao manejo no sistema de criação, como a ineficiência da fonte adicional de calor no escamoteador (Carroll *et al.*, 2012; Leonard *et al.*, 2021).

As condições inadequadas do ambiente térmico para esses indivíduos são responsáveis por acarretar elevadas taxas de mortalidade, ocorrência de animais malformados, animais com baixa imunidade a doenças, mal preparados para o desmame e para irem para a fase seguinte, entre outros (Barros; Rossi; Souza, 2018; Hewitt; Kemp; Millet, 2022).

As temperaturas mínimas no ambiente de criação indicadas por alguns autores para prevenção do quadro de hipotermia em instalações de maternidade na suinocultura são indicadas na Tabela 1 (Herpin; Damon; Dividich, 2002; Carroll *et al.*, 2012; Sulzbach *et al.*, 2020; Conrad *et al.*, 2022).

Tabela 1 - Temperatura mínima para leitões recém-nascidos.

Referência	Temperatura
Herpin, Damon e Dividich (2002)	34,0 °C
Zheng <i>et al.</i> (2021)	34,0 °C
Andersen <i>et al.</i> (2009)	34,0 °C
Carroll <i>et al.</i> (2012)	34,6 °C

Fonte: Adaptado de Andersen *et al.* (2009, p. 593), Carroll *et al.* (2012, p. 147), Herpin, Damon e Dividich (2002, p. 39) e Zheng *et al.* (2021, p. 342).

A interação térmica e a perda de calor envolvendo os leitões e o ambiente ocorrem de forma dinâmica, exigindo um sistema adicional de calor bastante eficiente, em especial quando se têm variações bruscas de temperatura em um intervalo curto de tempo (Carroll *et al.*, 2012; Gondret *et al.*, 2020; Farmer, 2020; Leonard *et al.*, 2021).

A ineficiência do mecanismo termorregulatório dos leitões recém-nascidos depende de alguns fatores associados às condições biológicas e fisiológicas dos indivíduos, e também às técnicas de manejo adequadas na oferta adicional de calor, servindo como aporte do sistema termorregulatório na manutenção do equilíbrio térmico dos indivíduos (Herpin; Damon; Dividich, 2002).

Como fatores de risco que influenciam as condições de saúde dos leitões recém-nascidos, verificam-se no período imediatamente após o parto o balanço energético negativo e a baixa capacidade fisiológica da produção de glicose. Por isso são dependentes da ingestão de colostro como fonte importante de energia (Hole *et al.*, 2019; Nuntapaitoon *et al.*, 2019).

Os leitões apresentam baixa quantidade de tecido adiposo marrom, responsável pelo armazenamento de energia na forma de gordura e produção de calor por meio da ativação de proteínas presentes em elevadas quantidades (Herpin; Damon; Dividich, 2002).

O porte dos leitões recém-nascidos e suas medidas também são outros indicadores importantes. No período anterior ao parto, as condições nutricionais dos leitões no útero vão depender das habilidades gestacionais da porca (Peltoniemi *et al.*, 2021).

As gestações hiperprolíficas, prática bastante difundida na suinocultura industrial, impõem condições nutricionais muito distintas entre os indivíduos, muitos nascem desnutridos, impactando de forma direta sua vitalidade, indicando a dependência da ingestão do colostro para sua reabilitação em instalações de maternidade (Heub *et al.*, 2019; Schmitt *et al.*, 2021).

Em relação às raças dos suínos, também são verificadas diferentes condições para a manutenção da homeotermia. A presença de alguns fatores genéticos importantes auxilia no desenvolvimento do sistema termorregulatório dos suínos, como se observa em resultados obtidos para raças chinesas (*Meishan*) e europeia (*Pietrain* × *Landrace*, *Large White*) (Schmitt *et al.*, 2021).

A baixa idade também impõe a limitação da maturidade metabólica na promoção da termorregulação e, nesse período, a pelagem é do tipo esparsa e de baixa eficiência na manutenção térmica, entre outros. Nesse sentido, a geração de calor e o conforto térmico dos leitões recém-nascidos são dependentes do sistema fisiológico da termogênese, que ocorre a partir de tremores realizados pelos músculos esqueléticos, com finalidade de elevar a temperatura corporal (Herpin; Damon; Dividich, 2002; Gondret *et al.*, 2020; Farmer, 2020).

Algumas técnicas de manejo também auxiliam na eficiência e promoção do sistema termorregulatório dos leitões, como a implementação do processo de secagem dos indivíduos imediatamente após o parto. Os leitões, assim que nascem, podem apresentar uma quantidade elevada de líquido da placenta adsorvido por uma extensa área superficial do seu corpo. Esse acúmulo de líquido permite que ocorra uma taxa elevada de transferência de calor do leitão para o ambiente (Andersen; Haukvik; Bøe, 2009; Peltoniemi *et al.*, 2021).

### **2.1.2 Mortalidade por hipotermia em instalações de maternidade na suinocultura**

A mortalidade perinatal causa um elevado impacto nos sistemas de produção na suinocultura, com taxas de mortalidade substancialmente elevadas, variando entre 11% e 32%, ocorrendo preferencialmente a partir dos processos de interação dos leitões com as condições térmicas do ambiente, da própria capacidade fisiológica dos leitões e, também, dos atributos maternos da matriz (Vasdal; Wheeler; Bøe, 2009; Andersen; Haukvik; Bøe, 2009; Morello *et al.*, 2019; Farmer; Edwards, 2022).

As mortes relacionadas ao quadro de hipotermia representam cerca de 80% das perdas dos leitões na maternidade, ocorrendo majoritariamente entre o primeiro e o quinto dia de vida, em decorrência da baixa habilidade adaptativa dos leitões no ambiente extrauterino (Carroll *et al.*, 2012; Sulzbach *et al.*, 2020; Schmitt *et al.*, 2021; Farmer; Edwards, 2022; Conrad *et al.*, 2022).

### **2.1.3 Choque térmico em leitões em instalações de maternidade**

Ao longo de todo período gestacional, em especial no momento que antecede o parto, os leitões acondicionados e protegidos termicamente no útero da porca mantêm suas temperaturas estáveis e dependentes não só das condições de conforto térmico da porca, mas também de suas habilidades maternas (Santiago *et al.*, 2019; Sartor *et al.*, 2021).

Imediatamente após o parto, os leitões são expostos a um choque térmico elevado, pois a temperatura no interior da instalação é sempre mais baixa que a temperatura dos leitões no interior do útero, ocorrendo uma transferência substancial de calor dos leitões para o meio ambiente (Gondret *et al.*, 2020; Farmer, 2020).

Logo após o parto, alguns leitões podem ainda estar superficialmente recobertos por uma quantidade elevada de fluidos da placenta, potencializando a perda de calor, comprometendo ainda mais a condição térmica (Andersen; Haukvik; Bøe, 2009; Santiago *et al.*, 2019; Schmitt *et al.*, 2021).

O elevado impacto térmico nesse momento, com essas características, demanda uma fonte adicional de calor eficiente a ser ofertada em instalações de maternidade. Somente a resposta fisiológica térmica por parte dos indivíduos não atende suas necessidades (Schild *et al.*, 2019; Santiago *et al.*, 2019; Sartor *et al.*, 2021).

A partir da primeira semana, o sistema metabólico vai se desenvolvendo, e a dependência da oferta adicional de calor por parte dos leitões começa a diminuir (Schild *et al.*, 2019; Sartor *et al.*, 2021; Zakari; Akefe; Uchendu, 2021; Zheng *et al.*, 2021).

A dinâmica das trocas térmicas envolvendo recém-nascidos e o ambiente ocorre de forma individualizada, e as taxas referentes à perda e ganho de calor são específicas para cada período de tempo (Herpin; Damon; Dividich, 2002). A Tabela 2 apresenta temperaturas específicas de conforto térmico dos leitões em instalações de maternidade.

Tabela 2 - Temperaturas recomendadas para os leitões, desde o período fetal até a quarta semana, segundo diversos autores.

Conforto térmico dos leitões nos períodos anterior e posterior ao parto						
Referências	Feto ainda no útero	Imediatamente após o parto	48 horas após o parto	2ª semana após o parto	3ª e 4ª semanas	Leitões desmamados
Sartor <i>et al.</i> (2021)	x	36,0 °C a 42,0 °C	x	32,0 °C a 34,0 °C	x	x
Carroll <i>et al.</i> (2012)	x	30,0 °C a 34,0 °C	x	x	25,0 °C a 30,0 °C	x
Sulzbach <i>et al.</i> (2020)	x	32,0 °C a 34,0 °C	x	x	x	24,0 °C a 29,0 °C
Zakari, Akefe e Uchendu (2021)	x	x	38,5 °C a 39,0 °C	x	x	x
Gondret <i>et al.</i> (2020)	x	x	30,0 °C a 34,0 °C	x	x	x
Zheng <i>et al.</i> (2021)	x	x	x	25,0 °C a 30,0 °C	x	x
Santiago <i>et al.</i> (2019)	38,0 °C a 40,0 °C	34,0 °C a 35,0 °C	x	x	x	x
Schild <i>et al.</i> (2019)	x	34,0 °C a 35,0 °C	x	x	x	x
Damasceno <i>et al.</i> (2019)	x	32,0°C a 34,0°C	x	x	x	x
Leonard <i>et al.</i> (2021)	x	32,0 °C a 35,0 °C	x	x	x	x
Schmitt <i>et al.</i> (2021)	x	34,9 °C a 36,6 °C	x	x	x	x

Fonte: Adaptado de Carroll *et al.* (2012, p. 147), Damasceno *et al.* (2019, p. 50), Gondret *et al.* (2020, p. 53), Leonard *et al.* (2021, p. 2), Santiago *et al.* (2019, p. 26), Schild *et al.* (2019, p. 827), Sulzbach *et al.* (2020, p. 1473), Sartor *et al.* (2021, p.105), Schmitt *et al.* (2021, p. 4), Zakari, Akefe e Uchendu (2021, p.1) e Zheng *et al.* (2021, p. 342).

Estudos envolvendo as condições sazonais de temperatura do ambiente em recém-nascidos de porcos selvagens do tipo *Sus Scrofo*, expostos às condições naturais extremas de temperatura, também apresentam dificuldades termorregulatórias, com resultados elevados nas taxas de mortalidade em instalações de maternidade, ocorrendo de forma predominante nas estações mais frias (Chinn *et al.*, 2021).

O aumento da densidade de indivíduos no período gestacional das matriz também impacta de forma severa e direta a manutenção térmica dos recém-nascidos. Um número elevado acaba nascendo em condições de elevada fragilidade e, com isso, é imperativa a oferta adicional das condições térmicas adequadas para a manutenção da temperatura, especialmente para leitões com baixo peso, com dificuldade em movimentar-se e alcançar a condição

amontoada e, também, com baixa capacidade na geração de calor por tremores do músculo esquelético, princípio dependente da quantidade de miofibrilas presente em sua composição (Herpin; Damon; Dividich, 2002; Heub *et al.*, 2019; Santiago *et al.*, 2019; Gondret *et al.*, 2020; Farmer, 2020; Peltoniemi *et al.*, 2021; Conrad *et al.*, 2022).

O amontoamento entre os recém-nascidos é um comportamento natural dos indivíduos utilizado como instrumento na sua manutenção térmica, e a eficiência está relacionada à diminuição da exposição da área superficial do leitão recém-nascido com o ambiente, minimizando a perda de temperatura por radiação e promovendo a manutenção da temperatura por condução (Robbins *et al.*, 2021).

A condição hiperprolífica na gestação das matrizes é uma técnica já consolidada na produção de suínos, um dos principais fatores responsáveis na promoção do quadro de hipotermia e mortes em instalações de maternidade na suinocultura. Essa realidade deixa evidente a necessidade de se ter um ambiente adequado para abrigar a leitegada na área da cela de maternidade com o necessário conforto térmico, em especial para temperatura e espaço suficiente para todos os leitões da ninhada (Farmer; Edwards, 2022).

Esse ambiente pode ser obtido da maneira mais satisfatória com instalações denominadas de *creep*, ou escamoteador, e sua implantação na cela de maternidade deve levar em consideração não só a facilidade de acesso, mas também o interesse da leitegada em permanecer o maior tempo possível nesse ambiente (Heub *et al.*, 2019; Morello *et al.*, 2019; Sartor *et al.*, 2021; Machado *et al.*, 2022; Liu *et al.*, 2022).

#### **2.1.4 Instalações de maternidade na suinocultura**

O projeto das instalações para criação dos suínos em sistemas confinados envolve a concepção, o planejamento e o dimensionamento de setores específicos no ambiente de produção, utilizando como referência etapas específicas de vida dos indivíduos (Hales *et al.*, 2014).

As instalações de maternidade são ambientes projetados para abrigar porcas prenhas e leitões recém-nascidos, nos períodos que antecede o parto estendendo-se até a data do desmame dos leitões. São divididas em espaços denominados de celas de maternidade, que são ocupadas exclusivamente por uma única porca e sua ninhada (Chidgey *et al.*, 2017).

O microclima nas celas de maternidade é uma região que demanda grandes desafios na oferta do ambiente térmico ideal, envolvendo porcas lactantes e leitões recém-nascidos. A dificuldade ocorre por se tratar de regiões que são muito próximas, que apresentam demandas

térmicas distintas; nesse sentido, temperatura mais baixa para porcas e para os leitões temperatura mais elevada (Wagenberg *et al.*, 2006; Milan; Maia; Gebremedhin, 2019).

Com isso, a manutenção térmica é promovida a partir de mecanismos de resfriamento para porca e de uma fonte adicional de calor para leitões. Entretanto, a dificuldade não se verifica apenas na oferta desses dois sistemas, mas também ao se evitar a sobreposição térmica entre as áreas (Pedersen; Malmkvist; Jørgensen, 2007).

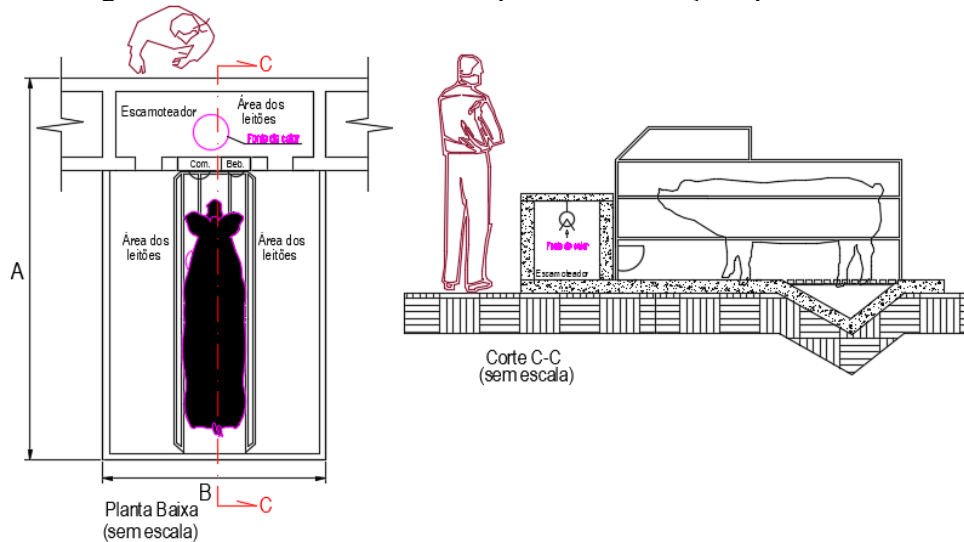
Um outro agravante estaria relacionado com a variação da necessidade térmica em períodos específicos, ou seja, as porcas preferem temperaturas mais elevadas nos períodos que antecede o parto, até o terceiro dia, e para os leitões a necessidade térmica vai diminuindo ao longo do seu desenvolvimento. Em paralelo às demandas térmicas distintas, verifica-se também a limitação dos movimentos da porca a partir da instalação do gradil, muito utilizado com finalidade de se evitar a mortalidade dos leitões por esmagamento (Brandt *et al.*, 2012; Leonard *et al.*, 2021).

A partir das especificidades térmicas por parte das porcas e leitões recém-nascidos nas celas de maternidade, muitas pesquisas também exploram outras variáveis importantes contempladas no projeto das instalações de maternidade (Fels; Sange; Kemper, 2016).

Nesse sentido, verificam-se possibilidades de *layouts* e dimensionamento das regiões ocupadas por porcas e leitões na cela de maternidade, o tipo e a eficiência da oferta do sistema térmico suplementar para os leitões na área interna do escamoteador, possibilidade de utilização de novos materiais de origem sustentável na construção das celas de maternidades, em especial na fabricação dos escamoteadores ou, ainda, na fabricação de material de revestimento interno do escamoteador, aumentando a eficiência da manutenção da temperatura (Zhang; Xin; 2001; Castro *et al.*, 2011; Fels; Sange; Kemper, 2016).

Em relação ao *layout* das áreas da cela de maternidade, conforme pode ser observado na Figura 1, tem-se uma área central ocupada pela porca, podendo também ser utilizada por leitões, e três áreas de acesso exclusivo dos leitões (uma localizada na região frontal da porca e duas áreas nas laterais da área da porca), dotadas de alguma fonte de aquecimento, denominada de *creep*, ou escamoteador, que tem por finalidade suprir a necessidade térmica dos leitões recém-nascidos (Hales *et al.*, 2014).

Figura 1 - Cella de maternidade típica em instalações para suínos.



Fonte: Do autor (2024).

Em relação às dimensões de cada cela de maternidade, as medidas A e B da Figura 1 podem variar de 1,52 m x 2,13 m; 1,80 m x 2,40 m; e 1,60 m x 2,40 m (Chidgey *et al.*, 2017; Leonard *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2022).

A largura da área central ocupada pela porca pode apresentar medidas de 0,61 m, 0,64 m e 0,65 m. Para as demais áreas laterais de acesso exclusivo dos leitões, as medidas indicadas são de 0,30 m e 0,45 m (Zhang; Xin, 2001; Andersen; Pedersen, 2016; Liu *et al.*, 2022).

A área útil interna do escamoteador não apresenta dimensões padrões, pois depende do tamanho da ninhada e, também, do tempo de permanência dos leitões (Fels; Sange; Kemper, 2016).

Alguns valores sugeridos da área dos escamoteadores são de 0,37 m<sup>2</sup>, 0,50 m<sup>2</sup>, 0,80 m<sup>2</sup> e 0,82 m<sup>2</sup> (Zhang; Xin, 2001; Pandorfi *et al.*, 2005; Morello *et al.*, 2019; Leonard *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2022). Em alguns países da Europa, a área útil sugerida varia de 0,60 m<sup>2</sup> a 0,70 m<sup>2</sup>; já nos Estados Unidos essa área seria de 0,50 m<sup>2</sup> (Fels; Sange; Kemper, 2016).

Fels, Sange e Kemper (2016) realizaram estudos específicos do dimensionamento da área do escamoteador, utilizando hipóteses para diferentes posições dos leitões, e indicaram uma área mínima por leitão de 0,06 m<sup>2</sup>. Nesse sentido, utilizando essa referência e considerando gestação com grandes leitegadas, 14 leitões por exemplo, a área útil total do escamoteador seria de 0,84 m<sup>2</sup>, ou dimensões de 1,40 m x 0,60 m (Chidgey *et al.*, 2017; Baude *et al.*, 2022).

As possibilidades de implantação do escamoteador na cela de maternidade podem ser verificadas em pesquisas envolvendo taxa de mortalidade de leitões recém-nascidos, e horário de abertura das celas de maternidade, para escamoteadores localizados na região lateral da área

ocupada pela porca, de frente para o úbere, de geometria retangular, e também localizados na parte frontal da cela de maternidade, de frente para a cabeça da porca, ou recuados em um dos cantos, de geometria triangular ou trapezoidal (Baude *et al.*, 2022).

A locação do escamoteador na região frontal da cela de maternidade, ocupando um dos cantos, de frente para a porca, de geometria triangular, é indicada como sendo segura, abrigada e viável para atender de forma simultânea as demandas térmicas da porca lactante e dos leitões recém-nascidos (Larsen; Thodberg; Pedersen, 2017).

Estudos envolvendo a influência do *layout* das celas de maternidade indicam a preferência dos leitões recém-nascidos por área aquecida na região próxima ao rabo da porca, quando comparada à região próxima à cabeça, não havendo influência da fonte de calor a partir de esteira térmica para temperatura de 37,0 °C e lâmpada de 175 W. Entretanto, especificamente no período inicial após o nascimento, a utilização da lâmpada como fonte de calor foi mais procurada pelos leitões (Zhang; Xin, 2001).

Leonard *et al.* (2020) encontraram um resultado contrário, indicando a influência da permanência dos leitões no escamoteador a partir da fonte de calor na área interna do escamoteador, e não do *layout* da cela de maternidade.

Em relação à fonte de calor suplementar dos leitões no interior do escamoteador, a técnica mais frequente é a utilização de lâmpadas incandescentes (Liu *et al.*, 2022). Entretanto, os sistemas eletrônicos responsáveis pelo controle e manutenção da temperatura no ambiente também despertam grande interesse no meio científico. Estudos indicam resultados mais eficientes para biossensores do tipo *Grid-Eye* instalados na pele dos leitões, quando comparados aos resultados obtidos a partir de sistemas convencionais utilizando termostatos (Sartor *et al.*, 2021).

Em um estudo avaliando três tipos distintos de lâmpadas utilizadas no escamoteador com dimensões de 1,26 m x 0,40 m, verifica-se a elevação dos períodos de amamentação dos leitões para lâmpadas com efeito de luz transparentes, de 175 W, quando comparadas às lâmpadas de 250 W e lâmpadas com efeito de luz vermelha, também de 175 W (Liu *et al.*, 2022).

Os resultados mais eficientes em termos de consumo de energia, ganho de peso dos leitões e menor taxa de mortalidade, para manutenção térmica no escamoteador de dimensões 1,20 m x 0,40 m, e temperatura de 32,2 °C, foram observados utilizando fonte de calor suplementar a partir de tapete térmico do tipo *Baby Pig-Single 48*, comparado à lâmpada do tipo Poly (*Hogslat*) de 125 W (Lane *et al.*, 2020).

A demanda de calor adicional para os leitões nos escamoteadores foi avaliada utilizando lâmpadas como fonte de calor e cálculos baseados no balanceamento energético a partir da temperatura do ar e do peso corporal dos leitões. Os resultados indicaram calor suplementar variando de 266 W a 300 W, para temperatura entre 15,0 °C e 19,0 °C, entretanto, para leitões com peso entre 1 kg e 20 kg, a demanda diminuiu substancialmente, variando de 44 W a 128 W (Milan; Maia; Gebremedhin, 2019).

A utilização de tapete térmico, como fonte de calor suplementar para os leitões para temperatura de 30,0 °C, e escamoteador na condição geométrica trapezoidal, localizado na parte da frente da cela de maternidade, ocupando um dos cantos, promoveu uma diferença de temperatura entre a cela de maternidade, influenciando os leitões a procurarem a área do escamoteador. Entretanto, não foi observada nenhuma influência da fonte de calor gerado pela esteira no comportamento da porca na cela de maternidade em termos de movimentação (Morello *et al.*, 2019).

A quantidade de áreas aquecidas por lâmpadas de 175 W na cela de maternidade também foi estudada. Os resultados indicaram um tempo maior de permanência dos leitões para celas de maternidade com duas áreas aquecidas disponíveis, quando comparadas com a oferta de apenas uma área aquecida. Entretanto, alterações no comportamento da porca em lactação na cela de maternidade também foram observadas. Com a elevação da temperatura gerada no sistema suplementar de calor dos leitões, a matriz passou mais tempo na posição deitada (Leonard *et al.*, 2021).

Em um estudo, dois materiais utilizados na fabricação dos escamoteadores foram testados. Um fabricado em alvenaria com tampa de madeira, medindo 0,97 m x 0,70 m, com aquecimento no piso utilizando resistência elétrica, para temperatura de 30,0 °C, e lâmpada fluorescente de 7 W, e o outro, construído utilizando somente madeira, medindo 0,96 m x 0,62 m, com aquecimento utilizando lâmpada incandescente de 60 W (Sabino *et al.*, 2011).

Os resultados indicaram que o escamoteador de alvenaria foi mais eficiente, ao relacionar resultados do ambiente aquecido, com o ganho de peso médio dos leitões. Entretanto, os dois modelos de escamoteadores apresentaram baixa eficiência na manutenção do conforto térmico dos leitões (Sabino *et al.*, 2011). Os resultados da temperatura do escamoteador indicaram maior eficiência para o aquecimento com lâmpada incandescente, comparado à fonte de calor no piso (Sabino *et al.*, 2012).

Materiais como madeira, plástico e metal também foram utilizados nas construções da cela de maternidade para avaliar as condições térmicas do ambiente. A madeira promoveu um ambiente térmico mais estável, quando comparada ao plástico e ao metal. Para a cela construída

com plástico, os resultados foram menos interessantes: durante o dia, apresentava temperatura mais elevada e umidade relativa baixa, e no período da noite as temperaturas foram mais frias e a umidade relativa elevada (Conrad *et al.*, 2022).

O material polietileno também foi analisado por Sartor *et al.* (2021), que verificaram a eficiência na manutenção do ambiente térmico para esse material.

Sabino *et al.* (2015) utilizaram materiais como madeira e polietileno na construção dos escamoteadores, com dimensões de 0,84 m x 0,89 m e 0,94 m x 0,65 m, e também lâmpada incandescente com potência de 100 W como fonte de calor suplementar. Os resultados indicaram que o polipropileno foi o material que apresentou melhores resultados na promoção do conforto térmico dos leitões.

Em seu estudo, Vasdal *et al.* (2010) verificaram baixa permanência dos leitões no escamoteador construído com piso de concreto, fechamento lateral em alvenaria e o teto com fechamento em madeira, utilizando lâmpada infravermelha de 250 W como fonte de calor, para temperatura interna do escamoteador de 30,0 °C.

A utilização de material sustentável na fabricação do escamoteador também foi avaliada por meio de placas de 1 cm de espessura, fabricadas com material do tipo embalagem de longa vida, composto basicamente por papelão, plástico e alumínio (Sartor *et al.*, 2018).

A placa foi utilizada como revestimento interno do escamoteador, com área de 0,62 m<sup>2</sup>, empregando como fonte de aquecimento resistência térmica de 250 W. A eficiência do isolamento térmico da placa foi verificada a partir da condutividade térmica (k), de 0,01 W m<sup>-1</sup> C<sup>-1</sup>, e também da economia do consumo de energia para temperatura entre 30,0 °C a 34,0 °C (Sartor *et al.*, 2018).

A busca por materiais sustentáveis nas construções agrícolas também é sugerida a partir de conceitos importantes, como o *Green Building*, em especial na fabricação dos escamoteadores (Samer, 2013).

Estudos relacionados à quantificação das emissões de carbono também corroboram a busca por fontes alternativas e possibilidades de utilização de novos materiais. Análises das edificações de produção intensiva de suínos, a partir da quantificação das emissões de carbono, atribuíram que a produção dos materiais utilizados nos processos construtivos das instalações são responsáveis por 12% a 52% das emissões de carbono (Si *et al.*, 2023).

Nesse sentido, o setor industrial cerâmico aparece nesse cenário como fontes geradoras de resíduos com reais possibilidades de serem utilizados nas construções agrícolas, na condição de agregados para fabricação de argamassas e concretos. Estudos recentes indicam não só a promoção das propriedades de materiais cimentícios, mas também a possibilidade de obtenção

de certificações importantes, como o *Green Building*, a partir da utilização de resíduos sólidos utilizados como matéria-prima nas construções (Ray *et al.*, 2021; Soni *et al.*, 2022).

## 2.2 Produção e geração de resíduos sólidos na indústria cerâmica

Dados importantes de produtividade industrial de materiais cerâmicos na produção de pisos e louças sanitárias são disponibilizadas por órgãos e agências do setor. Nesse sentido, verificam-se não só os processos complexos envolvidos na produção das peças, mas também são reveladas elevadas taxas de perdas nas linhas de produção, consolidando, dessa forma, a dimensão do problema na implementação de práticas sustentáveis para tal atividade.

No período entre 2014 e 2019, a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres - ANFACER, indicou uma produção mundial de 8.432 milhões de metros quadrados, em cinco países: China, Índia, Brasil, Vietnã e Espanha.

No mercado interno brasileiro, dados atualizados em referência ao ano de 2020 indicaram a produção de 826 milhões de metros quadrados de revestimentos cerâmicos, e 22 milhões de peças em referência às louças cerâmicas, como vasos, lavatórios, tanques, colunas, entre outros, em especial vasos sanitários com caixa acoplada, representando 37% na produção total (ANFACER, 2020).

A geração de resíduos ao longo das etapas do processo de produção das peças cerâmicas envolvendo o descarte e as perdas apresenta valores significativos, variando de 10% a 30% do volume total de peças produzidas. Esse índice mantém relação direta em razão do complexo processo de produção industrial implementado nessa atividade industrial (Mohammadhosseini *et al.*, 2019).

Um estudo realizado no estado de São Paulo em 2018 pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT e também resultados de estudos disponibilizados pelo Ministério de Minas e Energia - MME em 2009 indicaram que as perdas na atividade industrial seriam de 20%, e a região de Santa Gertrudes - SP como sendo o grande polo industrial, respondendo por 80% da produção brasileira (MME, 2009; IPT, 2018; ANFACER, 2020).

A produtividade expressiva e as elevadas taxas de perda na linha de produção fazem da indústria cerâmica um setor que apresenta grandes possibilidades de geração de materiais que podem ter aplicações em outros processos de produção, em especial na produção de agregados reciclados utilizados em materiais de base cimentícia, contribuindo na economia circular e sustentabilidade ambiental como um todo (Liu *et al.*, 2022).

### 2.2.1 Utilização de resíduos cerâmicos na produção de argamassa e concreto

Os resíduos originados no processo industrial da fabricação de louças cerâmicas sanitárias, indicados na Figura 2, são materiais que, ao final da linha de produção, por algum motivo, apresentam algumas características ou defeitos que inviabilizam sua comercialização. Destacam-se: trincas, problemas na superfície esmaltada, instabilidade dimensional no processo de queima, rachaduras, entre outros.

Figura 2 - Resíduo cerâmico de louça sanitária.



Fonte: Adaptado de Zegardło, Szeląg e Ogrodnik (2018, p. 60).

Devido ao rigoroso processo de inspeção e controle implementado na linha de produção industrial dos materiais cerâmicos, caracterizada por apresentar etapas complexas como controles rigorosos em termos de plasticidade, taxas específicas de aquecimento e resfriamento no processo de queima, entre outros, muitas peças, ao longo das etapas de produção, são classificadas como impróprias, sendo descartadas, em que somente uma pequena fração é reutilizada (Halicka; Ogrodnik; Zegardło, 2013).

Em escala industrial, o cozimento das peças cerâmicas confere grandes desafios. A etapa de sinterização, que ocorre no material dentro do forno a partir da elevação da temperatura, apresenta-se como sendo o processo mais importante na linha de produção, uma vez que é responsável pela promoção da resistência mecânica das peças cerâmicas, entretanto, caracteriza-se por gerar grandes perdas das peças produzidas (Ogrodnik; Szulej, 2017).

O processamento desses resíduos envolve principalmente as etapas de moagem e peneiramento, em que as características do produto final são dependentes do período de tempo na etapa de moagem e, também, das características da abertura das malhas na etapa de peneiramento. Nesse sentido, um material de baixa granulometria está associado à implementação de períodos elevados na etapa de moagem e utilização de malhas mais finas nos processos de peneiramento (Zanelli *et al.*, 2021).

A indicação desses resíduos na produção de materiais cimentícios está condicionada a alguns fatores, como: minimizar os impactos ambientais em referência à exploração insustentável dos agregados naturais; presença elevada dos compostos de silicatos e aluminatos em sua composição química; a própria qualidade do material cerâmico referente à propriedade térmica e resistência mecânica; e a possibilidade de moagem e obtenção de materiais com granulometrias específicas (Zegardło; Szeląg; Ogrodnik, 2018; Meng; Ling; Mo, 2018).

Outro fator de grande importância na utilização desses resíduos é a possibilidade de certificação das indústrias cerâmicas por entidades relevantes responsáveis por delinear normas sustentáveis na cadeia produtiva no setor (Gautam *et al.*, 2021; Zanelli *et al.*, 2021).

O processo de moagem dos resíduos cerâmicos industriais é a etapa inicial do tratamento das peças cerâmicas classificadas como impróprias nas linhas de produção. Nos períodos iniciais de moagem, as partículas apresentam-se morfologicamente na condição de cunha e, ao longo do processo, com a diminuição do tamanho das partículas, verificam-se as condições lamelar e esférica. Uma outra característica do material é a condição elevada de porosidade superficial, ou seja, permite um efeito sinérgico relacionado à aderência interfacial denominada de zona de transição, região delimitada entre a superfície do agregado e a matriz cimentícia (Sadek; Nouhy, 2014).

A partir de suas excelentes propriedades e possibilidades granulométricas, sua indicação nos processos de dosagens envolvendo argamassas ou concretos estaria relacionada a duas condições distintas, como agregados miúdos ou graúdos, e também como material cimentício suplementar. Algumas publicações indicam atividade reativa pozolânica desses materiais, entretanto, está condicionada a uma série de especificidades, como granulometria em escala micrométrica, condição amorfa das partículas, entre outras (Pacheco-Torgal; Jalili, 2010; Sadek; Nouhy, 2014; Awoyera *et al.*, 2017; Alarab *et al.*, 2020).

A reatividade pozolânica dos resíduos cerâmicos de baixa granulometria é um processo específico, dependente da sinergia envolvendo vários fatores e práticas laboratoriais complexas, como controle da atmosfera do forno, estudo do mapeamento das estruturas precipitadas em referência aos eventos termodinâmicos, entre outros. Entretanto, mesmo constatada a baixa reatividade desses materiais, é possível verificar importantes benefícios a partir dos princípios atribuídos aos materiais inertes na condição de *filler* (Alarab *et al.*, 2020).

Nesse sentido, o material de caráter não reativo, na condição de *filler*, também serviria de sítio para nucleação e formação das novas estruturas sólidas precipitadas no processo de hidratação do cimento. Com isso, tem-se uma disseminação dos pontos de nucleação de

estruturas importantes por toda a matriz do material, refinando a microestrutura e aprimorando suas propriedades (El-Gamal *et al.*, 2017).

A formação de estruturas sólidas provenientes da reatividade pozolânica caracteriza-se por ocorrer de forma lenta e foi evidenciada com resultados posteriores aos 28 dias (Martínez; Rojas; Frías, 2012; Sadek; Nouhy, 2014; Awoyera *et al.*, 2017).

Em se tratando de um resíduo cerâmico na condição inerte, não reativa, as propriedades dos materiais são dependentes do processo físico relacionado ao princípio do empacotamento das partículas, denominado cientificamente de efeito *filler* (Mohit; Sharifi, 2019).

### **2.2.2 Propriedades das argamassas e concretos dosados com resíduos cerâmicos**

As análises nas propriedades dos materiais como concretos e argamassas dosadas com resíduos cerâmicos são muitas (Mohammadhosseini *et al.*, 2019). Para processos de dosagens envolvendo adições de resíduos cerâmicos de baixa granulometria, verificou-se o aumento de resistência mecânica e a elevação da capacidade de resistência em temperaturas elevadas, entretanto, verificou-se também a redução da plasticidade, demandando dosagens elevadas de água (Awoyera; Olalusi; Iweriebo, 2021).

Em concretos autoadensáveis, a plasticidade e a capacidade de segregação mostraram-se mais eficientes em ensaio envolvendo processo de substituição dos agregados naturais por resíduos cerâmicos, com teor de 50% e diâmetro com valores entre 12,8 mm e 35,0 mm (Siddique *et al.*, 2019).

A propriedade de resistência mecânica à flexão do concreto, com teor até 90% de substituição do agregado graúdo por resíduos cerâmicos, com granulometria de 12,5 mm, apresentou resultado de flexão em barras semelhante ao material de referência (Awoyera *et al.*, 2018).

O retardo nos tempos de pega também foi verificado em composições cimentícias contendo resíduos cerâmicos, possibilitando, dessa forma, um maior controle das etapas referentes ao transporte, bombeamento e conformação das peças (Reiterman *et al.*, 2014).

As condições de contorno dos agregados também podem ser comparadas para agregados cerâmicos reciclados; essas condições são mais favoráveis para promoção de resistência mecânica (Awoyera; Olalusi; Iweriebo, 2021).

Delimitada entre a região superficial do agregado e a matriz cimentícia, a região interfacial denominada de zona de transição é caracterizada por apresentar baixa resistência

mecânica quando comparada às outras regiões, sendo, dessa forma, o “elo mais fraco” do material (Hosan *et al.*, 2021).

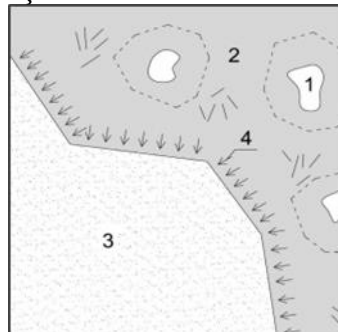
Intrínseco ao processo de hidratação, verifica-se um filme de água adsorvido na superfície do agregado que se estabiliza sob ações de forças eletrostáticas, implementando uma maior porosidade nessa região. Em paralelo a esse problema, verifica-se, nessa região, a baixa precipitação de fases sólidas responsáveis pela promoção de resistência mecânica em materiais cimentícios relacionada à formação de gel de silicato hidratado de cálcio (Hosan *et al.*, 2021).

Análises de microestrutura utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) evidenciam as características da zona de transição dos agregados de basalto, e também de resíduos cerâmicos. A orientação dos planos nos agregados cerâmicos é mais evidente quando comparada à condição completamente esférica dos agregados de basalto (Zegardło; Szeląg; Ogrodnik, 2016).

Entretanto, verifica-se para os agregados cerâmicos uma maior rugosidade, permitindo que a calda de cimento penetre nessas regiões, promovendo uma maior aderência. A aderência nesse caso pode ser classificada na forma de “ganchos mecânicos” formados ao longo de toda a superfície do agregado cerâmico, e suas propriedades de resistência mecânica indicam valores correspondentes a 120 MPa (Zegardło; Szeląg; Ogrodnik, 2016).

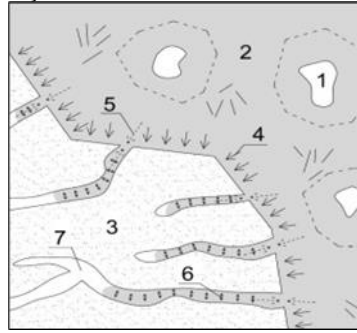
Na região interfacial do agregado natural com a matriz cimentícia, indicada na Figura 3, e também na região do resíduo cerâmico com a matriz cimentícia, indicada na Figura 4, verifica-se que a porosidade do resíduo cerâmico permite a penetração da pasta de cimento, promovendo uma maior aderência, o que não é verificado no agregado natural, onde a superfície é plana e lisa (Zegardło; Szeląg; Ogrodnik, 2016).

Figura 3 - Zona de transição da matriz cimentícia com o agregado natural.



Fonte: Adaptado de Zegardło, Szeląg e Ogrodnik (2016, p. 741).

Figura 4 - Zona de transição da matriz cimentícia com o resíduo cerâmico.



Fonte: Adaptado de Zegardło, Szeląg e Ogrodnik (2016, p. 741).

Muitas outras propriedades em materiais de base cimentícias podem ser aprimoradas a partir da utilização dos resíduos cerâmicos. Nesse sentido, utilizando técnicas de análises por microscopia eletrônica, é possível verificar o refinamento da microestrutura a partir dos resultados em termos de baixa permeabilidade, baixa porosidade, entre outros (Al-Ruqaishi; Allamki; Poloju, 2019).

### 2.2.2 Propriedades térmicas de argamassa e concreto dosados com resíduos cerâmicos

A participação de pós minerais de caráter amorfo ou cristalino de baixa granulometria, a partir de materiais cerâmicos, quando adicionados às composições das argamassas ou concretos, aprimora suas propriedades térmicas, conferindo capacidade de resistir não só às condições elevadas de temperaturas, mas também de minimizar as perdas de resistência mecânica em consequência a essa solicitação (Mohit; Sharifi, 2019).

A capacidade de resistência térmica dos resíduos cerâmicos proveniente do processo industrial de produção de louças sanitárias e revestimentos cerâmicos está associada às elevadas concentrações de alumínio em sua composição química, conforme pode ser observado na Tabela 3 (Halicka; Ogrodnik; Zegardło, 2013).

Tabela 3 - Caracterização química de amostras dos resíduos cerâmicos.

Referência	Mohit e Shahif (2019)	Rashad e Ghada (2020)	El-Gamal <i>et al.</i> (2017)	Huseien <i>et al.</i> (2020)	Halicka, Ogrodnik e Zegardło (2013)	Ogrodnik e Szulej (2017)
Compostos principais	Revestimento cerâmico (%)				Louça sanitária (%)	
SiO <sub>2</sub>	64,04	59,90	66,13	72,6	67,63	68,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,22	18,80	21,33	12,2	24,05	24,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,51	7,64	0,50	0,64	0,55	-
CaO	1,29	6,47	0,81	0,02	-	-
MgO	0,88	0,72	0,34	0,99	0,36	-
K <sub>2</sub> O	2,35	1,68	0,75	0,03	3,00	3,00
Na <sub>2</sub> O	2,07	1,41	4,07	13,46	1,25	> 1
SO <sub>3</sub>	0,11	31,00	0,11	0,01	-	-

Fonte: Adaptado de El-Gamal *et al.* (2017, p. 1063), Halicka, Ogrodnik e Zegardło (2013, p. 298), Huseien *et al.* (2020, p. 3), Mohit e Shahif (2019, p. 644), Ogrodnik e Szulej (2017, p. 911) e Rashad e Ghada (2020, p. 2).

Materiais de base cimentícia como concretos e argamassas, em geral, são classificados como materiais cerâmicos. A partir dessa classificação, verificam-se algumas propriedades que são específicas para essa classe de materiais, como por exemplo: baixa capacidade de transferência de energia na forma de calor e, de forma análoga, elevada capacidade isolante, entre outras (Sangeeta; Shubhajit, 2021).

Essas propriedades específicas mantêm relação direta não só com os elementos químicos presentes na composição do material, mas também com o caráter de ligação química estabelecido entre esses elementos. Em razão da baixa capacidade de condução de calor em materiais cerâmicos, tem-se, como consequência, o surgimento de tensões, denominadas tensões de origem térmica, que estão relacionadas a dois princípios: a elevação de temperaturas e a baixa capacidade que o material apresenta em dissipar esse tipo de energia (Smith; Naït-Ali, 2021).

A presença dessas tensões nos materiais cerâmicos influencia de forma direta suas propriedades, evidenciando grandes perdas, entretanto, alguns pesquisadores indicaram a adição de resíduos cerâmicos na composição dos materiais como alternativa para minimizar os efeitos decorrentes dessas tensões (El-Gamal *et al.*, 2017; Keshavarz; Mostofinejad, 2020).

Um outro mecanismo observado, a partir da utilização de resíduos cerâmicos comparada à utilização de agregados naturais de origem basáltica no preparo de materiais como argamassas e concretos, está relacionado à redução da difusão de calor devido à porosidade do resíduo

cerâmico, quando comparada com a baixa porosidade do agregado natural (Zegardło; Szeląg; Ogrodnik, 2018).

Os ensaios para determinação das propriedades térmicas em materiais de base cimentícia dosada com resíduos cerâmicos são decorrentes de processos envolvendo práticas relacionadas à adição ou substituição de agregado natural por resíduo, processo amparado por questões sustentáveis ou ambientais (Gautam *et al.*, 2021).

A avaliação da resistência mecânica após tratamento térmico em temperaturas de 45,0 °C, 200,0 °C e 1.000,0 °C de materiais cimentícios dosados com resíduos cerâmicos em substituição ao aglomerante e escórias ativadas por álcalis verificaram redução do transporte de calor de 8% e 16% (Mohit; Sharifi, 2019).

Em argamassas dosadas a partir da substituição do cimento por resíduos cerâmicos de área superficial *Blaine* de 320 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>, nos teores 10%, 20% e 30% e adição de 0,05% e 0,1% de nanotubos de carbono, com taxas de resfriamento distintas, El-Gamal *et al.* (2017) obtiveram resultados elevados de resistência mecânica após tratamento térmico para todas as amostras com resíduos cerâmicos.

Os melhores resultados ocorreram à temperatura de 300,0 °C e substituição de 10%. A elevação de temperatura acima de 300,0 °C promoveu queda substancial de resistência mecânica em todas as composições. Para taxa de resfriamento lenta, os autores observaram controle melhor das tensões de origem térmica, a partir dos resultados elevados de resistência mecânica comparados às taxas elevadas de resfriamento (El-Gamal *et al.*, 2017).

A utilização de resíduos cerâmicos na condição de agregados graúdos em materiais de base cimentícia proporcionou melhores resultados nas propriedades quando comparado às substituições envolvendo agregado miúdo, ou o aglomerante. O benefício é que em grande parte das pesquisas as substituições são maximizadas, ou seja, permite até 100% de substituição com pouca influência em suas propriedades (Meng; Ling; Mo, 2018).

Ensaio em concretos, utilizando substituições para teores de 25% e 100% dos agregados graúdos naturais por resíduo cerâmico com diâmetro 12,5 mm, foram combinados com dois aglomerantes distintos. A capacidade térmica do material apresentou melhores resultados quando combinada ao aglomerante de cimento Portland, com valores máximos de temperatura de 600 °C, e acima desta temperatura a resistência mecânica apresentou 53% de perda (Keshavarz; Mostofinejad, 2020).

Em temperatura mais elevadas, próximas a 1.000,0 °C, a substituição total do agregado miúdo natural por resíduos cerâmicos de dimensões entre 4 mm e 8 mm em concretos indicou

baixa degradação da amostra, evidenciando elevada resistência térmica em temperaturas elevadas (Halicka; Ogrodnik; Zegardło, 2013).

Para ensaios de flexão em três pontos em concretos após tratamento térmico, moldados na condição de barras prismáticas e dosados com substituição total de agregado natural por resíduo cerâmico, verificou-se novamente o incremento das propriedades de resistência mecânica a partir da presença do resíduo cerâmico. Nesse sentido, o concreto com agregado natural apresentou grandes perdas após o tratamento térmico, o que não foi verificado para amostras contendo resíduos cerâmicos. A plasticidade, ou o abatimento por se tratar de concreto, apresentou valores mais baixos a partir da substituição de agregado natural por resíduos cerâmico, justificado pela baixa área superficial. Para densidade unitária, verificou-se também valores mais baixos, uma vez que o resíduo também apresentou valores menores de densidade (Canbaz, 2016).

Zegardło *et al.* (2018) produziram a aplicação gradual de calor, com a temperatura variando entre 20,0 °C e 1.000,0 °C, em um período de 90 minutos, simulando as condições normais de incêndio, em concretos dosados com resíduos cerâmicos com diâmetro máximo de 8 mm, combinado com materiais auxiliares como fibras de polipropileno e aditivos incorporadores de ar. Os autores observaram que o concreto dosado com resíduo cerâmico apresentou perdas nas propriedades de resistência mecânicas, entretanto, manteve-se íntegro ao final do ensaio, o que não foi observado em amostras utilizando agregados basálticos, desfragmentando-se após período de 240 minutos durante o tratamento térmico.

Zegardło, Szeląg e Ogrodnik (2018) obtiveram maiores perdas de resistência mecânica para dosagens de material cerâmico e fibra de polipropileno. Amostras com resíduos cerâmicos e aditivos incorporadores de ar foram as que tiveram menores alterações nos momentos anterior e posterior ao tratamento térmico. As análises de microestrutura evidenciam abertura de fissuras por toda a matriz cimentícia, entretanto, na superfície dos grãos dos resíduos cerâmicos não foram observadas alterações após o tratamento térmico.

Em pastas de cimento dosadas com escórias, verificou-se a elevação da capacidade de resistência térmica a partir da substituição da escória por resíduo cerâmico de baixa granulometria, com área superficial *blaine* de 450 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>. Em consequência à substituição, verificou-se também a redução do índice de consistência, ou plasticidade. Os corpos de prova foram curados à temperatura de 45,0 °C, e posteriormente, aos 91 dias, passaram por um processo térmico em temperaturas variando entre 200,0 °C e 1.000,0 °C. As análises de resistência mecânica para amostras contendo resíduos cerâmicos evidenciaram a elevação da

resistência mecânica nos períodos anterior e posterior ao tratamento térmico (Rashad; Ghada, 2020).

Em sistemas ternários envolvendo preparo de argamassa a partir de resíduos cerâmicos ultraprocessados, escória de alto forno e cinza volante, seguido de um tratamento térmico em temperaturas elevadas a 900,0 °C, Huseien *et al.* (2018) obtiveram a promoção de resistência mecânica a partir da adição de resíduo cerâmico. Após o tratamento térmico, as amostras de argamassa, contendo 50% de resíduos cerâmicos com diâmetro médio de partículas entre 45 micrômetros, apresentaram resistência mecânica residual em torno de 74 MPa. Os resultados indicaram uma condição real envolvendo o acréscimo de resíduos cerâmicos com a promoção de resistência mecânica.

A implementação de processos de cura distintos em concreto preparados com substituição de 100% de agregado natural por resíduos cerâmicos, de dimensões de 12,5 mm, mostrou que o método de cobertura utilizando polietileno foi mais eficiente quando comparado ao processo de cura por imersão. Os resultados de resistência mecânica após o tratamento térmico em temperaturas variando de 200,0 °C confirmaram o aprimoramento das propriedades mecânicas do material dosados com resíduos cerâmicos (Awoyera *et al.*, 2018).

Técnicas de incorporação de ar foram empregadas e avaliadas como alternativa para fabricação de concreto com propriedades térmicas, referentes à capacidade de resistência ao fenômeno de fragmentação ou estilhaçamento quando exposto a taxas elevadas de temperaturas.

Ogrodnik e Szulej (2017) trabalharam com dosagens de resíduos cerâmicos de granulometria variada e diâmetro máximo de 4,8 mm na fabricação de concreto. O ensaio envolveu a elevação da temperatura de cozimento de 1.049,0 °C por um período de 120 minutos. O resultado de resistência mecânica para concretos dosados com incorporadores de ar e resíduos cerâmicos como agregados após o tratamento térmico foi de aproximadamente 35 MPa. O fenômeno do estilhaçamento foi observado de forma explosiva. As amostras sem a presença do incorporador de ar, na dosagem de 5% de resíduo cerâmico, apresentaram baixa resiliência e o processo ocorreu em temperatura a partir de 300,0 °C.

De uma forma geral, uma série de benefícios são observados nas propriedades térmicas das argamassas e concretos, a partir da incorporação parcial ou total de resíduos cerâmicos em sua composição. A elevada presença de alumínio na sua composição química, bem como a natureza física mais porosa, quando comparado ao agregado natural, impactou de forma direta as solicitações térmicas das amostras (El-Gamal *et al.*, 2017).

### 3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As condições de ambiência na atividade pecuária na produção de suínos impactam de forma direta o sistema de produção. A condição adaptativa envolvendo animais e o meio em que eles estão inseridos promovem a resposta estressora do animal, que deve ser evitada, ou mesmo minimizada, sempre que possível.

De forma geral, todo processo adaptativo gera uma série de problemas ao longo do processo produtivo, e os problemas na suinocultura podem contribuir na elevação da taxa de mortalidade, em especial em locais denominados de celas de maternidade, onde os leitões recém-nascidos permanecem grande parte do tempo quando não estão amamentando.

A temperatura ideal nesse espaço deve assumir valores variando entre 25,0 °C e 36,6 °C, em que a fonte de calor é gerada a partir de dispositivos de aquecimento ou por meio de lâmpada incandescente. A manutenção da temperatura nas celas de maternidade na atividade de suinocultura se faz importante em referência aos problemas descritos, e possui uma dependência não só da eficiência da fonte de calor, mas também dos materiais utilizados no processo de fabricação dos escamoteadores, que devem apresentar preferencialmente baixa condutividade térmica.

Os parâmetros relacionados às questões sustentáveis na atividade industrial também devem ser utilizados na indicação de materiais alternativos para fabricação dos escamoteadores, de baixo custo, possibilitando uma segunda via de descarte dos resíduos industriais, minimizando a exploração dos recursos naturais, entre outros.

Nesse sentido, a indústria cerâmica apresenta possibilidades reais de oferta de resíduos, em especial originados da produção de louças cerâmicas sanitárias, com estudos indicando a promoção das propriedades de argamassa dosada como agregado miúdo. Esses materiais podem ser empregados na produção de materiais constituintes de partes das celas de maternidade, notadamente divisórias e coberturas de escamoteadores, com desejáveis características térmicas e mecânicas, contribuindo com a economia circular da indústria cerâmica introduzida na pecuária, com consequente incremento da sustentabilidade global.

## REFERÊNCIAS

- ALARAB, Amir *et al.* Use of ceramic-waste powder as value-added pozzolanic material with improved thermal properties. **Journal of Materials in Civil Engineering**, [Reston], v. 32, n. 9, p. 04020243-1-04020243-9, June 2020.
- ALARCÓN, Laura Valeria *et al.* Biosecurity assessment of Argentinian pig farms. **Preventive Veterinary Medicine**, [Netherlands], v. 170, n. 7, Oct. 2019.
- ALBERNAZ-GONÇALVES, Rita; OLMOS, Gabriela; HÖTZEL, Maria José. My pigs are ok, why change? – animal welfare accounts of pig farmers. **Animal**, [England], v. 15, n. 3, Mar. 2021.
- ALLEPUZ, Alberto *et al.* Development of a risk assessment tool for improving biosecurity on pig farms. **Preventive Veterinary Medicine**, [Netherlands], v. 153, n. 8, p. 56-63, May 2018.
- AL-RUQAISHI, Al-Azhar Zahir Mohammed; ALLAMKI, Mahmood Salim Hamed Ali; POLOJU, Kiran Kumar. The advancement of ceramic waste in concrete. **International Journal of Advanced and Applied Sciences**, [Taipei], v. 6, n. 11, p. 102-108, Oct. 2019.
- ANDERSEN, Heidi Mai-Lis; PEDERSEN, Lene Juul. Effect of radiant heat at the birth site in farrowing crates on hypothermia and behaviour in neonatal piglets. **Animal**, [England], v. 10, n. 1, p. 128-134, Sept. 2016.
- ANDERSEN, Inger Lise; HAUKVIK, I. A.; BØE, Knut E. Drying and warming immediately after birth may reduce piglet mortality in loose-housed sows. **Animal**, [England], v. 3, n. 4, p. 592-597, Apr. 2009.
- ANDERSEN, Inger Lise *et al.* Welfare and performance of finishing pigs on commercial farms: Associations with group size, floor space per pig and feed type. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 265, n. 14, Feb. 2023.
- ANDERSON, Derrick J.; SMITH, Scott Thomas; AU, Francis T. K. Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, [England], v. 117, n. 6, p. 20-28, Aug. 2016.
- ASADI, Iman *et al.* Thermal conductivity of concrete – A review. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 20, n. 11, p. 81-93, July 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Construções de argamassa armada**. ABCP, 1996. Disponível em: <https://abcp.org.br/bt-126/>. Acesso em: 17 mar. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Quem Somos**. ABCP, 2024. Disponível em: <https://abcp.org.br/quem-somos/>. Acesso em: 17 mar. 2024.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA DE REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. **Números do setor cerâmico**. ANFACER, 2020. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor>. Acesso em: 28 jun. 2021.

- AVERÓS, Xavier *et al.* The value of a retrospective analysis of slaughter records for the welfare of broiler chickens. **Poultry Science**, [Champaign], v. 99, n. 11, p. 5222-5232, Nov. 2020.
- AWOYERA, Paul *et al.* Curing, thermal resistance and bending behaviour of laterised concrete containing ceramic wastes. **Cogent Engineering**, [United Kingdom], v. 5, n. 1, p. 1-12, Jan. 2018.
- AWOYERA, Paul O. *et al.* Suitability of mortars produced using laterite and ceramic wastes: Mechanical and microscale analysis. **Construction and Building Materials**, [England], v. 148, n. 23, p. 195-203, Sept. 2017.
- AWOYERA, Paul O.; OLALUSI, Oladimeji B.; IWERIEBO, Nkay. Physical, strength, and microscale properties of plastic fiber-reinforced concrete containing fine ceramics particles. **Materialia**, [*s.l.*], v. 15, n. 16, Mar. 2021.
- BAERT, Sarah *et al.* The protective role of wallowing against heat stress in gestating and lactating sows housed outdoors. **Physiology & Behavior**, [United States], v. 254, n. 26, Jan. 2022.
- BARNABÉ, Janice M. C. *et al.* Performance and welfare of finishing pigs subjected to climate controlled environments and supplementary lighting. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 3, p. 294-302, May/June 2020.
- BARROS, Juliana de Souza Granja; ROSSI, Luiz Antonio; SOUZA, Zigomar Menezes de. PID Temperature controller in pig nursery: spatial characterization of thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, [Milwaukee], v. 62, n. 5, p. 773–781, Nov. 2018.
- BAUDE, Bianca-Marie *et al.* Short-term fixation of sows in farrowing pens using different opening procedures. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 264, n. 6, Aug. 2022.
- BRANDT, Pia *et al.* Floor heating at farrowing in pens for loose-housed sows. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 143, n. 1, p. 1-4, Jan. 2012.
- CANBAZ, Mehmet. The effect of high temperature on concrete with waste ceramic aggregate. **Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering**, [*s.l.*], v. 40, n. 5, p. 41–48, Apr. 2016.
- ČANDEK-POTOKAR, Marjeta *et al.* Welfare assessment of Krškopolje pigs reared in different production systems. **Animal**, [England], v. 1, n. 21, Dec. 2022.
- CARROLL, J. A. *et al.* Influence of environmental temperature on the physiological, endocrine, and immune responses in livestock exposed to a provocative immune challenge. **Domestic Animal Endocrinology**, [United States], v. 43, n. 2, p. 146-153, Aug. 2012.
- CASTRO, J. O. *et al.* The use of slate in the building of swine farrowing stalls: I -effect on the environment and the swine behaviour. **Agricultural Building and Environment**, [*s.l.*], v. 31, n. 3, p. 458-467, 2011.

CECCHIN, Daiane *et al.* Thermal environment in growing and finishing pig facilities of different building typologies. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, [Mossoró], v. 5, n. 4, p. 118-123, Sept. 2017.

CHIDGEY, Kirsty L. *et al.* Sow and piglet behavioral associations in farrowing pens with temporary crating and in farrowing crates. **Journal of Veterinary Behavior**, [Netherlands], v. 20, n. 2, p. 91-101, Jan. 2017.

CHINN, Sarah M. *et al.* Influence of intrinsic and extrinsic attributes on neonate survival in an invasive large mammal. **Scientific Reports**, [England], v. 11, n. 1, May 2021.

CONRAD, Lydia *et al.* Effects of farrowing out design on maternal and thermoregulatory behaviour in outdoor housed sows and piglets. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 251, n. 7, June 2022.

DAMASCENO, Flávio Alves *et al.* Assessment of a low-cost solar water heating systems in farrowing facilities. **Agronomy Research**, [Estonia], v. 17, n. 1, p. 49–59, 2019.

EL-GAMAL, Saffa M. A. *et al.* Ceramic waste as an efficient material for enhancing the fire resistance and mechanical properties of hardened Portland cement pastes. **Construction and Building Materials**, [England], v. 154, n. 96, p. 1062-1078, Nov. 2017.

FARMER, Chantal. The suckling and weaned piglet. *In: The suckling and weaned piglet.* Wageningen Academic Publishers, 2020. 312 p.

FARMER, Chantal; EDWARDS, S. A. Review: Improving the performance of neonatal piglets. **Animal**, [England], v. 16, n. 1, June 2022.

FELS, Michaela; SANGE, Marie D.; KEMPER, Nicole. Planimetric measurement as a method for scientific assessment of space requirements of young suckling piglets in the creep area. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 191, n. 23, p. 37-42, July 2016.

GAUTAM, Lilesh *et al.* A review on the utilization of ceramic waste in sustainable construction products. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 43, n. 2, p. 1884-1891, 2021.

GONDRET, Florence *et al.* Lean and fat development in piglets. *In: The suckling and weaned piglet.* Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2020. p. 41-69.

HALES, Janni *et al.* Higher preweaning mortality in free farrowing pens compared with farrowing crates in three commercial pig farms. **Animal**, [England], v. 8, n. 1, p. 113-120, Jan. 2014.

HALICKA, Anna; OGRODNIK, Pawel; ZEGARDŁO, Bartosz. Using ceramic sanitary ware waste as concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, [England], v. 48, n. 37, p. 295-305, Nov. 2013.

HERPIN, Patrick; DAMON, Marie; DIVIDICH, Jean Le. Development of thermoregulation and neonatal survival in pigs. **Livestock Production Science**, [s.l.], v. 78, n. 1, p. 25-45, Nov. 2002.

HEUB, E. M. *et al.* Invited review: Piglet survival: benefits of the immunocompetence. **Animal**, [England], v. 13, n. 10, p. 2114-2124, Oct. 2019.

HEWITT, Robert John Edward; KEMP, B.; MILLET, Sam. Editorial: Addressing 21st century challenges in pig production. **Animal**, [England], v. 16, n. 1, May 2022.

HOFMANN, Tanja *et al.* Impact of Housing Environment on the Immune System in Chickens: A Review. **Animals**, [United States], v. 10, n. 7, July 2020.

HOLE, Charlotte Vanden *et al.* Glucose and glycogen levels in piglets that differ in birth weight and vitality. **Heliyon**, [United Kingdom], v. 5, n. 9, Sept. 2019.

HOSAN, Md Anwar *et al.* Nano- and micro-scale characterisation of interfacial transition zone (ITZ) of high volume slag and slag-fly ash blended concretes containing nano SiO<sub>2</sub> and nano CaCO<sub>3</sub>. **Construction and Building Materials**, [England], v. 269, n. 94, Jan. 2021.

HUSEIEN, Ghasan Fahim *et al.* Waste ceramic powder incorporated alkali activated mortars exposed to elevated Temperatures: Performance evaluation. **Construction and Building Materials**, [England], v. 187, n. 31, p. 307-317, Oct. 2018.

HUSEIEN, Ghasan Fahim *et al.* Effects of ceramic tile powder waste on properties of self-compacted alkali-activated concrete. **Construction and Building Materials**, [England], v. 236, n. 59, Mar. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudo estratégico da cadeia produtiva da indústria cerâmica no Estado de São Paulo –Rel. n. 153900-205. Fase 1.** São Paulo: IPT, 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Roteiro Regional Global ABC para Edifícios e Construção na América Latina 2020-2050.** IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/globalabc-regional-roadmap-for-buildings-and-construction-in-latin-america-2020-2050>. Acesso em: 29 ago. 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO-17889-1: Ceramic tiling systems-Sustainability for ceramic tiles and installation materials. Part 1: Specification for ceramic tiles.** ISO, 2021.

JEON, J. H. *et al.* Effects of chilled drinking water on the performance of lactating sows and their litters during high ambient temperatures under farm conditions. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 105, n. 1-3, p. 89-93, Dec. 2006.

JORQUERA-CHAVEZ, M. *et al.* The effect of farrowing crate heat lamps on the skin and rectal temperature of sows. **Animal Science Proceedings**, [s.l.], v. 76, n. 12, p. 163-244, Nov. 2021.

KELLS, Nikki J. Review: The Five Domains model and promoting positive welfare in pigs. **Animal**, [England], v. 16, n. 2, June 2022.

KESHAVARZ, Zahra; MOSTOFINEJAD, Davood. Effects of high-temperature exposure on concrete containing waste porcelain coarse aggregates and steel chips. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 29, n. 86, May 2020.

LAGO, Bruno Dal; VOLPE, Luca; PAPA, Enrico. Structural assessment of modular precast 3D cell mid- to high-rise buildings with different connections. **Procedia Structural Integrity**, [s.l.], v. 44, n. 141, p. 1068-1075, Jan. 2023.

LANE, Karli J. *et al.* Comparison of heat lamps and heat mats in the farrowing house: effect on piglet production, energy use, and piglet and sow behavior through live observation. **Journal of Swine Health & Production**, [s.l.], v. 28, n. 4, p. 205-212, July 2020.

LARSEN, Mona Lilian Vestbjerg; THODBERG, Karen; PEDERSEN, Lene Juul. Radiant heat increases piglets' use of the heated creep area on the critical days after birth. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 201, n. 11, p. 74-77, July 2017.

LEI DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **Lei nº 12.305/2010**. LPNRS, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>. Acesso em: 16 dez. 2023.

LEONARD, Suzanne M. *et al.* Effects of farrowing stall layout and number of heat lamps on sow and piglet production performance. **Animals**, [United States], v. 10, n. 2, Feb. 2020.

LEONARD, Suzanne M. *et al.* Effects of farrowing stall layout and number of heat lamps on sow and piglet behavior. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 239, n. 6, June 2021.

LIN, Laikuang; XIA, Yimin; WU, Dun. A hybrid fuzzy multiple criteria decision-making approach for comprehensive performance evaluation of tunnel boring machine disc cutter. **Computers & Industrial Engineering**, [England], v. 149, n. 41, Nov. 2020.

LIU, Fan *et al.* Review: What have we learned about the effects of heat stress on the pig industry? **Animal**, [England], v. 16, n. 2, June 2022.

LIU, Kang *et al.* Light from heat lamps affects sow behaviour and piglet salivary melatonin levels. **Animal**, [England], v. 16, n. 6, June 2022.

MACHADO, Juliana Dementshuk *et al.* New traits to improve the maternal ability of sows under production conditions. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 260, n. 4, Apr. 2022.

MARTÍNEZ, César Medina; ROJAS, M. I. Sánchez de; FRÍAS, Moisés. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. **Cement and Concrete Composites**, [s.l.], v. 34, n. 1, p. 48-54, Jan. 2012.

MARTINS, Ana Carolina Pereira *et al.* Use of steel slag and LAS-based modifying admixture in obtaining highly eco-efficient precast concrete products. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 66, n. 10, May 2023.

MENG, Yazhi; LING, Tung-Chai; MO, Kim Hung. Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview. **Resources, Conservation and Recycling**, [Netherlands], v. 138, n. 30, p. 298-312, Nov. 2018.

MILAN, Hugo F. M.; MAIA, Alex Sandro Campos; GEBREMEDHIN, K. G. Prediction of optimum supplemental heat for piglets. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, [s.l.], v. 62, n. 2, p. 321-342, Jan. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM. **Cadeia de Louças**. Relatório Técnico 74, Perfil de Louças Sanitárias e de Mesa. MME, 2009.

MISRA, Shilpi *et al.* Effect of different cleaning procedures on water use and bacterial levels in weaner pig pens. **PLoS ONE**, [United States], v. 15, n. 11, Nov. 2020.

MOHAMMADHOSSEINI, Hossein *et al.* Enhanced performance of green mortar comprising high volume of ceramic waste in aggressive environments. **Construction and Building Materials**, [England], v. 212, n. 57, p. 607-617, July 2019.

MOHIT, Mehdi; SHARIFI, Yasser. Thermal and microstructure properties of cement mortar containing ceramic waste powder as alternative cementitious materials. **Construction and Building Materials**, [England], v. 223, n. 57, p. 643-656, July 2019.

MORELLO, Gabriela M. *et al.* Higher light intensity and mat temperature attract piglets to creep areas in farrowing pens. **Animal**, [England], v. 13, n. 8, p. 1696-1703, Jan. 2019.

MÓS, João Victor do Nascimento *et al.* Thermal comfort of sows in free-range system in Brazilian Savanna. **Journal of Thermal Biology**, [England], v. 88, n. 6, Jan. 2020.

NIEUWAMERONGEN, S. E. Van *et al.* Effects of pre-weaning housing in a multi-suckling system on performance and carbohydrate absorption of relatively light and heavy piglets around weaning. **Animal**, [England], v. 12, n. 4, p. 802-809, Jan. 2018.

NUNTAPAITOON, Morakot *et al.* Factors influencing colostrum consumption by piglets and their relationship with survival and growth in tropical climates. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 224, n. 9, p. 31-39, June 2019.

OGRODNIK, Pawel; SZULEJ, Jacek. The impact of aeration of concrete based on ceramic aggregate, exposed to high temperatures, on its strength parameters. **Construction and Building Materials**, [England], v. 157, n.77, p. 909-916, Dec. 2017.

OGRODNIK, Pawel; ZEGARDŁO, Bartosz; SZELAG, Maciej. The use of heat-resistant concrete made with ceramic sanitaryware waste for a thermal energy storage. **Applied Sciences**, [Romania], v. 7, n. 12, Dec. 2017.

O'HEGARTY, Richard; KINNANE, Oliver. Review of precast concrete sandwich panels and their innovations. **Construction and Building Materials**, [England], v. 233, n. 50, Feb. 2020.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, Said. Reusing ceramic wastes in concrete. **Construction and Building Materials**, [England], v. 24, n. 5, p. 832-838, May 2010.

PANDORFI, Héilton *et al.* Microclima de abrigos escamoteadores para leitões submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 99-106, mar. 2005.

PEDERSEN, Lene Juul; MALMKVIST, Jens; JØRGENSEN, Erik. The use of a heated floor area by sows and piglets in farrowing pens. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 103, n. 1, p. 1-11, Mar. 2007.

PELTONIEMI, Olli *et al.* Coping with large litters: the management of neonatal piglets and sow reproduction. **Journal of Animal Science and Technology**, [South Korea], v. 63, n. 1, p. 1-15, Jan. 2021.

PHILLIPS P. A.; FRASER, D.; PAWLUCZUK, B. Floor temperature preference of sows at farrowing. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 67, n. 1-2, p. 59-65, Mar. 2000.

PICUNO, Pietro. Use of traditional material in farm buildings for a sustainable rural environment. **International Journal of Sustainable Built Environment**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 451-460, June 2016.

PITARCH, A. M. *et al.* Pozzolan activity of tiles, bricks and ceramic sanitary-ware in eco-friendly Portland blended cements. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 279, n. 290, Aug. 2021.

POL, F. *et al.* Human–animal relationship influences husbandry practices, animal welfare and productivity in pig farming. **Animal**, [England], v. 15, n. 2, Feb. 2021.

RAJ, Amritha; SATHYAN, Dhanya; MINI, K. M. Physical and functional characteristics of foam concrete: A review. **Construction and Building Materials**, [England], v. 221, n. 2, p. 787-799, Oct. 2019.

RASHAD, Alaa M.; GHADA, M. F. Essa. Effect of ceramic waste powder on alkali-activated slag pastes cured in hot weather after exposure to elevated temperature. **Cement and Concrete Composites**, [s.l.], v. 111, n. 14, Aug. 2020.

RAY, Sourav *et al.* Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: A review. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 43, n. 14, Nov. 2021.

REITERMAN, Pavel *et al.* Fracture properties of cement pastes modified by fine ground ceramic powder. **Advanced Materials Research**, [s.l.], v. 1054, n. 5, p. 182-187, Oct. 2014.

RIBER, Anja B. *et al.* Review of environmental enrichment for broiler chickens. **Poultry Science**, [Champaign], v. 97, n. 2, p. 378-396, Feb. 2018.

ROBBINS, Lindsey A. *et al.* One is the coldest number: how group size and body weight affect thermal preference in weaned pigs (3 to 15 kg). **Animal**, [England], v. 11, n. 5, p. 1447, May 2021.

SABINO, Luana Araújo *et al.* Comparação de dois modelos de escamoteadores sobre o desempenho dos leitões. **Animal Sciences**, Maringá, v. 34, n. 1, p. 21-25, mar. 2012.

SABINO, Luana Araújo *et al.* Comportamento suíno influenciado por dois modelos de maternidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [Campina Grande], v. 15, n. 12, p. 1321-1327, set. 2011.

SABINO, Luana Araújo *et al.* Construction material interference on air temperature and humidity inside the piglet creep area. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 338-343, Dec. 2015.

SADEK, Dina M.; NOUHY, Hanan A. El. Properties of paving units incorporating crushed ceramic. **Housing and Building National Research Center Journal**, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 198-205, Aug. 2014.

SAMER, Mohamed. Towards the implementation of the Green Building concept in agricultural buildings: a literature review, Cairo University. **Journal II-Farm Buildings and Construction**, [s.l.], v. 15, n. 2, p. 25-46, July 2013.

SANGEETA, Das; SHUBHAJIT, Das. Properties for polymer, metal and ceramic based composite materials. *In: Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. Amsterdam: Elsevier, 2021. p. 815-821.

SANTIAGO, Patricia Roldán *et al.* Relationship of vitality and weight with the temperature of newborn piglets born to sows of different parity. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 220, n. 19, p. 26-31, Feb. 2019.

SARTOR, Karina *et al.* Thermal insulation with recycled material in creeps for piglets. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 6, p. 824-828, Nov./Dec. 2018.

SARTOR, Karina *et al.* Skin temperature of piglets as a biosensor for controlling the heating system in creeps with low power consumption. **Biosystems Engineering**, [England], v. 210, n. 10, p. 104-114, Oct. 2021.

SCHILD, S.-Lina A. *et al.* Does hut climate matter for piglet survival in organic production? **Animal**, [England], v. 13, n. 4, p. 826-834, Jan. 2019.

SCHILD, S.-Lina A.; BAXTER, Emma M.; PEDERSEN, Lene J. A review of neonatal mortality in outdoor organic production and possibilities to increase piglet survival. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 231, n. 4, Oct. 2020.

SCHMITT, Oceane *et al.* Thermoregulation at birth differs between piglets from two genetic lines divergent for residual feed intake. **Animal**, [England], v. 15, n. 1, Jan. 2021.

SI, Buchun *et al.* Carbon and water footprint analysis of pig farm buildings in Northeast China using building-information-modeling enabled assessment. **Science of The Total Environment**, [Netherlands], v. 888, n. 66, May 2023.

SIDDIQUE, Salman *et al.* Sustainable utilisation of ceramic waste in concrete: Exposure to adverse conditions. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 210, n. 22, p. 246-255, Feb. 2019.

SILVESTRI, Luca *et al.* Life cycle assessment of sanitaryware production: A case study in Italy. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 251, n. 110, Apr. 2020.

SMITH, Benjamin C. *et al.* Pilot-scale assessment of a novel farrowing creep area supplementary heat source. **Animals**, [United States], v. 9, n. 11, Nov. 2019.

SMITH, David S.; NAÏT-ALI, Benoît. Thermal properties of ceramic materials. *In: Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses*. Amsterdam: Elsevier, 2021. p. 855-866.

SONI, Ashish *et al.* Challenges and opportunities of utilizing municipal solid waste as alternative building materials for sustainable development goals: A review. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, [Netherlands], v. 27, n. 46, p. 1-33, June 2022.

SOUZA, William Jeferson Vieira de; SCUR, Gabriela; HILSDORF, Wilson de Castro. Eco-innovation practices in the brazilian ceramic tile industry: The case of the Santa Gertrudes and Criciúma clusters. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 199, n. 92, p. 1007-1019, June 2018.

SULZBACH, Jéssica Juliane *et al.* Evaluation of different heating systems for new-born swine. **International Journal of Biometeorology**, [Milwaukee], v. 64, n. 9, p. 1473-1479, Apr. 2020.

TAECHAMAETEEKUL, Preechaphon *et al.* Control of parturition in hyperprolific sows by using altrenogest and double administrations of PGF2 $\alpha$ . **Theriogenology**, [United States], v. 181, n. 4, p. 24-33, Jan. 2022.

VASDAL, Guro *et al.* Piglet preference for infrared temperature and flooring. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 122, n. 2-4, p. 92-97, Jan. 2010.

VASDAL, Guro; WHEELER, E. F.; BØE, K. E. Effect of infrared temperature on thermoregulatory behaviour in suckling piglets. **Animal**, [England], v. 3, n. 10, p. 1449-1454, June 2009.

VERDON, Megan; MORRISON, Rebecca S.; RAULT, Jean-Loup. Sow and piglet behaviour in group lactation housing from 7 or 14 days post-partum. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 214, n. 3, p. 25-33, Mar. 2019.

VILAS-BOAS, Jean; KLERKX, Laurens; LIE, Rico. Facilitating international animal welfare standards implementation in national contexts: The role of intermediaries in Brazilian pig production. **Journal of Rural Studies**, [United Kingdom], v. 90, n. 6, p. 53-64, Feb. 2022.

WAGENBERG, A. V. Van *et al.* Effect of floor cooling on farrowing sow and litter performance: field experiment under dutch conditions. **American Society of Agricultural Engineers**, [s.l.], v. 49, n. 5, p. 1521-1527, Sept. 2006.

ZAKARI, Friday Ocheja; AKEFE, Isaac Oluwatobi; UCHENDU, Chidiebere. Comparison of diurnal rectal and body surface temperatures in large white piglets during the hot-dry season in a tropical Guinea savannah. **Journal of Thermal Biology**, [England], v. 99, n. 8, Apr. 2021

ZANELLI, Chiara *et al.* Waste recycling in ceramic tiles: a technological outlook, *Resources. Conservation and Recycling*, [Netherlands], v. 168, n. 74, May 2021.

ZEGARDŁO, Bartos; SZELAĞ, Maciej; OGRODNIK, Pawel. Concrete resistant to spalling made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes – The effect of moisture and porosity on destructive processes occurring in fire conditions. *Construction and Building Materials*, [England], v. 173, n. 9, p. 58-68, June 2018.

ZEGARDŁO, Bartos; SZELAĞ, Maciej; OGRODNIK, Pawel. Ultra-high strength concrete made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes – The method of production and the interfacial transition zone. *Construction and Building Materials*, [England], v. 122, n. 72, p. 736-742, Sept. 2016.

ZHANG, Xiaojun *et al.* Effect of precision air supply cooling system with different cooling air speed on reproductive performance, stress status, immunoglobulin and fecal microbiota of lactating sows. *Journal of Thermal Biology*, [England], v. 108, n. 13, June 2022.

ZHANG, Qiang; XIN, Hongwe. Responses of piglets to creep heat type and location in farrowing cage. *Agricultural and Biosystems Engineering*, [s.l.], v. 17, n. 8, p. 515-519, July 2001.

ZHENG, Ping *et al.* A wireless intelligent thermal control and management system for piglet in large-scale pig farms. *Information Processing in Agriculture*, [Netherlands], v. 8, n. 2, p. 341-349, June 2021.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS****ARTIGO 1 - ARGAMASSA ARMADA DOSADA COM RESÍDUO CERÂMICO PARA  
APLICAÇÃO EM MATERNIDADE DE SUÍNOS – RESISTÊNCIA MECÂNICA E  
CONDUTIVIDADE TÉRMICA DAS PLACAS****ARTICLE 1 - CERAMIC WASTE-BASED REINFORCED MORTAR FOR  
APPLICATION IN SWINE MATERNITY FACILITIES - MECHANICAL  
STRENGTH AND THERMAL CONDUCTIVITY OF PANELS**

Elaborado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2018).

## RESUMO

Os indústria global de suínos e os sistemas intensivos de produção mantêm suas atividades condicionadas às elevadas demandas do mercado consumidor, demandando rápido desenvolvimento tecnológico, gerando uma série de desafios a serem superados, especialmente em instalações de maternidade. A ineficiência do sistema homeotérmico dos leitões recém-nascidos, intrínseco a esses indivíduos, e o choque térmico ao qual são expostos em instalações de maternidade são responsáveis por baixo nível de conforto térmico e, por vezes, taxas substancialmente elevadas de mortalidade, impactando de forma direta o custo e a eficiência na produção. Visando à promoção do ambiente térmico ideal em instalações de maternidade na suinocultura, materiais tecnológicos podem ser desenvolvidos para o emprego como divisórias e cobertura das instalações de escamoteadores nas maternidades de suínos, em especial materiais classificados como subprodutos do processo de produção industrial. O objetivo deste trabalho foi a determinação da condutividade térmica e propriedades mecânicas de argamassas sustentáveis dosadas com resíduo cerâmico para aplicação em instalações de maternidade na suinocultura. A metodologia dos ensaios envolveu a fabricação de amostras no formato de placas para os ensaios de condutividade térmica. Para os ensaios de resistência mecânica foram empregadas amostras cilíndricas e também no formato de barras. O processo de dosagem das argamassas foi realizado a partir da substituição de agregado natural por resíduo cerâmico, com teores de 0%, 12%, 25%, 37% e 50%, designado AN, e também argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, variando a dosagem de água, designada AC. O traço 1:4 em volume foi utilizado nas dosagens das argamassas, e a quantidade de água foi determinada nos limites para argamassas na condição plástica e seca. Os resultados indicaram o refinamento da microestrutura da matriz cimentícia para um teor de substituição de 25% de agregado natural por resíduo cerâmico, dosagem AN-25%. Para dosagem AN, a análise estatística por regressão para resistência mecânica máxima para os esforços de tração na flexão indicou teor máximo de substituição de agregado natural por resíduo cerâmico de 26,2%; e para dosagem AC, dosada com 100% de resíduo cerâmico, a análise de regressão indicou relação água/cimento ideal de 1,09. Verificou-se também uma demanda maior de água para argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, dosagem AC, quando comparada à argamassa por substituição, dosagem AN. O resultado baixo de condutividade térmica das amostras das argamassas estudadas foi obtido na argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, e menor relação água/cimento, de 0,90, designada AC-0,90.

**Palavras-chave:** Maternidade suína; resíduos cerâmicos; propriedades da argamassa.

## ABSTRACT

The global swine industry and intensive production systems are driven by the high demands of the consumer market, which need rapid technological advancements and present a series of challenges, particularly in maternity facilities. The inefficiency of the homeothermic system of newborn piglets, inherent to these individuals, and the thermal shock they experience in maternity facilities are responsible for a low level of thermal comfort and, at times, substantially elevated mortality rates, directly impacting production costs and efficiency. To promote the ideal thermal environment in swine maternity facilities, technological materials can be developed for use, such as partitions and coverings in the creep areas of these facilities, especially materials classified as by-products of industrial production processes. This study aimed at determining the thermal conductivity and mechanical properties of sustainable mortars mixed with ceramic waste for application in swine maternity facilities. The testing methodology involved the fabrication of plate-shaped samples for thermal conductivity tests. For mechanical strength tests, cylindrical and bar-shaped samples were used. The mortar mix designs were created by replacing natural aggregate with ceramic waste at levels of 0%, 12%, 25%, 37%, and 50%, labeled as AN, and a mortar mixed with 100% ceramic waste, varying the water dosage, labeled as AC. The 1:4 mix ratio by volume was used in the mortar designs, and the water content was determined within the limits for mortars in plastic and dry conditions. The results indicated a refinement of the cementitious matrix microstructure at a 25% replacement level of natural aggregate with ceramic waste, labeled AN-25%. For the AN mix, statistical regression analysis for maximum mechanical strength under flexural tension indicated a maximum replacement level of natural aggregate with ceramic waste of 26.2%; and for the AC mix, mixed with 100% ceramic waste, regression analysis indicated an ideal water/cement ratio of 1.09. Additionally, a higher water demand was observed for mortar mixed with 100% ceramic waste, labeled AC, compared to the substitution mortar, labeled AN. The lowest thermal conductivity result for the studied mortar samples was obtained in the mortar mixed with 100% ceramic waste and a lower water/cement ratio of 0.90, labeled AC-0.90.

**Keywords:** Swine maternity; ceramic waste; mortar properties.

## 1 INTRODUÇÃO

Na suinocultura o índice de mortalidade no período perinatal é elevado, varia entre 11% e 32% e é dependente dos processos relacionados às interações envolvendo as condições térmicas do ambiente, capacidade fisiológica dos leitões e, também, dos atributos maternos da porca (Wheeler; Bøe, 2009; Andersen; Haukvik; Bøe, 2009; Vasdal; Wheeler; Bøe, 2009; Morello *et al.*, 2019; Nuntapaitoon *et al.*, 2019).

As instalações de maternidade são formadas por espaços denominados de celas de maternidade, formadas por uma área central ocupada pela porca e outras três áreas de acesso exclusivo dos leitões, uma delas denominada de escamoteador, especificamente, área abrigada, protegida e geralmente dotada de uma fonte de calor usualmente obtida a partir de lâmpadas incandescentes ou tapetes térmicos (Farmer; Edwards, 2022).

O grande desafio na promoção e manutenção térmica ideal em instalações de maternidade ocorre a partir da proximidade das áreas ocupadas por porcas lactantes e leitões recém-nascidos, uma vez que apresentam demandas térmicas distintas, ou seja, temperaturas mais baixas para porcas lactantes e temperaturas mais elevadas para leitões recém-nascidos (Wheeler; Bøe, 2009; Vasdal *et al.*, 2010; Brandt *et al.*, 2012; Schild *et al.*, 2020; Farmer; Edwards, 2022).

A promoção e a manutenção térmica desses dois microclimas nessas regiões muito próximas têm o objetivo de prevenir uma série de problemas relacionados à mortalidade perinatal a partir da evolução do quadro de hipotermia e, também, problemas decorrentes do estresse da porca a partir da elevação da temperatura, impactando na redução da produção do leite, na ingestão de alimentos, entre outros (Zhang; Xin, 2001; Lane *et al.*, 2020; Jorquera-Chavez *et al.*, 2021).

O mecanismo fisiológico homeotérmico dos leitões recém-nascidos, responsável pela promoção e manutenção do conforto térmico, caracteriza-se por apresentar baixa eficiência, uma condição intrínseca a esses indivíduos. Nesse sentido, a sobrevivência dos leitões em instalações de maternidade passa a ser dependente da oferta adicional de calor, garantindo não só a manutenção termorregulatória dos indivíduos, mas também atenuar as consequências decorrentes da evolução do quadro de hipotermia (Carroll *et al.*, 2012; Barros; Rossi; Souza, 2018; Leonard *et al.*, 2021; Hewitt; Kemp; Millet, 2022).

A baixa habilidade adaptativa dos leitões no ambiente extrauterino conduz à evolução do quadro de hipotermia, que corresponde a 80% das mortes, preferencialmente ocorrendo entre

o primeiro e o quinto dia de vida (Chinn *et al.*, 2021; Peltonimi *et al.*, 2021; Mirkov *et al.*, 2021, Zakari; Akefe; Uchendu, 2021).

O limite de temperatura mínima crítica inferior para exclusão da condição de estresse por frio aos leitões recém-nascidos após o parto, a fim de prevenir o início do quadro de hipotermia, seria de 34,0 °C, 34,6 °C 34,8 °C (Herpin; Damon; Dividich, 2002; Andersen; Haukvik; Bøe, 2009; Carroll *et al.*, 2012).

A ineficiência do mecanismo homeotérmico dos leitões recém-nascidos está associada às condições biológicas e fisiológicas dos indivíduos ou, também, de forma indireta, à ineficiência das técnicas de manejo implementadas na promoção e manutenção da temperatura ideal em instalações de maternidade.

Em relação aos fatores biológicos, têm-se as condições nutricionais dos leitões ainda no útero da matriz, que são dependentes exclusivamente da habilidade gestacional da porca. Imediatamente após o parto, o principal fator de risco está relacionado ao balanço energético negativo dos recém-nascidos e sua baixa capacidade fisiológica de produção de glicose, observando, nesse caso, a dependência da ingestão de colostro como fonte importante de energia nesse período (Hole *et al.*, 2019; Nuntapaitoon *et al.*, 2019).

Um outro fator importante é a baixa quantidade de tecido adiposo marrom dos leitões recém-nascidos, responsável pelo armazenamento de energia na forma de gordura e produção de calor por meio da ativação de proteínas (Herpin; Damon; Dividich, 2002).

A brusca queda de temperatura experimentada pelos leitões na maternidade da suinocultura também é um fator de grande impacto. Inicialmente, acondicionados e protegidos termicamente ainda no útero da porca, os leitões mantêm suas temperaturas estáveis, dependendo, outrossim, das condições de conforto da porta (Santiago *et al.*, 2019; Sartor *et al.*, 2021).

Ao nascerem, a temperatura em instalações de maternidade é sempre mais baixa que a temperatura dos indivíduos, ocorrendo nesse período uma taxa crítica de transferência de calor dos leitões para o meio ambiente (Gondret *et al.*, 2020; Farmer, 2020; Hobbins *et al.*, 2021).

Nesse momento, a quantidade substancial de fluidos da placenta depositada na superfície corporal dos indivíduos potencializa a perda de calor dos leitões, dificultando ainda mais a estabilidade térmica por parte dos indivíduos (Andersen *et al.*, 2009; Schmitt *et al.*, 2021).

O elevado impacto térmico nesse momento, com essas características, demanda a oferta de um ambiente capaz de proporcionar uma temperatura mais elevada para a leitegada, próxima das suas condições de conforto, denominado de escamoteador, que também tem a função de

abrigar e proteger os leitões evitando a mortalidade por esmagamento. A promoção do ambiente térmico ideal em instalações de maternidade dos suínos é fundamental, pois somente a resposta fisiológica térmica por parte dos leitões recém-nascidos não atende suas necessidades (Santiago *et al.*, 2019).

Na condição de recém-nascidos os leitões apresentam limitações metabólicas, restrições na imunidade adaptativa, a pelagem é do tipo esparsa de baixa eficiência na manutenção térmica, entre outros. A geração de calor e o conforto térmico dos leitões nessas condições são dependentes do sistema fisiológico da termogênese, promovendo tremores realizados por músculos esqueléticos com a finalidade de elevar a temperatura corporal (Gondret *et al.*, 2020; Farmer, 2020).

Tecnologias têm sido desenvolvidas a partir de resultados de pesquisas, visando à promoção do ambiente térmico ideal por meio da melhoria da eficiência dos escamoteadores em instalações de maternidade na suinocultura (Schimtt *et al.*, 2021).

Pesquisas têm explorado a utilização de materiais alternativos, de baixo custo, provenientes de processos industriais, classificados como resíduos ou subprodutos, e estes materiais apresentam potencial emprego na fabricação de partes constituintes de instalações de maternidade, notadamente como placas divisórias e de cobertura em escamoteadores. Outro caminho a ser seguido é a busca por fontes de calor mais eficientes, com baixo consumo energético, em relação ao projeto das instalações, e a indicação do *layout* mais adequado para a permanência dos leitões recém-nascidos por longos períodos (Lin; Xia; Wu, 2017; Lu *et al.*, 2018; Barros; Rossi; Souza, 2018; Damasceno *et al.*, 2019; Morello *et al.*, 2019).

A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, empresa fundada em 1936, de grande prestígio nacional e internacional, responsável por desenvolver estudos, aplicações, e também regulamentar no Brasil, todas as atividades industriais relacionadas a fabricação, ou utilização do material cimento no desenvolvimento de novos produtos, em especial, indústrias produtoras de estruturas pré-fabricadas na condição de placas modulares, publicou um importante informativo técnico sobre a utilização de placas armadas e conformadas com argamassa (ABCP, 2024).

O informativo técnico BT-126, publicado pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, trata da versatilidade na utilização de placas armadas pré-fabricadas conformadas com argamassa na execução das construções, especialmente para aplicações em construções rurais, na fabricação de galpões, silos, reservatórios, estábulos, bebedouros, tanques de banho dos animais, entre outros (ABCP, 1996).

Os processos industriais contemporâneos são responsáveis por gerar elevadas quantidades de materiais classificados como resíduos industriais, ou subprodutos do processo de produção. Sua produção é elevada e potencializada a partir de vários parâmetros, em especial a elevação das taxas relacionadas ao desenvolvimento populacional.

No local de geração, os resíduos industriais possuem baixo valor agregado, e qualquer possibilidade de implementação de atividades relacionadas ao reaproveitamento ou reuso é considerada como fonte de geração de despesas, impactando de forma direta o valor do produto final produzido (Zanelli *et al.*, 2021).

Nos dias atuais, o interesse em estudar os resíduos gerados nas indústrias cerâmicas, em grande parte, mantém relação direta com a implementação das certificações ambientais, como a norma ISO 17889-1:2021 *Ceramic Tiling Systems - Sustainability for Ceramic Tiles and Installation Materials*. Nesse sentido, essas certificações se tornaram obrigatórias em muitos países para regulamentar a comercialização desses materiais em âmbito mundial (Souza; Scur; Hilsdorf, 2018; Silvestri *et al.*, 2020; Gautam *et al.*, 2021; Zanelli *et al.*, 2021).

Os parâmetros de sustentabilidade são fomentados em diversos setores da produção industrial e também nas mais diversas áreas da cadeia produtiva. Tendo em vista o elevado consumo de agregados naturais utilizados na fabricação de materiais de base cimentícia, órgãos internacionais como a *International Energy Agency – IEA*, sediada em Paris, recomendam a utilização de materiais alternativos na condição de agregados graúdos e miúdos, a fim de minimizar os impactos ambientais crescentes na produção de concretos e argamassas (Ray *et al.*, 2021; IEA, 2022).

Os resíduos provenientes do processo de fabricação industrial de materiais cerâmicos referentes à produção de louças sanitárias e revestimento cerâmico do tipo porcelanato são produtos que, quando processados, apresentam grandes possibilidades de serem utilizados nos processos de dosagem de materiais de base cimentícia, como argamassas e concretos (Siddique *et al.*, 2019).

O emprego desses resíduos na produção de materiais cimentícios está relacionado a fatores importantes, como: minimizar os impactos ambientais em referência à exploração insustentável dos agregados naturais; presença elevada dos compostos de silicatos e aluminatos em sua composição química; a própria qualidade do material cerâmico referente à propriedade térmica e resistência mecânica; e a possibilidade de moagem e obtenção de materiais com granulometrias específicas (Zegardło; Szelağ; Ogrodnik, 2018; Meng; Ling; Mo, 2018; Silva *et al.*, 2022).

Em linhas gerais, materiais cerâmicos são fabricados a partir de argilas em uma série de etapas complexas, em que todo o processo permite a obtenção de um material com excelentes propriedades (Torkittikul; Chaipanich, 2010; Sadek; Nouhy, 2014; Siddique *et al.*, 2019).

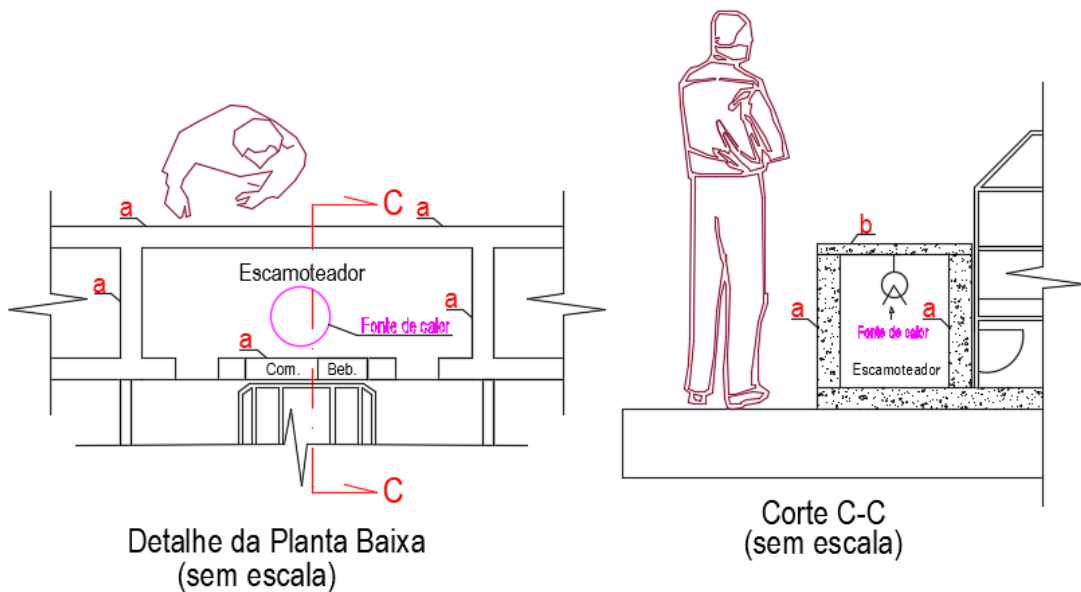
Dadas as demandas térmicas específicas em instalações de maternidade de suínos por parte dos leitões recém-nascidos, e as questões aventadas relacionadas à sustentabilidade na cadeia produtiva industrial de materiais cerâmicos, em especial fabricação de louças cerâmicas sanitárias, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação de uma argamassa armada fabricada com resíduos cerâmicos para fabricação de chapas a serem usadas na manufatura modular de escamoteadores, com boas características de isolamento térmico e aptas a atender às solicitações de esforços de resistência mecânica em instalações de maternidade na suinocultura.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido mediante parcerias estabelecidas entre o COAMBI – Grupo de Pesquisa em Construções e Ambiência em Biosistemas, da Universidade Federal de Lavras – MG; Laboratório de Tecnologia do Concreto e Argamassa, do Instituto Federal do Sul de Minas – MG; Laboratório de Tecnologia dos Materiais, da Universidade Federal de Lavras – MG; Laboratório de Caracterização de Microestrutura, da Universidade Federal de São Carlos – SP; e também com a parceria da Indústria de Materiais Refratários TOGNI S/A, fundada em 1910, sediada em Poços de Caldas – MG.

Visando atender aos objetivos do trabalho, foram propostas placas de argamassa armada, com 2,5 cm de espessura, 24,0 cm de largura e 24,5 cm de comprimento, com a proposta de substituírem as divisórias no interior das celas de maternidade (“a” da Figura 1) e tampa do escamoteador (“b” da Figura 1). As placas, quando produzidas em série (ou em maior quantidade), terão custo reduzido para a fabricação modular das celas de maternidade. Para atender a esse objetivo, é necessário que as placas apresentem características mínimas de isolamento térmico e resistência mecânica. Nos tópicos a seguir é descrita a metodologia empregada para o teste das placas propostas.

Figura 1 - Representação esquemática de uma cela de maternidade de suinocultura típica, sendo “a” as divisórias e “b” a tampa (ou cobertura) do escamoteador (sem escala).



Fonte: Do autor (2024).

## 2.1 Materiais utilizados: cimento, pó de brita e resíduo cerâmico

As dosagens das argamassas utilizadas nos ensaios para obtenção dos corpos de prova foram produzidas utilizando como aglomerante cimento do tipo CPV ARI de alta resistência inicial, em conformidade com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 16.697 (ABNT, 2018b), por conter quantidades elevadas de clínquer. Como agregado miúdo utilizou-se agregado natural do tipo pó de brita, conforme indicado na Figura 2 (a), obtido na região da cidade de Pouso Alegre – MG, Brasil, e também foi utilizado resíduo cerâmico originado do processo industrial referente à fabricação de louças cerâmicas sanitárias, conforme indicado na Figura 2 (b). O resíduo foi coletado na Indústria de Materiais Refratários TOGNI S/A, sediada na cidade de Poços de Caldas – MG, Brasil.

Figura 2 - Agregados utilizados nas dosagens das argamassas.



Fonte: Do autor (2024).

O resíduo cerâmico proveniente da fabricação de louça cerâmica sanitária disponibilizado pela indústria é originado a partir do processamento por moagem de peças que foram descartadas no final da linha de produção, posterior à etapa de queima. A moagem do resíduo ocorreu na própria planta da empresa, e foi disponibilizado apresentando 67,81% das partículas, com diâmetro  $\leq 0,30$  mm.

## 2.2 Caracterização química dos materiais

A caracterização química do aglomerante, do pó de brita e do resíduo cerâmico foi realizada no Laboratório de Caracterização Estrutural (LCE) da Universidade Federal de São Carlos – SP, Brasil. A caracterização química do aglomerante, do pó de brita e do resíduo cerâmico foi realizada por análise química por fluorescência de raios X. Também foi realizada análise química por difração de raios X do aglomerante.

### 2.3 Caracterização física dos materiais

Para o aglomerante, foram determinados a resistência mecânica à compressão, conforme procedimentos descritos na norma NBR 7215 (ABNT, 2019), os tempos de pega, inicial e final, conforme norma NBR 16.607 (ABNT, 2018a) e a densidade de massa unitária e específica, conforme norma NBR 16.605 (ABNT, 2017).

Para o pó de brita e o resíduo cerâmico, foram determinadas a densidade de massa específica e a densidade de massa unitária, conforme a norma NBR 16.972 (ABNT, 2021c), e distribuição granulométrica das partículas, diâmetro máximo e módulo de finura, conforme norma NBR 7211 (ABNT, 2022a). A taxa de absorção de água e o teor de material pulverulento foram determinados conforme as normas NBR 16.916 (ABNT, 2021b) e NBR 16.973 (ABNT, 2021d).

Análises utilizando técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) também foram utilizadas para caracterização dos materiais. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização Estrutural (LCE) do departamento de Engenharia dos Materiais – DMA, da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. O equipamento utilizado nas análises de microscopia foi o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Magellan 400 L FEG (*Field Emission Gun*), de extrema alta resolução que permite resolução subnanométrica e possui sistema de microanálise por EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*).

### 2.4 Dosagem das argamassas

O processo de dosagem das argamassas teve como objetivo obter amostras a partir da variação da quantidade de água disponível na matriz da argamassa. Com isso, tem-se também a variação da porosidade das amostras, permitindo a obtenção de resultados que possibilitassem melhor compreensão das propriedades de resistência mecânica e condutividade térmica, para o intervalo da relação água/cimento variando entre 0,61 e 1,35.

Em relação às dosagens das argamassas, utilizou-se como referência o traço em volume para argamassa T = 1:4 (cimento e agregado), conforme as normas que estabelecem a dosagem em volume das argamassas NBR-9817 (ABNT, 1987-confirmada 2022b) e BSI 6697 (2019) - *British Standards Institution*), utilizadas também pelos autores Murthi *et al.* (2021), Gupta e Vyas (2018), Torres *et al.* (2020), Matias, Faria e Torres (2014), Geraldo, Fernandes e Camarini (2021).

Para a avaliação da influência de resíduo cerâmico nas propriedades das argamassas no traço em volume 1:4, foram propostas duas dosagens de argamassa: dosagem com agregado natural, designada AN; e dosagem utilizando resíduo cerâmico como agregado, designada AC. Para cada dosagem, foram realizadas cinco composições distintas. Os acrônimos AN e AC referem-se ao agregado natural e agregado cerâmico, respectivamente.

As cinco composições das amostras das argamassas foram determinadas considerando os parâmetros de plasticidade para intervalos de classe das argamassas variando da condição plástica para condição seca, entretanto, limitando-se aos eventos referentes à perda de coesão ou promoção da segregação, como apregoa a norma NBR-12.041 (ABNT, 2012a).

A dosagem das argamassas AN ocorreu a partir da relação água/cimento 0,61 e da substituição direta do agregado miúdo natural, pó de brita, por resíduo cerâmico, nos teores 0%, 12%, 25%, 37% e 50%, conforme metodologia realizada nos trabalhos de Matos *et al.* (2021), Awoyera *et al.* (2017), Zhang *et al.* (2023), Kopuri, Priyadharshani e Sah (2023), Tutkun, Beglarigale e Yazici (2022).

Para a dosagem das argamassas AC, utilizaram-se 100% de resíduo cerâmico como agregado miúdo, variando somente a quantidade de água, para relação de água/cimento 1,35, 1,20, 1,12, 1,05, e 0,90.

## **2.5 Propriedades das argamassas no estado fresco**

### **2.5.1 Teor de ar incorporado**

No estado fresco, as argamassas foram avaliadas em termos de teor de ar incorporado – método pressométrico – utilizando equipamento específico para medições em argamassa, conforme pode ser observado na Figura 3, com certificação de calibração Conf. EN 113-2, 459-2, da empresa Solotest, segundo a metodologia recomendada na norma NBR-16.887 (ABNT, 2020).

Figura 3 - Equipamento para determinação do ar incorporado em argamassas.



Fonte: Do autor (2024).

### **2.5.2 Densidades de massa unitária das argamassas – DMU**

As densidades de massa unitária das argamassas na condição fresca foram determinadas conforme norma NBR-13.278 (ABNT, 2005a).

## **2.6 Propriedades das argamassas no estado endurecido**

### **2.6.1 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade**

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado no 28º dia, conforme a norma NBR-9779 (ABNT, 2012b); e o coeficiente de capilaridade conforme a norma NBR-15.259 (ABNT, 2005c).

### **2.6.2 Resistência mecânica à tração na flexão**

A propriedade de resistência mecânica para o ensaio de tração na flexão foi realizada no 28º dia, conforme a norma NBR-13.279 (ABNT, 2005b). As amostras foram ensaiadas em uma prensa com aplicação eletrônica de carga, servo automático e velocidade controlada, conforme especificação na mesma norma.

A análise estatística para os dados de resistência mecânica à tração na flexão foi conduzida a partir do delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5 x 3, com 6 repetições. Para a argamassa AN foram considerados 5 níveis de porcentagem de resíduo cerâmico AN (0%, 12%, 25%, 37% e 50%) e 3 idades de cura (7, 14 e 28 dias). Para a argamassa

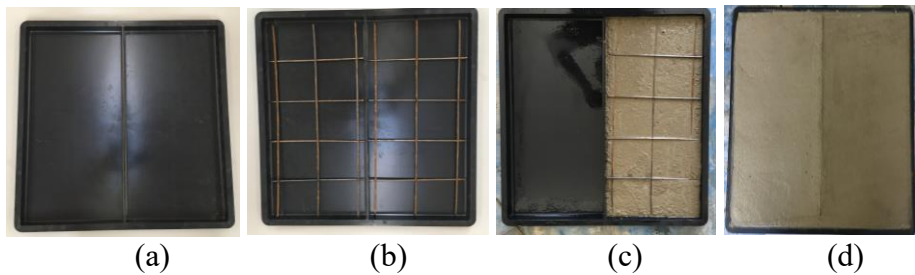
AC foram consideradas 5 relações água/cimento (0,90, 1,05, 1,12, 1,20 e 1,35) e 3 idades de cura (7, 14 e 28 dias).

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o Teste F ( $p < 0,05$ ). Quando houve efeito significativo para o fator quantitativo, aplicou-se a análise de regressão ( $p < 0,05$ ). As análises foram realizadas com a utilização do *software* R (R Core Team, 2023).

### 2.6.3 Condutividade térmica das argamassas

As propriedades térmicas das argamassas foram avaliadas após 60 dias em amostras na fôrma de placas, confeccionadas seguindo as normas NBR-11.173 (ABNT, 1990) e NBR 13.070 (ABNT, 2021a), conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Conformação das placas para o ensaio térmico.



Fonte: Do autor (2024).

A moldagem das placas foi realizada utilizando fôrmas plásticas, com dimensões de 24,0 cm x 49,0 cm h-2,5 cm. Para conformação das placas, inicialmente untou-se o molde com Desmol, produto específico para essa finalidade. Na sequência, aplicou-se uma camada de argamassa até a metade da altura da fôrma, posicionou-se a malha de ferro centralizando-a na fôrma e, finalmente, preencheu-se todo o restante com argamassa até atingir o nível superior da fôrma. A malha de ferro utilizada foi do tipo soldada, com espaçamento de 10 cm x 10 cm e bitola de 6 mm.

Após 24 horas da moldagem das placas, as amostras foram desmoldadas e submetidas ao processo de cura por imersão por 28 dias. Após o processo de cura, a placa foi cortada ao meio, apresentando dimensões finais de 24,0 cm x 24,5 cm.

A condutividade térmica das amostras foi realizada sistematicamente conforme metodologia e equipamento propostos por Mendes *et al.* (2021), indicados na Figura 5.

O ensaio de condutividade térmica foi realizado a partir da leitura de três termopares: um localizado na câmara inferior, próximo da amostra; outro na câmara superior, também

próximo à amostra; e o terceiro localizado na parte externa do equipamento, para leitura da temperatura ambiente. A leitura das temperaturas na amostra foi realizada no momento em que se verificou a estabilização da temperatura medida a partir do termopar localizado na câmara superior, ao final do período de 3h30min. Conforme proposto no trabalho de Mendes *et al.* (2021), a radiação da lâmpada foi aferida por um medidor de radiação solar *Instrutherm* modelo MES-100 até o valor de  $270 \text{ W m}^{-2}$ , e a taxa de aquecimento foi de  $274,15 \text{ K m}^{-1}$ .

A condutividade térmica das amostras foi calculada a partir da Equação 1 (Mendes *et al.*, 2021):

$$\lambda = (P \cdot E) / \Delta T \quad \text{(Equação 1)}$$

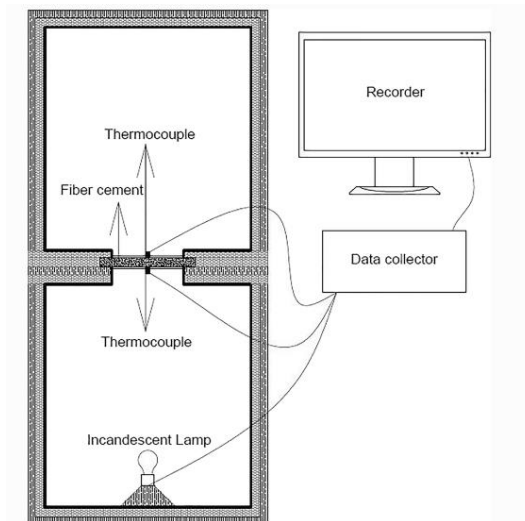
$\lambda$  = Condutividade térmica ( $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

$P$  = Radiação por área medida ( $\text{W m}^{-2}$ )

$E$  = Espessura do corpo de prova (m)

$\Delta T$  = Variação de temperatura observada entre as faces dos corpos de prova (K)

Figura 5 - Equipamento para determinação do coeficiente de condutividade térmica das amostras.



Fonte: Mendes *et al.* (2021, p. 42740).

#### 2.6.4 Determinação da força máxima aplicada na tampa do escamoteador

Para a determinação da capacidade de resistência máxima aplicada na placa, dosada com a argamassa que apresentou resultados mais baixos de condutividade térmica, foi utilizado um exemplo de escamoteador com dimensões reais.

Levando-se em consideração as configurações das posições das placas na cela de maternidade, conforme pode ser observado na Figura 1, a placa considerada com maior potencial de solicitação de esforços seria aquela empregada como tampa (ou cobertura) do escamoteador (“b” da Figura 1), local onde pode ocorrer o peso de um homem, em pé, posicionado no centro da placa. A seguir é descrita a metodologia empregada no presente trabalho para avaliar a resistência mecânica dessa placa.

Inicialmente, identificou-se a amostra de argamassa que apresentou o menor resultado de condutividade térmica. Em seguida, realizou-se o ensaio de resistência mecânica à tração na flexão na placa dosada com essa argamassa, e determinou-se a força máxima aplicada no momento de rompimento da amostra, utilizando a máquina universal, com suporte de três apoios, vão central de 15,0 cm e amostra com dimensões de 24,0 cm x 24,5 cm.

Na sequência, determinou-se o momento fletor máximo no meio do vão da placa, Equação 2 (Carvalho; Figueiredo Filho, 2007), o momento de inércia da placa a partir da Equação 3 (Carvalho; Figueiredo Filho, 2007) e a tensão máxima para esforço de flexão pura na placa, Equação 4 (Carvalho; Figueiredo Filho, 2007).

$$M = F \cdot d \quad (\text{Equação 2})$$

M = Momento fletor no centro da viga (kN m)

F = Força reativa nos apoios (kN)

d = Distância do apoio até a aplicação da carga no centro da viga (m)

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (\text{Equação 3})$$

I = Momento de inércia (m<sup>4</sup>)

b = Largura da placa (m)

h = Altura da placa (m)

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (\text{Equação 4})$$

$\sigma$  = Tensão axial (normal) (kN m<sup>-2</sup>)

M = Momento fletor máximo (kN m)

y = Espessura da placa dividido por dois (m)

I = Momento de inércia (m<sup>4</sup>)

A partir do cálculo da tensão máxima aplicada na placa de 24,0 cm x 24,5 cm, os cálculos foram novamente realizados, entretanto, utilizando a placa com o tamanho real da tampa de escamoteador, com dimensões de 1,80 m x 0,60 m, área de 1,08 m<sup>2</sup>, em referência às práticas implementadas nos sistemas intensivos de criação de suínos para gestações com grandes ninhadas, indicadas no trabalho de Fels, Sange e Kemper (2016).

Dessa forma, o valor da força máxima obtida nos cálculos deve ser menor que a força aplicada em serviço, de 178,57 kg, correspondendo à soma do peso de uma pessoa pesando 85,0 kg, segurando um saco de ração de 50 kg, mais o peso próprio da placa, de densidade de 1.614 kg m<sup>-3</sup>, determinada no presente estudo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização química dos materiais

##### 3.1.1 Caracterização química do aglomerante

Os resultados das análises químicas do aglomerante indicando os principais compostos foram realizados por difração de raios X e são apresentados na Tabela 1. A análise realizada por fluorescência de raios X indicando os principais elementos químicos é apresentada na Tabela 2.

Tabela 1 - Análise química do cimento por difração de raios X.

Compostos químicos	Fórmula química	(%)
C <sub>3</sub> S	Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub>	43,35
C <sub>2</sub> S	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	9,95
C <sub>3</sub> A Ortorrômbico	Na <sub>2</sub> Ca <sub>8</sub> Al <sub>16</sub> O <sub>18</sub>	2,47
C <sub>3</sub> A Cúbico	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	1,31
C <sub>4</sub> AF	Ca <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>10</sub>	3,43
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	8,51
Portlandita	Ca(OH) <sup>2</sup>	1,59
Periclásio	MgO	1,63
CaO Livre	CaO	0,26
Outros		27,50

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 2 - Análise química do cimento por fluorescência de raios X.

Elemento químico	(%)
Ca	80,90
Si	6,53
Fe	4,71
S	2,60
Al	2,59
K	1,40
Sr	0,70
Ti	0,28
Mn	0,14
Outros	0,16

Fonte: Do autor (2024).

A análise por difração de raios X indica uma quantidade elevada dos compostos de silicato,  $C_3S$  e  $C_2S$ , o que já era esperado, uma vez que são compostos responsáveis na liberação dos principais íons no processo de hidratação da partícula do cimento. A análise por fluorescência de raios X indica uma quantidade elevada de cálcio, Ca, o que também já era esperado, por se tratar do elemento químico presente em grande quantidade nas principais estruturas formadas na hidratação do cimento, denominadas de silicato de cálcio hidratado, hidróxido de cálcio, trissulfoaluminato e monossulfoaluminato de cálcio hidratado.

### 3.1.2 Caracterização química dos agregados

A análise química por fluorescência de raios X do resíduo cerâmico e do pó de brita é indicada na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise química do resíduo cerâmico e do pó de brita.

Elemento químico (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	ZnO	ZrO <sub>2</sub>	PO	SO <sub>3</sub>	Outros
Resíduo cerâmico	48,38	19,52	6,09	4,95	9,68	0,48	1,76	2,24	5,38	1,15	0,00	0,37
Pó de brita	49,22	15,77	13,31	8,47	7,69	1,76	0,98	2,45	0,05	0,05	0,09	0,17

Fonte: Do autor (2024).

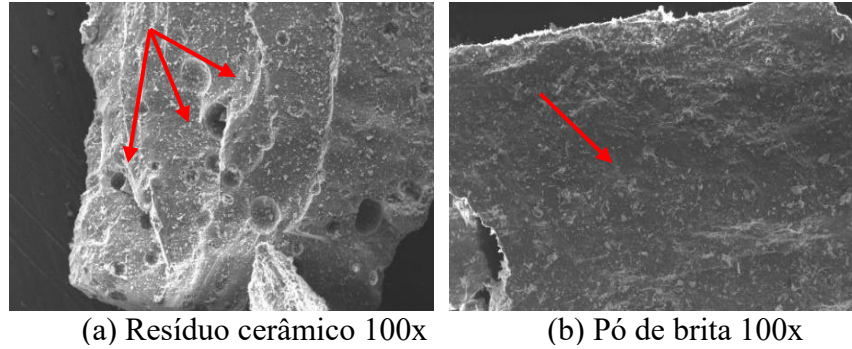
### 3.2 Caracterização física dos materiais

A análise por imagens realizada em ensaios de microscopia eletrônica de varredura do resíduo cerâmico, como pode ser observado na Figura 6 (a), mostra quantidade elevada de poros na região superficial, quando comparada com a análise realizada na superfície do pó de brita, indicado na Figura 6 (b).

Na pesquisa de Torkittikul e Chaipanich (2010), utilizando análise de microscopia eletrônica, os autores também verificaram essa condição de porosidade do resíduo cerâmico.

Vieira *et al.* (2016), Ray *et al.* (2022) e Silva *et al.* (2022) verificaram que porosidade superficial elevada no resíduo cerâmico estaria relacionada com a dosagem elevada de água e também aditivos incorporadores de ar para melhorar as características em termos de plasticidade, ambos presentes em grande quantidade na barbotina, principal material utilizado na fabricação das louças cerâmicas sanitárias.

Figura 6 - Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura do resíduo cerâmico (a) e do agregado natural do tipo pó de brita (b).



(a) Resíduo cerâmico 100x

(b) Pó de brita 100x

Fonte: Do autor (2024).

### 3.2.1 Caracterização física do aglomerante

O resultado para densidade de massa específica do aglomerante foi de  $3,15 \text{ g cm}^{-3}$ , e a densidade de massa unitária foi de  $1,41 \text{ g cm}^{-3}$ . Os resultados dos tempos de pega, inicial e final, foram de 3h50min e 6h30min, respectivamente. A resistência mecânica à compressão, nos períodos de 7, 14 e 28 dias, foi de 35,74 MPa, 43,75 MPa e 53,98 MPa, respectivamente.

### 3.2.2 Caracterização física dos agregados

#### 3.2.2.1 Densidade de massa específica e unitária

Os resultados para densidade de massa unitária e específica do resíduo cerâmico e do pó de brita são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Densidade de massa unitária e densidade de massa específica.

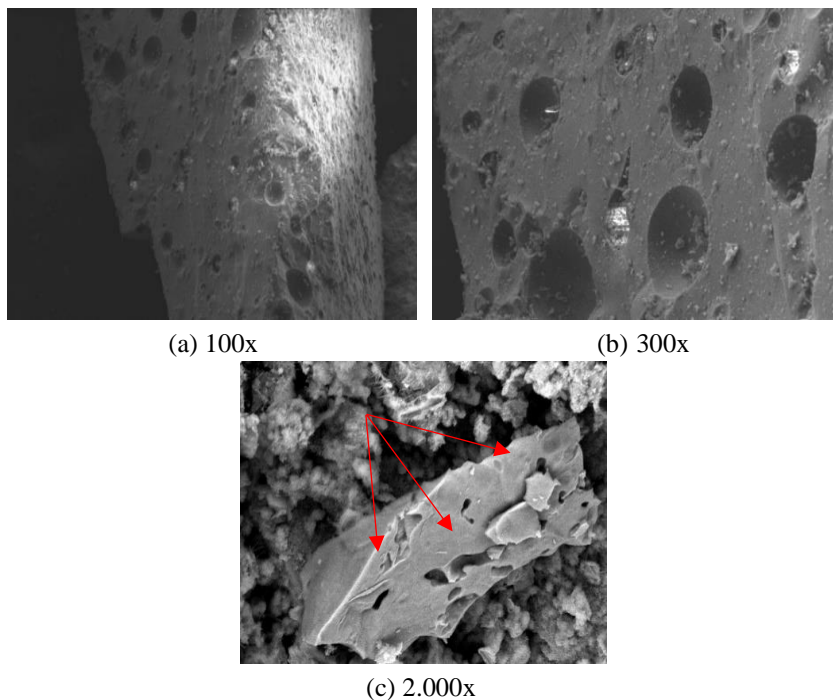
Caracterização física dos materiais		
Material	Densidade de massa unitária ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Densidade de massa específica ( $\text{g cm}^{-3}$ )
Pó de brita	1,54	2,71
Resíduo cerâmico	1,59	2,40

Fonte: Do autor (2024).

O resultado da densidade de massa específica (DME) do pó de brita apresentou valor mais elevado comparado ao valor obtido para o resíduo cerâmico. O resultado indica condição de porosidade menor para o agregado natural, o que já era esperado. A caracterização por

imagens dos agregados, conforme observado na Figura 7, corrobora a análise, evidenciando a porosidade do resíduo cerâmico.

Figura 7 - Imagens da superfície do resíduo cerâmico (a) e (b), mostrando a porosidade do resíduo cerâmico ampliado em 100x e 300x, e porosidade interna do resíduo cerâmico ampliado em 2.000x (c).



Fonte: Do autor (2024).

Nos trabalhos de Vieira *et al.* (2016) e Ray *et al.* (2022), foi possível verificar que natureza física do resíduo de louça cerâmica sanitária, fabricada a partir da barbotina, será sempre mais porosa comparada à natureza física dos agregados naturais, formados por longos períodos de tempo.

A caracterização por imagem, demonstrando a condição porosa do resíduo cerâmico, também foi verificada nos trabalhos de Tutkun, Beglarigale e Yazici (2022), e de forma esquemática por Zegardło, Szeląg e Ogrodnik (2018).

Para os resultados de densidade de massa unitária (DMU), observaram-se valores mais elevados para o resíduo cerâmico, demonstrando maior massa por unidade de volume, mesmo sendo de natureza mais porosa. Nesse sentido, o que pode ter influenciado esse resultado é a baixa condição granulométrica do resíduo cerâmico, comparada à granulometria relativamente maior do agregado natural. Essa condição pode ser verificada nos resultados do módulo de finura, teor de material pulverulento e no próprio gráfico de granulometria.

A elevada densidade de massa unitária do resíduo cerâmico está relacionada ao preenchimento do volume de vazios por partículas menores, permitindo uma quantidade maior do material em massa por unidade de volume, refinando o preenchimento da curva granulométrica.

Para densidade de massa específica do resíduo cerâmico (DME), Ray *et al.* (2021) obtiveram valores variando de 2,30 g cm<sup>-3</sup> a 2,41 g cm<sup>-3</sup>; Tutkun, Beglarigale e Yazici (2022) obtiveram 2,38 g cm<sup>-3</sup>; e Martínez, Rojas e Frías (2012) obtiveram 2,39 g cm<sup>-3</sup>.

Para densidade de massa específica do pó de brita (DME), Ray *et al.* (2022) obtiveram valor de 2,11 g cm<sup>-3</sup>; Gupta e Vyas (2018) obtiveram 2,46 g cm<sup>-3</sup>; e em Shen *et al.* (2018) os valores obtidos foram no intervalo de 2,74 a 2,90 g cm<sup>-3</sup>.

Para densidade de massa unitária do resíduo cerâmico (DMU), em Ray *et al.* (2021) os valores obtidos foram no intervalo de 1,23 a 2,26 e 2,36 g cm<sup>-3</sup>; já Vieira *et al.* (2016) obtiveram 1,32 g cm<sup>-3</sup>.

Para densidade de massa unitária do pó de brita (DMU), Ray *et al.* (2022) obtiveram 1,43 g cm<sup>-3</sup>; Rajput (2018) obteve 1,82 g cm<sup>-3</sup>; e em Shen *et al.* (2018) os valores obtidos foram no intervalo de 1,58 g cm<sup>-3</sup> a 1,63 g cm<sup>-3</sup>.

Comparando os resultados, verificou-se que a densidade de massa específica (DME) do resíduo cerâmico obtida nesta pesquisa, de 2,40 g cm<sup>-3</sup>, ficou próxima ao obtido por Rojas e Frías (2012), que obtiveram 2,41 g cm<sup>-3</sup>, e Ray *et al.* (2021), que obtiveram 2,39 g cm<sup>-3</sup>. Para o agregado natural do tipo pó de brita, a densidade de massa específica (DME) obtida nesta pesquisa, de 2,71 g cm<sup>-3</sup>, ficou próxima ao observado por Shen *et al.* (2018), de 2,74 g cm<sup>-3</sup>.

Para densidade de massa unitária (DMU), o valor obtido nesta pesquisa para o resíduo cerâmico, de 1,59 g cm<sup>-3</sup>, ficou próximo ao observado por Vieira *et al.* (2016), de 1,32 g cm<sup>-3</sup>; e para o agregado natural do tipo pó de brita, a densidade de massa unitária (DMU) obtida nesta pesquisa, de 1,54 g cm<sup>-3</sup>, ficou próxima ao observado por Shen *et al.* (2018), de 1,58 g cm<sup>-3</sup>.

### **3.2.2.2 Taxa de absorção de água**

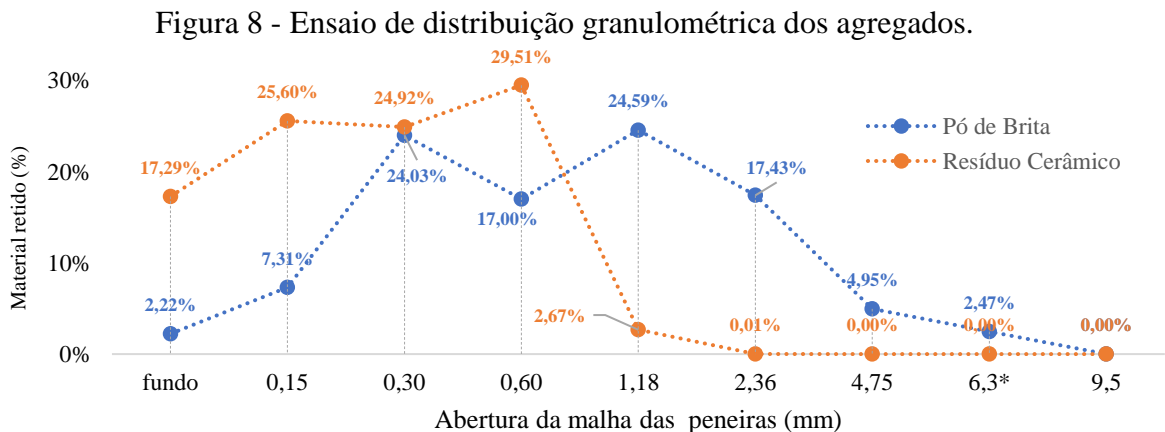
A taxa mais elevada para o ensaio da absorção de água foi observada para o resíduo cerâmico, de 7,91%, quando comparado ao agregado natural referente ao pó de brita, de 2,81%. Este resultado, pode estar associado à própria natureza física do resíduo cerâmico, em termos de baixa densidade, depreendendo-se que esse último é mais poroso.

Rashid *et al.* (2017) encontraram taxa de absorção de água de 17,39% para agregado de resíduo cerâmico, valor mais elevado quando comparado com o resultado obtido nesta pesquisa.

Para agregado natural, os mesmos autores obtiveram taxa de absorção de água de 2,66%, valor próximo ao obtido nesta pesquisa. Já no trabalho de Ray *et al.* (2022), a taxa de absorção de água para agregado natural foi de 3,30%. Zegardło, Szela e Ogrodnik (2018) encontraram uma taxa de absorção de água para agregado de resíduo cerâmico de 1,50%, valor mais baixo comparado ao obtido nesta pesquisa.

### 3.2.2.3 Distribuição granulométrica, módulo de finura e diâmetro máximo

A distribuição granulométrica dos agregados pode ser observada na Figura 8. Os diâmetros máximos foram de 2,36 mm e 6,30 mm, para resíduo cerâmico e pó de brita, respectivamente. O módulo de finura encontrado foi de 1,74 e 3,36, para resíduo cerâmico e pó de brita, respectivamente.



Fonte: Do autor (2024).

As características granulométricas dos materiais mantêm relação direta com o processo de moagem em termos de tempo de processamento, rotação da máquina, tipo de equipamento utilizado, quantidade de material processado, entre outros, influenciados também pela composição química dos materiais, propriedades de resistência mecânica, dureza, entre outros.

### 3.2.2.4 Teor de material pulverulento dos agregados

O resultado obtido para o teor de material pulverulento foi de 16,18% em massa para o resíduo cerâmico, e apenas 1,93% para o resíduo natural do tipo pó de brita. Nesse sentido, verificou-se uma condição granulométrica mais baixa para o resíduo cerâmico. Os gráficos da distribuição granulométrica, indicados na Figura 8, corroboram as análises, tendo em vista a

quantidade elevada de resíduo cerâmico retido nas peneiras abaixo da malha de abertura de 0,30 mm.

Para agregado natural do tipo pó de brita, He *et al.* (2022) obtiveram 4,90% de material pulverulento, valor mais elevado do que o obtido nesta pesquisa. Para o resíduo cerâmico, o valor encontrado por Pitarch *et al.* (2019) foi de 15,56%, valor similar ao obtido nesta pesquisa.

### 3.3 Dosagem das argamassas

As dosagens obtidas para as argamassas são apresentadas na Tabela 5 e Figura 9, para dosagem AN, e Tabela 6 e Figura 10, para dosagem AC.

A condição elevada de plasticidade para argamassa dosagem AN 0% foi alcançada com relação água/cimento 0,61. Para argamassa dosagem AC-1,35, utilizando os mesmos parâmetros de plasticidade, a relação água/cimento foi 1,35.

Tabela 5 - Dosagem das argamassas obtidas por substituição de agregado natural por resíduo cerâmico, designada AN.

Identificação das amostras	Agregados				Cimento (kg)	Água (kg)	Relação água/cimento
	Pó de brita (kg)	Resíduo cerâmico (kg)					
AN_0%	100%	1,786	0%	0,000	0,409	0,248	0,61
AN_12%	88%	1,571	12%	0,214	0,409	0,248	0,61
AN_25%	75%	1,339	25%	0,446	0,409	0,248	0,61
AN_37%	63%	1,125	37%	0,660	0,409	0,248	0,61
AN_50%	50%	0,893	50%	0,893	0,409	0,248	0,61

Fonte: Do autor (2024).

Figura 9 - Amostras dosagem AN.



AN-0 %

AN 50%

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 6 - Dosagem das argamassas utilizando 100% de agregado de resíduo cerâmico, designada AC.

Identificação das amostras	Resíduo cerâmico (kg)	Cimento (kg)	Água (kg)	Redução da água (%)	Relação água/cimento
AC_1,35	1,845	0,409	0,552	0,00%	1,35
AC_1,20	1,845	0,409	0,491	-11,05%	1,20
AC_1,12	1,845	0,409	0,458	-17,03%	1,12
AC_1,05	1,845	0,409	0,429	-22,28%	1,05
AC_0,90	1,845	0,409	0,368	-33,33%	0,90

Fonte: Do autor (2024).

Figura 10 – Amostras dosagem AC.



AC-1,35

AC-0,90

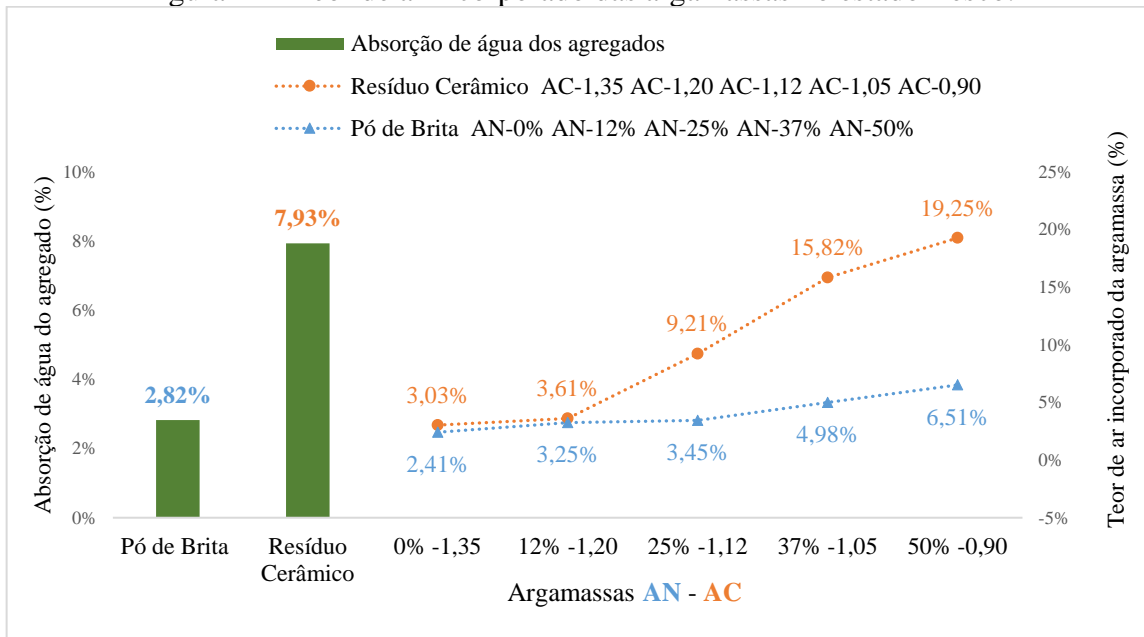
Fonte: Do autor (2024).

### 3.4 Propriedade das argamassas no estado fresco

#### 3.4.1 Teor de ar incorporado pelo método pressométrico

Os resultados para o ensaio que determina o teor de ar incorporado nas argamassas no estado fresco, comparado com a taxa de absorção de água dos agregados, são apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Teor de ar incorporado das argamassas no estado fresco.



Fonte: Do autor (2024).

Os resultados indicaram para dosagem AN o aumento do ar incorporado com a elevação do teor de resíduo cerâmico na argamassa, e o teor máximo de ar incorporado foi de 19,25% para argamassa AN-50%.

Para dosagem AC, dosada com 100% de resíduo cerâmico, com variação na dosagem de água, verificou-se a elevação do teor de ar incorporado com a diminuição da relação água/cimento. O teor máximo de ar incorporado foi de 6,51% para argamassa com relação água/cimento mínima de 0,90, para argamassa AC-0,90. Observando os resultados obtidos, depreende-se que o mecanismo de incorporação de ar nas argamassas apresentou condição similar para as duas propostas de dosagem, e a ocorrência pode estar relacionada à dependência da disponibilidade de água livre no sistema.

Para dosagem AN, o consumo de água do sistema está relacionado ao processo de substituição do agregado natural por resíduo cerâmico, evidenciado pelo resultado mais elevado para o ensaio de absorção de água do resíduo cerâmico. Para dosagem AC, a redução da água ocorre a partir da própria metodologia de dosagem na obtenção das amostras.

A redução da água no sistema faz com que a argamassa perca a condição da classe plástica e alcance a classe seca, ou áspera, de baixo índice de consistência, minimizando a condição de coesão dos materiais e elevando a quantidade de ar presente entre as partículas dos materiais envolvidos na composição das argamassas.

No trabalho de Lucas, Brito e Farinha (2016), os autores observaram que a elevação do teor de resíduo cerâmico sanitário na argamassa no estado fresco promoveu também a elevação

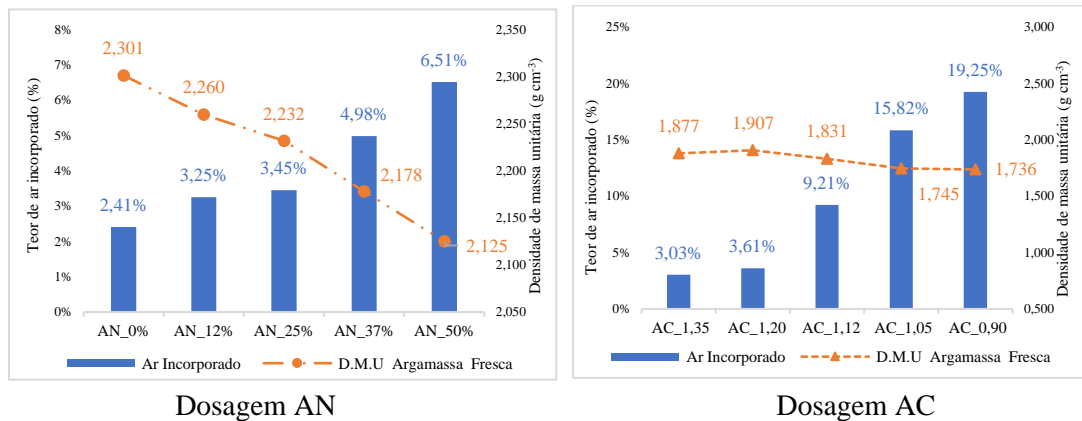
do teor de ar incorporado nas amostras, e sua ocorrência seria dependente da condição morfológica lamelar do resíduo de louças sanitárias.

No trabalho de Tutkun, Beglarigale e Yazici (2022), a condição morfológica angular também foi atribuída ao resíduo de louças cerâmicas sanitárias. Nos trabalhos de Oliveira *et al.* (2013) e de Jain, Gupta e Chaudhary (2022), o consumo da água disponível na matriz cimentícia, por agregados de baixa granulometria, foi apontado como fator responsável na incorporação de ar na argamassa para condição fresca.

### 3.4.2 Densidade de massa unitária da argamassa no estado fresco

Os resultados da densidade de massa unitária das argamassas no estado fresco, comparados aos resultados do teor de ar incorporado, são apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Densidade de massa unitária das argamassas na condição fresca (DMU), comparada ao teor de ar incorporado.



Fonte: Do autor (2024).

Os resultados de densidade de massa unitária foram mais elevados para argamassa dosagem AN comparada à argamassa dosagem AC. Isso já era esperado em razão da densidade mais elevada do pó de brita. Para a dosagem AN, a densidade de massa unitária diminuiu a partir da elevação do teor de resíduo cerâmico, sendo a densidade de massa unitária da argamassa AN-50% 8,25% menor que a densidade de massa unitária da argamassa AN-0%.

Para dosagem AC, a densidade de massa unitária aumentou no intervalo da relação água/cimento entre 1,35 e 1,20. Para os demais intervalos, os valores foram diminuindo e a dosagem AC-0,90 ficou 7,51% menor comparada à dosagem AC-1,35.

A elevação inicial da densidade da argamassa dosagem AC, para os intervalos de 1,35 e 1,20, indicou que o resíduo cerâmico preencheu os espaços vazios entre as partículas na condição de *filler*.

Para os demais intervalos da dosagem AC e para dosagem AN, a redução da densidade de massa unitária a partir da elevação da presença de resíduo cerâmico está relacionada a duas condições distintas. Verificou-se a absorção elevada da água disponível do sistema por parte do resíduo cerâmico, incrementando a condição seca para argamassa, contribuindo no processo de incorporação de ar, diminuindo, dessa forma, a densidade das argamassas. A outra condição seria para processos de dosagem que permitam variações nas dosagens de água, e a função do resíduo cerâmico nesse caso estaria vinculada ao preenchimento do volume de vazios, elevando, dessa forma, a condição de densidade das argamassas.

Farinha e Veiga (2015) encontraram resultados semelhantes de densidade da argamassa no estado fresco para argamassa também dosada no traço 1:4, com substituição do agregado natural por resíduo cerâmico de louça sanitária. Inicialmente, com a elevação do teor de resíduo cerâmico nas argamassas, verificou-se o aumento da densidade, e ao longo das demais dosagens, à medida que se substitui o agregado natural por resíduo cerâmico, a densidade das argamassas foi diminuindo.

Em vários trabalhos, verificaram-se resultados distintos em termos de elevação ou redução da densidade das argamassas dosadas com resíduos cerâmicos de baixa granulometria. Inicialmente tem-se a elevação da densidade das argamassas, ocorrendo, a partir do ajuste da proporção dos materiais, a estabilização de alguns parâmetros, como abatimento, relação água/cimento, entre outros (Silva; Brito; Veiga, 2009; Braga *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2013; Martínez *et al.*, 2013; Alves *et al.*, 2014; Vieira *et al.*, 2016; Lucas; Brito; Farinha, 2016).

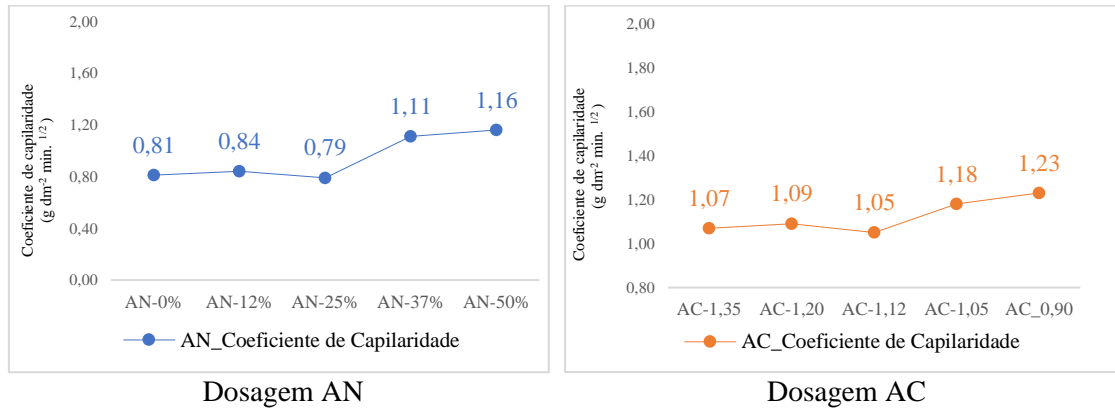
E, de forma contrária, para processos envolvendo somente substituição simples dos agregados, em especial agregados morfologicamente mais finos, os resultados podem também seguir a mesma condição anterior, ou alcançar resultados contrários, sugerindo a dependência da quantidade de água livre disponível no sistema (Awoyera *et al.*, 2017; Matos *et al.*, 2021; Tutkun; Beglarigale; Yazici, 2022; Zhang *et al.*, 2023).

### **3.5 Propriedades das argamassas no estado endurecido**

#### **3.5.1 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade**

Os resultados do coeficiente de capilaridade, determinados no ensaio de absorção de água por capilaridade nas argamassas dosagens AN e AC, são indicados na Figura 13.

Figura 13 - Coeficiente de capilaridade das argamassas.



Fonte: Do autor (2024).

Farinha e Veiga (2015), Silva, Brito e Veiga (2009), Braga *et al.* (2012), Oliveira *et al.* (2013) e Cherene *et al.* (2023) observaram resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa. A elevação dos teores de resíduo cerâmico na matriz cimentícia para argamassa AN e a redução da relação água/cimento para argamassa AC preencheram os espaços vazios entre as partículas maiores até o ponto de saturação, dosagens AN 25% e AC 1,12.

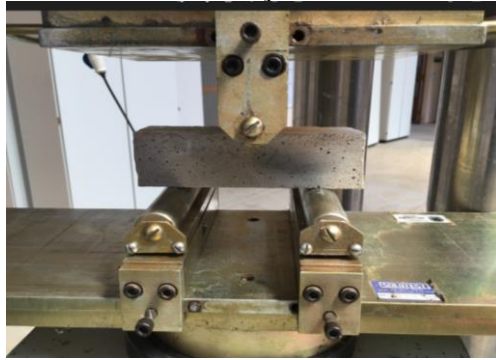
Nessas dosagens, obtiveram o refinamento da microestrutura conforme mencionado por Zhang *et al.* (2023) e Liu *et al.* (2022), que verificaram uma condição restrita da ascensão da água na matriz cimentícia, denotando uma redução dos poros e, em consequência, obteve-se a redução do coeficiente de capilaridade.

Kopuri, Priyadharshani e Sah (2023) e Geraldo, Fernandes e Camarini (2021) observaram que após a saturação do preenchimento dos espaços vazios a dosagem adicional do resíduo cerâmico promoveu o afastamento entre as partículas na matriz cimentícia, diminuindo a resistência mecânica, aumentando a liberdade da movimentação da água e elevando o coeficiente de capilaridade das argamassas.

### 3.5.2 Resistência mecânica à tração na flexão

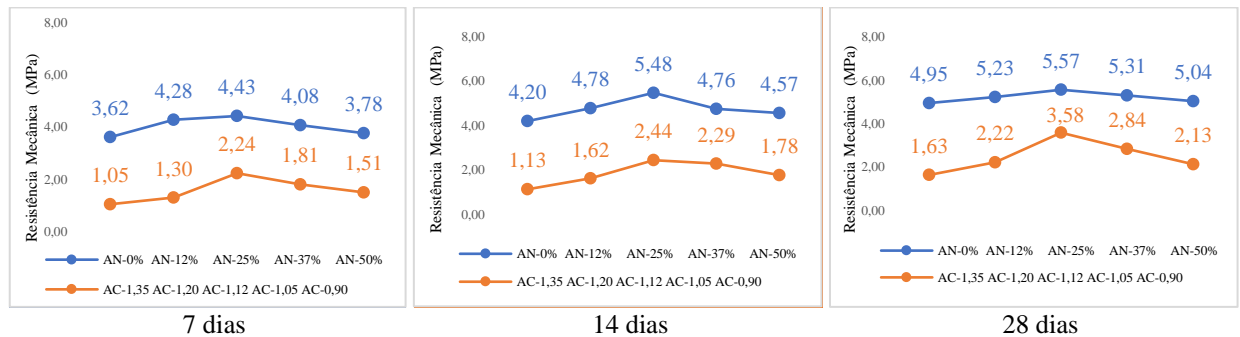
O ensaio de resistência mecânica à tração na flexão da argamassa AC-1,12 é apresentado na Figura 14, e os resultados são apresentados na Figura 15.

Figura 14 - Resistência mecânica à tração na flexão da argamassa AC-1,12.



Fonte: Do autor (2024).

Figura 15 - Resistência mecânica à tração na flexão.



Fonte: Do autor (2024).

Os resultados de resistência mecânica à flexão indicaram valores mais elevados para argamassa dosagem AN. Ambas as argamassas apresentaram valores mais elevados de resistência ao 28º dia, sugerindo que o processo de hidratação do aglomerante não foi prejudicado, mesmo para dosagens que apresentaram baixas condições de disponibilidade de água, dosagens AN-50% e AC-0,90.

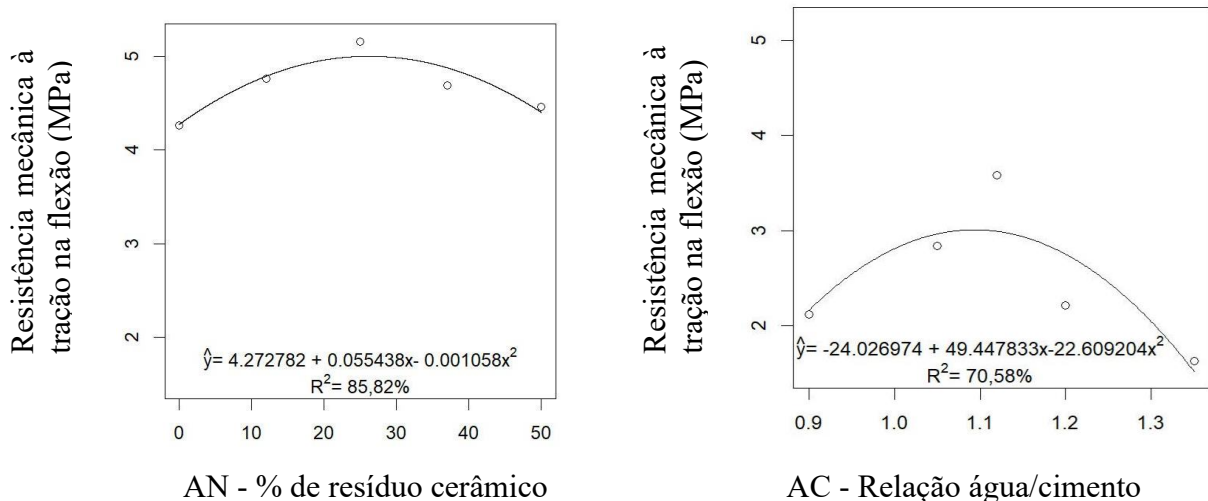
Analisando individualmente as dosagens AN, observam-se valores de resistência mecânica à tração na flexão crescentes da composição 0% até um valor máximo para composição com teor de substituição de 25%; em seguida, a resistência mecânica à tração na flexão diminui substancialmente para dosagens com teor de substituição de 37% a 50%. Isso indica que a presença de resíduo cerâmico atuou como material de enchimento, ocupando os espaços vazios e aumentando a condição de contato entre as partículas, elevando a resistência mecânica à tração na compressão. O mecanismo referente ao empacotamento das partículas promoveu as propriedades de resistência mecânica à tração na flexão. Entretanto, após a saturação ocorre o processo de afastamento das partículas, o que faz com que a resistência mecânica à tração na flexão apresente valores menores.

Para as dosagens AC, os resultados mostram que a transição da argamassa plástica, composições 1,35 a 1,12, para condição seca, composições de 1,12 a 0,90, reduziu a resistência mecânica à tração na flexão. Uma evidência para esse caso poderia estar relacionada à condição de porosidade, que é intrínseca para argamassa de classe seca.

Para a argamassa dosagem AN não houve efeito da interação entre os teores de resíduo cerâmico e idade ( $p > 0,05$ ). Para a idade, os resultados indicaram resistência mecânica média máxima de tração na flexão de 5,20 MPa aos 28 dias, o que já era esperado. Para o teor de resíduo cerâmico, o teor máximo de substituição foi de 26,2%, para resistência mecânica máxima de tração na flexão de 4,99 MPa, com  $R^2$  do modelo ajustado de 85,82% (Figura 16).

Para a argamassa dosagem AC o efeito da interação entre a relação água/cimento e idade foi significativo ( $p < 0,05$ ). Avaliando as idades dentro de cada relação água/cimento, os resultados indicaram maior resistência mecânica média à tração na flexão aos 28 dias, como esperado. Para o desdobramento das relações água/cimento dentro de cada idade, observou-se que, dentro dos 28 dias, a análise de regressão indicou uma resistência mecânica máxima de 2,91 MPa, e teores de dosagem de 1,09 com  $R^2$ , modelo ajustado de 70,58% (Figuras 16).

Figura 16 - Análise estatística para propriedade de resistência mecânica à tração na flexão.



Fonte: Do autor (2024).

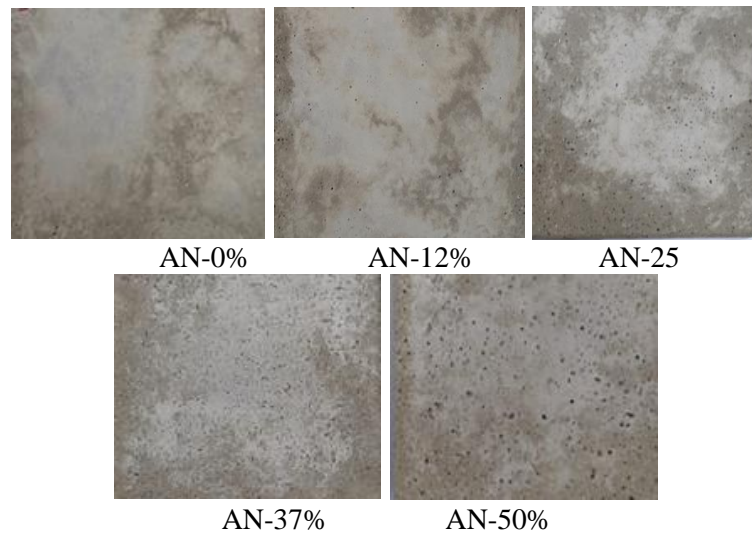
Ebrahimi *et al.* (2023) utilizaram resíduo cerâmico de baixíssima granulometria e obtiveram resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa para o esforço de tração em argamassa. Os autores observaram a elevação da resistência mecânica para dosagens iniciais dos teores do resíduo nas argamassas, e nas demais dosagens verificaram perdas substanciais de resistência a partir da elevação do teor de resíduo, sendo que resistência máxima ocorreu para 10% de substituição. Nos resultados de Lucas, Brito e Farinha (2016), o teor de 20% de

substituição promoveu a resistência máxima para argamassa, também dosada com resíduo de louça cerâmica sanitária.

### 3.5.3 Condutividade térmica das argamassas na condição de placas

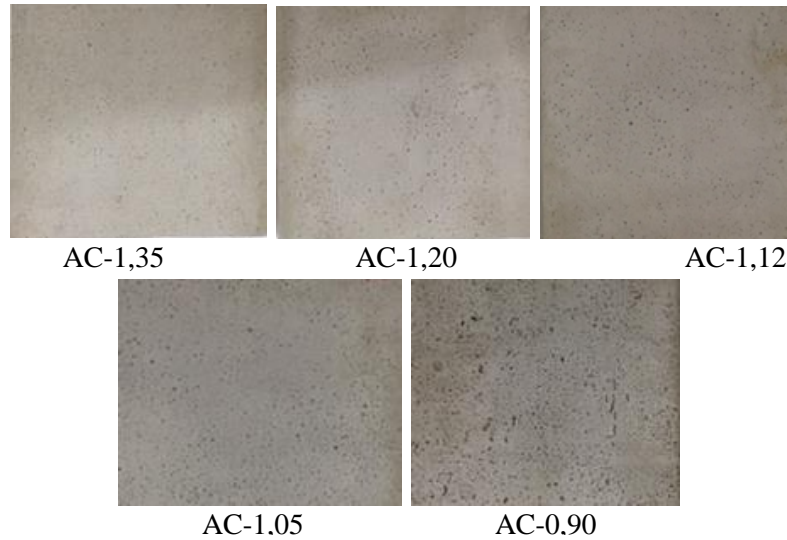
As amostras na condição de placas conformadas com as argamassas AN e AC podem ser observadas nas Figuras 17 e 18, e os resultados da condutividade térmica das amostras, obtidos a partir da Equação 1, são apresentados na Figura 19.

Figura 17 - Amostras das placas dosadas com argamassa AN utilizadas no ensaio de condutividade térmica.



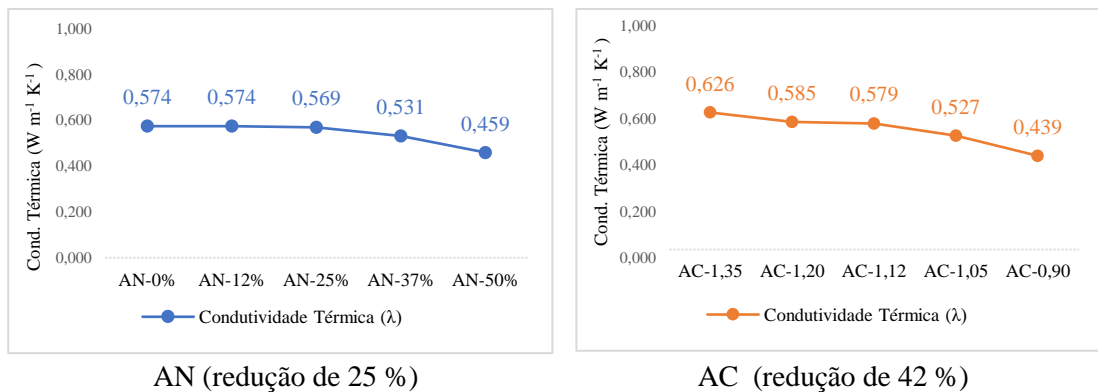
Fonte: Do autor (2024).

Figura 18 - Amostras das placas dosadas com a argamassa AC utilizadas no ensaio de condutividade térmica.



Fonte: Do autor (2024).

Figura 19 - Coeficiente de condutividade térmica das argamassas.



Fonte: Do autor (2024).

Para as duas dosagens das argamassas AN e AC, de uma forma geral, a redução da presença da água na matriz cimentícia promoveu também a redução do coeficiente de condutividade térmica, em termos percentuais de 25% e 42%, respectivamente.

Analisando as dosagens extremas das argamassas, verificou-se formação mais elevada dos poros e, conseqüentemente, condição menor de condutividade térmica quando se tem a redução do fator água/cimento da matriz cimentícia, AN-50% e AC-0,90, quando comparada a porosidade originada a partir da dosagem elevada de água na matriz cimentícia para amostras AN- 0% e AC-1,35, respectivamente.

Para dosagem das argamassas com baixa relação água/cimento, a menor condutividade térmica foi observada na argamassa AC-0,90, com  $\lambda = 0,439 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , comparada à dosagem

AN-50%, com  $\lambda = 0,459 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Entretanto, para relação água/cimento elevada o resultado foi diferente, ou seja, a argamassa AC-1,35 apresentou maior condutividade térmica,  $\lambda = 0,626 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , quando comparada à dosagem AN-0%, com  $\lambda = 0,574 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

A redução do coeficiente de condutividade térmica no intervalo de dosagem para argamassa AC foi de 42%, valor substancialmente maior quando comparado ao observado no intervalo de dosagem da argamassa AN, de 25%. Estes resultados denotam alguma influência relacionada à natureza física do resíduo cerâmico quando comparado ao agregado natural.

A partir da porosidade elevada do resíduo cerâmico, espera-se uma condição baixa de condutividade térmica. Entretanto, sua baixa granulometria se faz mais eficiente em termos de redução dos espaços vazios entre as partículas, refinando a microestrutura, elevando dessa forma a condutividade térmica das amostras.

No trabalho de Du *et al.* (2021), os autores utilizaram 25% de agregado do tipo gama de carvão, de baixa granulometria na dosagem de argamassa, metodologia igual à utilizada nesta pesquisa, e observaram a condutividade térmica de  $\lambda = 1,57 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Para amostras dosadas com metacaulim e pó de vidro, observaram valores de  $\lambda = 0,65 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  e  $\lambda = 0,76 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

Uysal *et al.* (2004) também observaram resultados similares aos obtidos nesta pesquisa, a partir da substituição de agregado natural por agregados de baixa densidade. O processo de substituição do agregado natural por pedra-pomes, de elevada porosidade, nos teores de 25%, 50%, 75% e 100%, também reduziu a condutividade térmica das amostras de concreto analisadas, condição similar para as argamassas dosagem AN estudadas nesta pesquisa. O coeficiente de redução de 42% na taxa do coeficiente de condutividade térmica no intervalo de dosagem da argamassa AC também foi verificado utilizando 100% de agregado de pedra-pomes na fabricação de concreto.

Wang *et al.* (2020) produziram concreto mantendo a mesma proporção dos materiais em todas as amostras, alterando somente os teores do defloculante. Para as amostras com relação água/cimento 0,30, 0,35 e 0,40, a elevação dos teores de água disponível na matriz cimentícia inicialmente elevou o coeficiente de condutividade térmica das amostras, e posteriormente reduziu.

Mendes *et al.* (2019) observaram resultados baixos de condutividade térmica em amostras de argamassa preparada no traço 1:3 dosada com agregado de elevada condutividade, do tipo minério de ferro,  $\lambda = 0,76 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , comparada com argamassa preparada com agregado natural do tipo quartzito,  $\lambda = 1,09 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

Os autores consideraram, para esse resultado específico, que a baixa condutividade observada para essa amostra não foi influenciada pela natureza química condutora do minério de ferro, mas sim pela sua capacidade de incorporar ar na matriz da argamassa, influenciada por suas condições morfológicas. A densidade do minério de ferro também promoveu maior densidade dessas amostras, entretanto, a condutividade térmica foi mais baixa, indicando um caso específico em que a elevada densidade do agregado não está associada à baixa condutividade térmica das amostras.

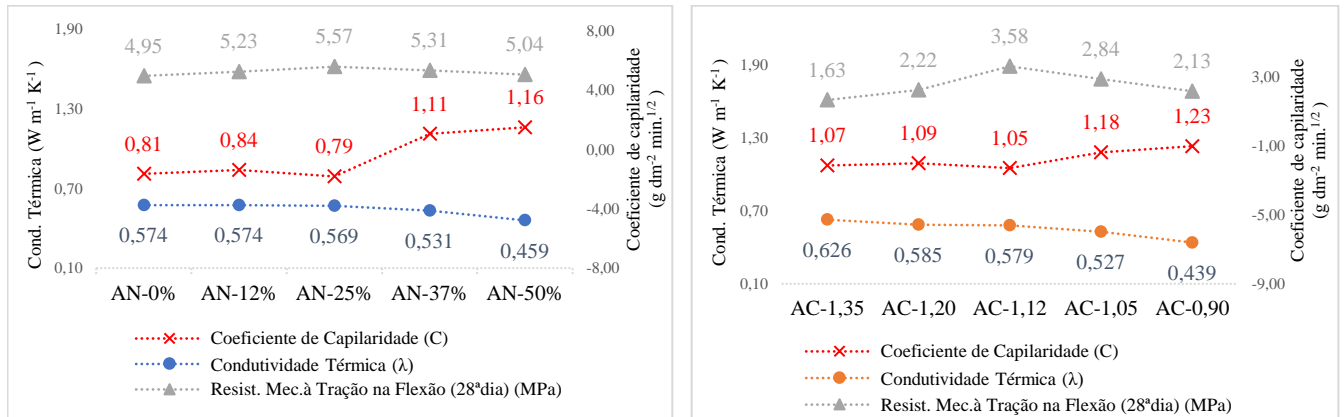
Em argamassas dosadas com agregado natural do tipo areia de rio, material muito utilizado no preparo de argamassa, Mendes *et al.* (2019) obtiveram resultado de condutividade térmica  $\lambda = 1,26 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , valor mais elevado quando comparado aos obtidos nesta pesquisa para as argamassas dosadas com 100% de agregado natural do tipo pó de brita, amostra AN-0%, com  $\lambda = 0,574 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , e argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, para amostra AC-1,35, com  $\lambda = 0,626 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Rong *et al.* (2024) também observaram condutividade elevada em argamassa dosada com agregado natural do tipo areia de rio,  $\lambda = 0,86 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

Khushefati, Demirboğa e Farhan (2022) indicaram que a determinação da condutividade térmica em materiais de base cimentícia apresenta-se como sendo ensaios laboratoriais que demandam grandes desafios, e a dificuldade da análise e fundamentação dos resultados obtidos nas pesquisas estaria relacionada principalmente à condição heterogênea do processo de hidratação do cimento, envolvendo processos químicos complexos de dissolução e precipitação das estruturas sólidas do aglomerante. Em um segundo momento, têm-se as condições relacionadas à porosidade da matriz, utilização de materiais finos como agregados, relação água/cimento, entre outros.

#### **3.5.4 Comparação dos resultados de condutividade térmica, coeficiente de capilaridade e resistência mecânica à tração na flexão**

O estudo comparativo entre os resultados de condutividade térmica, coeficiente de capilaridade e resistência mecânica à tração na flexão das argamassas é mostrado na Figura 20.

Figura 20 - Resultados comparativos do coeficiente de capilaridade (C), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e resistência mecânica à tração na flexão.



Fonte: Do autor (2024).

Comparando os resultados obtidos de resistência mecânica à tração na flexão com o coeficiente de permeabilidade, verificou-se que o aumento da resistência mecânica reduz também a capacidade de ascensão da água nas amostras, sugerindo também uma redução dos poros capilares nas dosagens AN-25% e AC-1,12. A partir destas dosagens, a resistência mecânica diminui e a capacidade de movimentação da água ocorre com maior liberdade.

Cherene *et al.* (2023) também observaram resultados semelhantes. A argamassa também foi dosada com resíduo cerâmico de baixa granulometria, com adições em termos percentuais de 0%, 10%, 20%, e 30%. O refinamento dos poros foi observado com 10% de finos, em que a capacidade de ascensão da água foi reduzida e a resistência mecânica à tração na flexão foi mais elevada. Para as demais dosagens, verificaram-se a elevação da ascensão da água e a redução da resistência mecânica.

Parracha *et al.* (2023) utilizaram dosagens de agregados distintos em substituição à areia e também obtiveram redução do coeficiente de capilaridade, com a elevação da resistência mecânica à tração na flexão.

Comparando os resultados obtidos do coeficiente de capilaridade com a condutividade térmica, verificaram-se poucas alterações nos resultados até as dosagens AN-25% e AC-1,12, entretanto, a partir destas dosagens, verificou-se a elevação substancial não só da liberdade de movimentação da água nas amostras, mas também da redução da condutividade térmica.

Coppola *et al.* (2018) produziram argamassa substituindo agregado natural por agregado espumado de baixa densidade. Os resultados obtidos pelos autores mostraram que a elevação dos teores do agregado espumado impactou na redução do coeficiente de capilaridade e também na condutividade térmica das amostras, indicando que houve o refinamento dos poros.

Wang *et al.* (2020) observaram resultados relacionados à elevação do coeficiente de capilaridade simultaneamente à redução da condutividade térmica em amostras de concreto, com variação somente dos teores de água disponível na matriz cimentícia.

Comparando os resultados obtidos da condutividade térmica com a resistência mecânica à tração na flexão, verificou-se de forma sutil a redução da condutividade térmica até as dosagens AN-25% e AC-1,12. Entretanto, para este mesmo intervalo, os resultados de resistência mecânica à tração na flexão apresentaram uma tendência crescente.

Parracha *et al.* (2023) também utilizaram dosagens de agregados alternativos em substituição da areia. Os autores empregaram poliestireno expandido, cortiça expandida, argila expandida, e aerogel de sílica, e observaram que a elevação da resistência mecânica à tração na flexão, promovia a redução dos resultados de condutividade térmica. Entretanto, observaram também uma tendência divergente em duas amostras.

Pavlík *et al.* (2022) fabricaram argamassa utilizando aglomerantes do tipo cal hidráulica e cimento, e como agregado utilizaram grânulos de vidro expandido em substituição ao agregado natural do tipo areia. Os resultados mostraram uma tendência já bastante difundida para esse tipo de ensaio: a elevação dos teores de vidro na matriz eleva a porosidade, reduz a resistência mecânica para os esforços de tração na flexão e compressão, aumenta o coeficiente de capilaridade e, finalmente, reduz a condutividade térmica das amostras. Essa condição foi observada para os três tipos de aglomerantes.

### **3.5.5 Determinação da força máxima aplicada na tampa do escamoteador**

Conforme mencionado anteriormente, a placa a ser empregada nessa parte da cela de maternidade foi selecionada para o ensaio, uma vez que a placa ali posicionada conforme indicada na Figura 1 (b) estará sujeita às possíveis maiores cargas.

A placa escolhida para este ensaio foi a que obteve o resultado mais baixo de condutividade térmica, dosagem AC-0,90, com  $\lambda = 0,439 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , e dimensões de 24,0 cm x 24,5 cm.

O resultado da força máxima aplicada na placa obtida no ensaio de flexão foi de 15,20 kN, conforme pode ser observado na Figura 21. A partir da força máxima obtida, condição biapoiada e vão entre os apoios de 15 cm, obteve-se o valor do momento fletor no meio do vão de 0,57 kN m.

Figura 21 - Determinação da força máxima aplicada na placa para ensaio de tração na flexão da amostra AC-0,90.



(a)

(b)

Fonte: Do autor (2024).

O resultado do momento de inércia da placa com dimensões de 24,0 cm x 24,5 cm, e  $h = 2,5$  cm, foi definido a partir da Equação 5 (Carvalho; Figueiredo Filho, 2007):

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(0,24)(0,025)^3}{12} = 0,00000031 \text{ m}^4 \quad (\text{Equação 5})$$

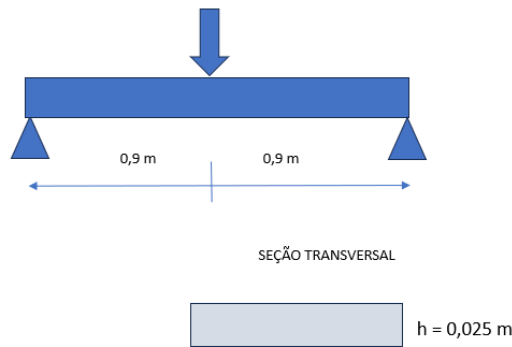
O valor calculado da tensão máxima da placa de dimensões de 24,0 cm x 24,5 cm foi de 22.983,87  $\text{kN m}^{-2}$ , obtido por meio da Equação 6 (Carvalho; Figueiredo Filho, 2007):

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{(0,57 \text{ kN.m})(0,0125 \text{ m})}{(0,00000031 \text{ m}^4)} \quad (\text{Equação 6})$$

$$\sigma = 22.983,87 \text{ kN m}^{-2}$$

A partir do esquema estático, como pode ser observado na Figura 22, aplicando as mesmas Equações 7 e 8 (Carvalho; Figueiredo Filho, 2007), utilizando como referência uma tampa de escamoteador com dimensões de 1,80 m x 0,60 m, área de 1,08  $\text{m}^2$ , obteve-se o valor da força máxima de 322,84 kg que poderá ser aplicada na placa.

Figura 22 - Esquema estático do ensaio de tração na flexão.



Fonte: Do autor (2024).

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(0,60)(0,025)^3}{12} = 0,00000078 \text{ m}^4 \quad (\text{Equação 7})$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = 22.983,87 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = \frac{(F \times 0,90 \text{ m} \times 0,0125) \text{ m}}{0,00000078 \text{ m}^4} \quad (\text{Equação 8})$$

$$F = \frac{(22.983,87) \cdot 0,00000078 \text{ m}^4}{0,9 \text{ m} \times 0,0125 \text{ m}} = 1,593 \text{ kN (Reação de apoio)}$$

$$F = 1,593 \times 2 = 3.186,00 \text{ kN} = 318,60 \text{ kg}$$

Portanto, a força máxima que a placa suporta, aplicada no centro da tampa do escamoteador, é de 318,60 kg, fabricada com argamassa utilizando 100% de resíduo cerâmico, e relação água/cimento 0,90, com identificação AC-0,90.

A capacidade de resistência da placa de 318,60 kg superou sobremaneira a solicitação dos esforços em serviços de 178,57 kg inicialmente pré-estabelecida para cálculo, obtida a partir da soma do peso de uma pessoa de 85,0 kg, segurando um saco de ração de 50,0 kg, posicionados no centro da placa, ou seja, maior nível de solicitação possível na estrutura, levando em conta também o peso próprio da placa de 43,57 kg, considerando a densidade da argamassa de  $1.614 \text{ kg m}^{-3}$  determinada em laboratório.

A força máxima de aplicação no centro da placa obtida nos cálculos ajuda a compreender melhor a ordem de grandeza dos esforços. Para uma verificação mais detalhada, é necessária uma análise experimental utilizando um modelo em escala real.

### 3.6 Caracterização da microestrutura por microscopia eletrônica de varredura

#### 3.6.1 Morfologia dos poros nas amostras a partir da presença da água livre na matriz cimentícia

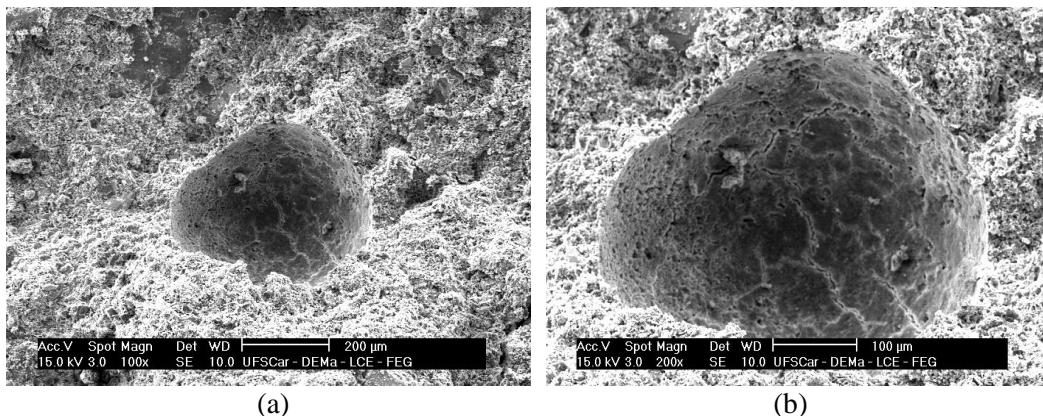
A morfologia dos poros (vazios) na microestrutura das amostras das argamassas analisadas apresentou condições distintas. Para as amostras com dosagens elevadas de água, para argamassa dosagem AC-1,35, os poros observados mostraram uma condição morfológica mais esférica, conforme observado na Figura 23.

Esse mecanismo ocorre a partir do acúmulo de água em algumas regiões da matriz cimentícia que não foram utilizadas ao longo da hidratação da partícula do cimento. Posteriormente à hidratação, esse excesso de água evaporou, deixando a região com um vazio bastante delineado para condição morfológica mais esférica.

Para amostras com dosagens mais baixas de água, AC-0,90, não se verifica esse acúmulo de água, o que também elevou a condição de maior porosidade nas amostras das argamassas. Entretanto, a porosidade na matriz cimentícia apresentou condições assimétricas de baixa uniformidade, conforme pode ser observado na Figura 24.

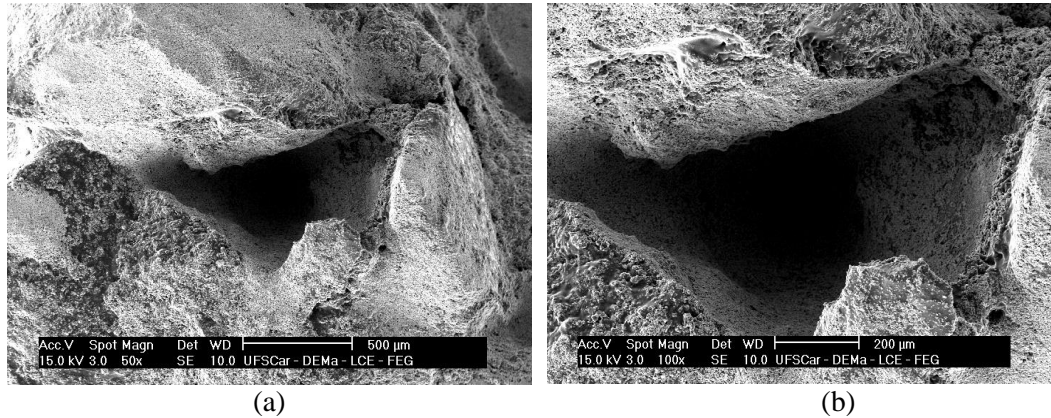
Allaoui *et al.* (2022) também indicaram a porosidade na condição morfológica regular esférica para amostra dosada com resíduo cerâmico e relação água/cimento elevada.

Figura 23 - Vazios capilares na amostra da argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, amostra AC-1,35.



Fonte: Do autor (2024).

Figura 24 - Vazios capilares na amostra da argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, amostra AC-0,90.

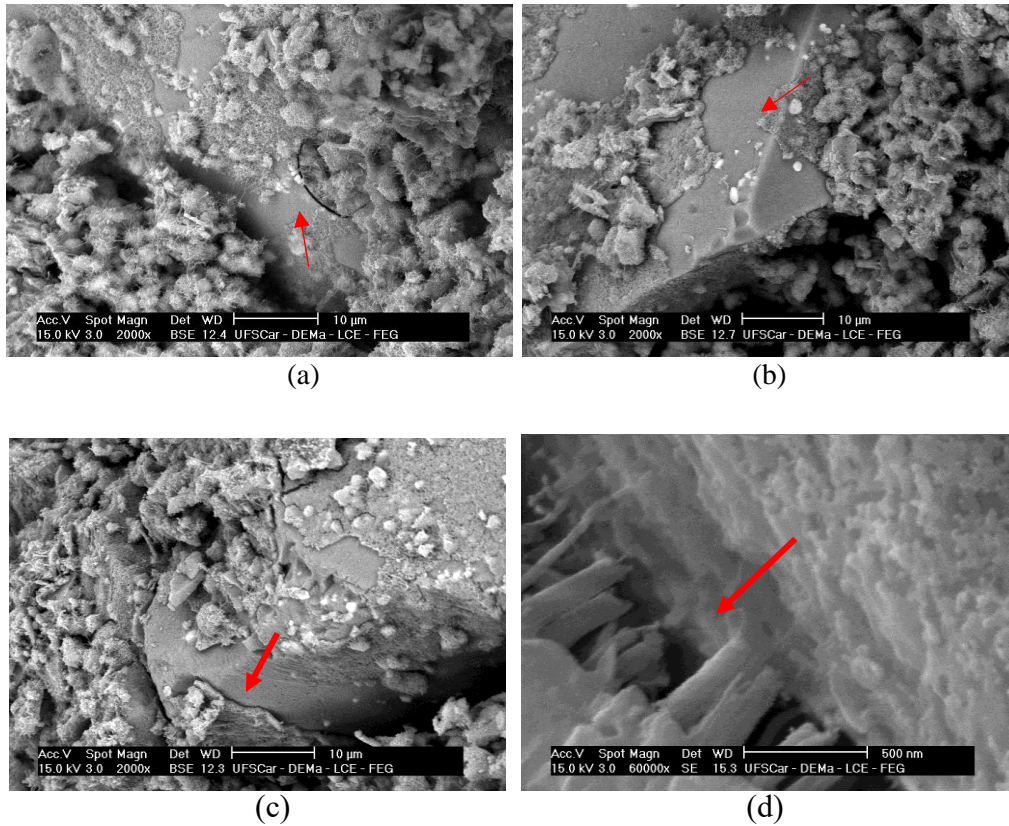


Fonte: Do autor (2024).

### 3.6.2 Precipitação das fases hidratadas do cimento na superfície do resíduo cerâmico

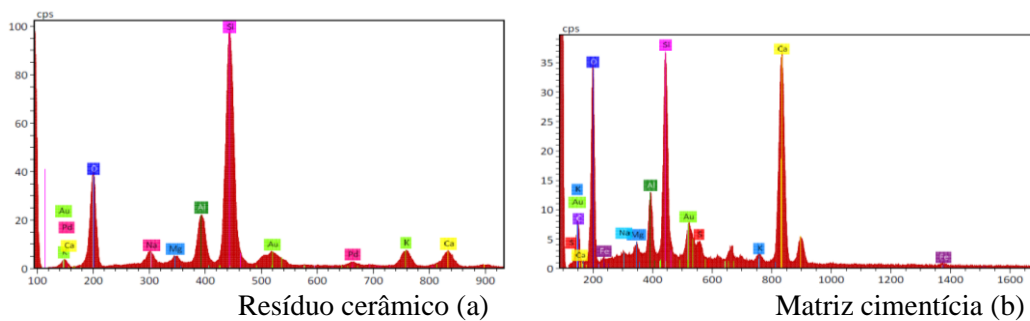
As análises por imagens da microestrutura da argamassa AC-1,35 evidenciaram que uma parte das estruturas sólidas precipitadas a partir da dissolução dos compostos do aglomerante pode também nuclear nas superfícies do resíduo cerâmico, conforme pode ser observado na Figura 25 e nos difratogramas do resíduo cerâmico e da matriz cimentícia indicada na Figura 26.

Figura 25 - Estruturas precipitadas na superfície do resíduo cerâmico na amostra dosada com 100% de resíduo cerâmico, amostra AC-1,35.



Fonte: Do autor (2024).

Figura 26 - Difratomogramas da argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, amostra AC-1,35.



Fonte: Do autor (2024).

A baixa granulometria do resíduo cerâmico, e sua elevada área superficial, promoveu não só a disponibilidade dos espaços para o processo de nucleação, mas também a disseminação desses núcleos por toda a microestrutura da argamassa (El-Gamal *et al.*, 2017).

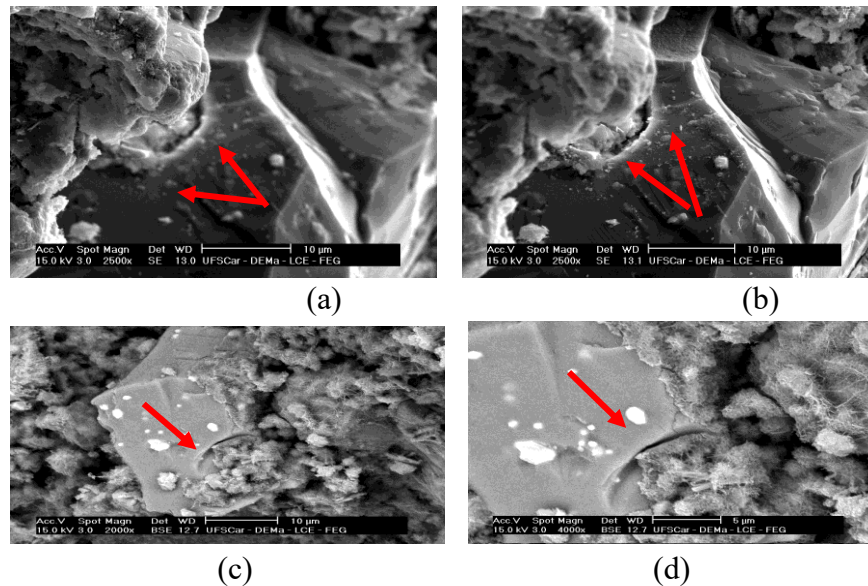
De acordo com Wang *et al.* (2018), a presença superficial do cálcio na composição química do agregado indicou um fator relevante para a ocorrência preferencial do processo de

nucleação do gel de silicato hidratado de cálcio - CSH, principal fase responsável na promoção da resistência mecânica de materiais de base cimentícia.

### 3.6.3 Precipitação das fases do cimento no interior dos poros do resíduo cerâmico

As propriedades de resistência mecânica das amostras dosadas com resíduo cerâmico foram influenciadas em razão da sua natureza porosa. Na Figura 27, argamassa AC-1,35, observa-se a condição dos poros na superfície do resíduo e a formação dos hidratos do aglomerante no interior desses poros. Nesse sentido, de forma pontual, nessas regiões, ocorreu a promoção de engastamento interfacial com hidratos do cimento nucleados no interior dos poros do resíduo cerâmico. A condição do engastamento da microestrutura da argamassa originado a partir da morfologia do resíduo cerâmico com a matriz cimentícia também foi observada nas pesquisas dos autores Martínez, Rojas e Frías (2012), Zegardło, Szeląg e Ogrodnik (2016, 2018), Amin, Tayeh e Agwa (2020) e Tutkun, Beglarigale e Yazici (2022).

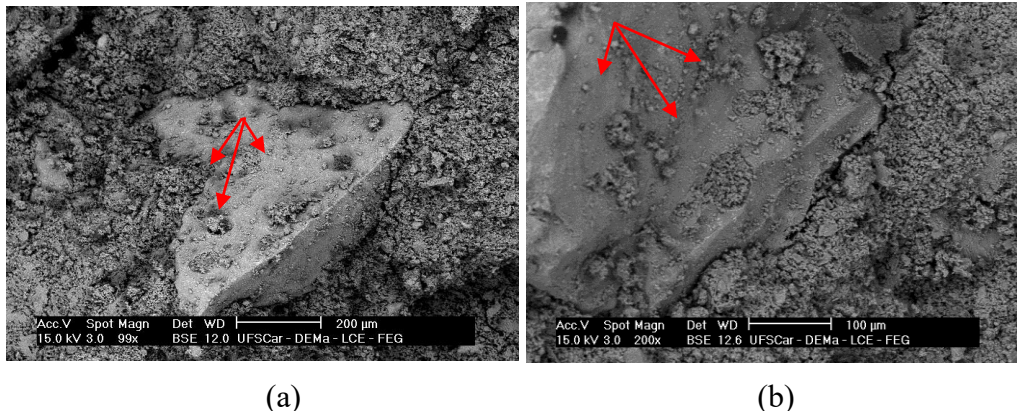
Figura 27 - Condição de engastamento da argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, amostra AC-1,35.



Fonte: Do autor (2024).

A análise por imagens indicando a precipitação, nucleação e desenvolvimento das fases hidratadas do cimento no interior dos poros de agregados de baixa densidade também foi verificada no trabalho de Pavlík *et al.* (2022). A mesma tendência foi observada nesta pesquisa para amostra AC-0,90, conforme Figura 28.

Figura 28 - Formação dos hidratos precipitados do aglomerante no interior dos poros do resíduo cerâmico, presente na amostra AC-1,35.

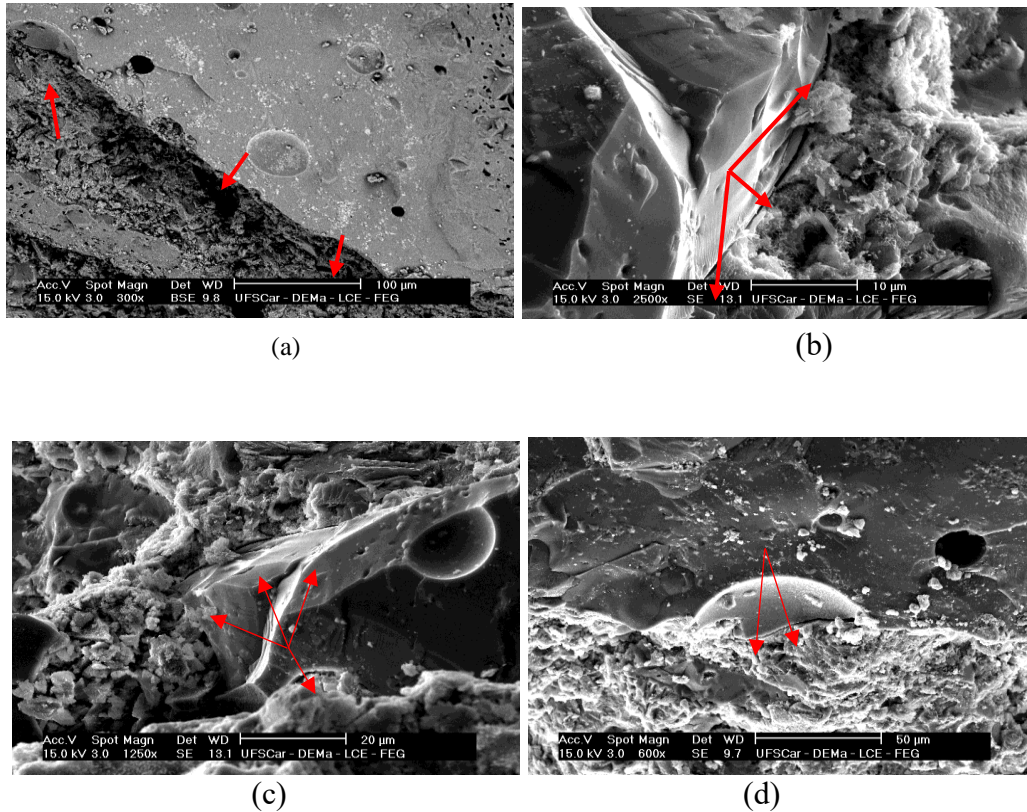


Fonte: Do autor (2024).

### 3.6.3 Região da interface ou zona de transição

Na região definida como interface, ou zona de transição, superfície delimitada entre a área de contato do resíduo cerâmico com a matriz cimentícia, na amostra AC-0,90 verificou-se um volume vazio extenso, conforme observado na Figura 29. Esse vazio é provocado por um filme fino de água adsorvido na superfície do resíduo cerâmico ao longo do processo de hidratação do aglomerante, que ao final do processo foi evaporado. Esse volume vazio nessa região, na zona de transição, tem como consequência a redução das propriedades mecânicas das argamassas.

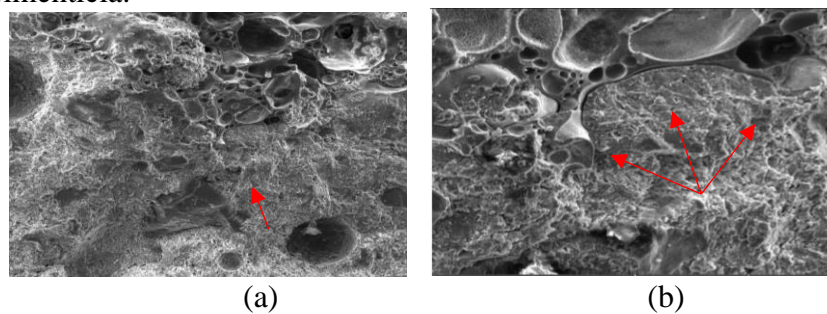
Figura 29 - Zona de transição, região da interface entre o resíduo cerâmico e a matriz cimentícia, amostra AC-0,90.



Fonte: Do autor (2024).

Becker *et al.* (2022) também observaram o mesmo resultado desta pesquisa para porosidade na interface da matriz cimentícia com o agregado. Utilizando técnicas de caracterização por imagens, também identificaram o volume de vazio nessa região, como pode ser observado na Figura 30, em argamassa dosada com teor de 20% de substituição do agregado natural por agregado de baixa densidade do tipo argila expandida.

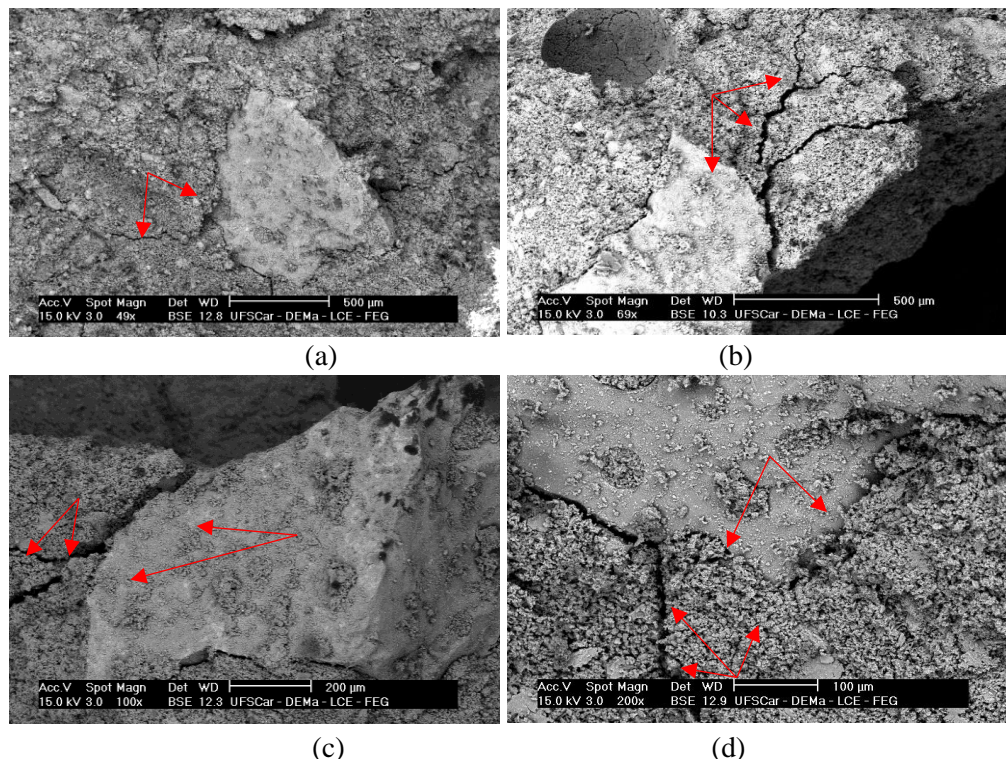
Figura 30 – Porosidade na zona de transição, região na interface do agregado com a matriz cimentícia.



Fonte: Adaptado de Becker *et al.* (2022, p. 1227).

Na Figura 31 é possível observar na amostra de argamassa AC-0,90 as aberturas das fissuras a partir dessas regiões definidas como interfaces, delimitadas entre a superfície de contato do resíduo cerâmico com a matriz cimentícia, corroborando a análise anterior, referente à baixa resistência mecânica na região da interface e, nesse sentido, também orientando a abertura e propagação das fissuras.

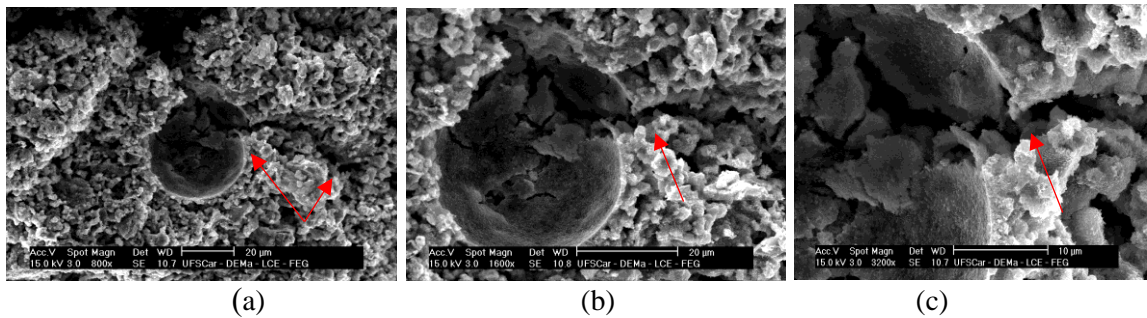
Figura 31 - Abertura e propagação de fissuras na interface da argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, amostra AC-0,90.



Fonte: Do autor (2024).

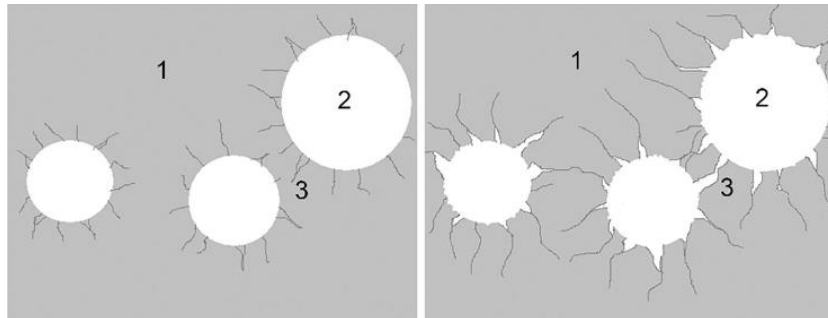
De forma secundária, as perdas das propriedades de resistência mecânica também são orientadas a partir da propagação das fissuras originadas dos poros da matriz cimentícia, conforme pode ser observado na Figura 32, amostra AC-0,90. No trabalho de Zegardło, Szeląg e Ogrodnik (2018), os autores também afirmam que a propagação das fissuras ocorre a partir dos poros na matriz cimentícia para concreto dosado com resíduo de louça cerâmica sanitária, conforme pode ser observado na Figura 33.

Figura 32 - Abertura e propagação das aberturas de fissuras a partir dos poros da argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, dosagem AC-1,35.



Fonte: Do autor (2024).

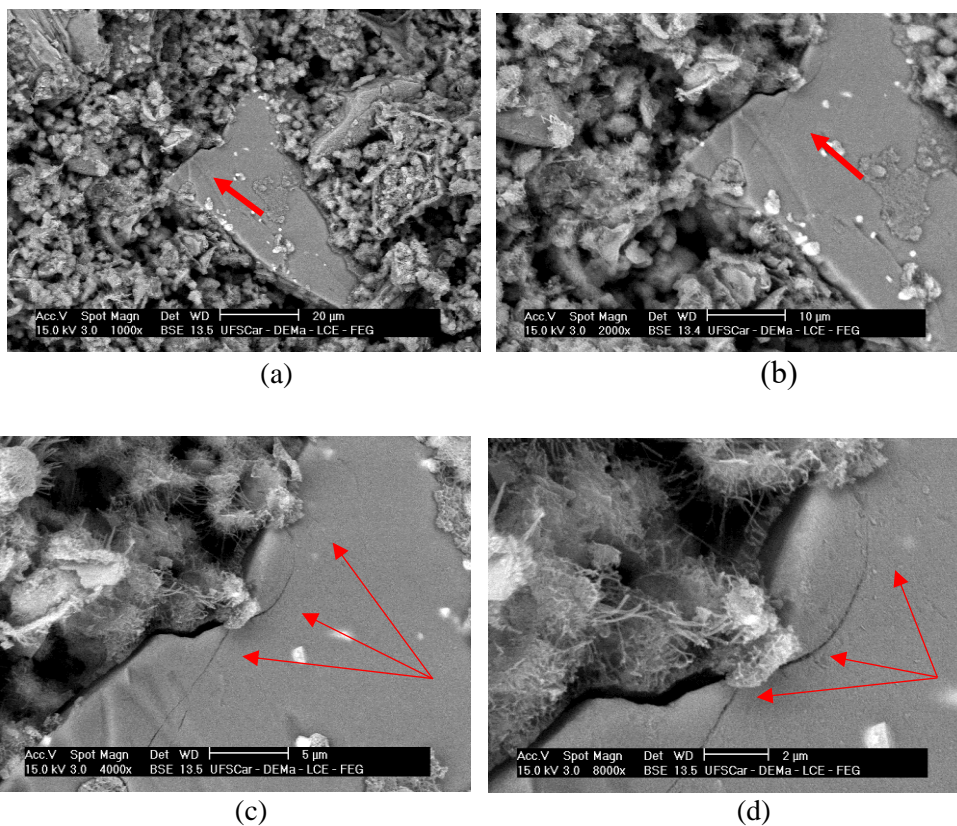
Figura 33 - Abertura e propagação das aberturas de fissuras a partir dos poros, em concreto dosado com resíduo cerâmico de louça sanitária.



Fonte: Adaptado de Zegardło, Szeląg e Ogrodnik (2018, p. 65).

Algumas condições específicas na microestrutura das argamassas podem elevar os esforços nos agregados e acabar superando sua capacidade de resistência, conforme se observa na Figura 34 da amostra AC-0,90. A aplicação dos esforços de forma pontual no resíduo cerâmico elevou a tensão e rompeu o resíduo, seguido da propagação das fissuras. Esta ocorrência também influenciou os resultados de resistência mecânica das amostras dosadas com resíduos cerâmicos.

Figura 34 - Rompimento do resíduo cerâmico com a elevação pontual das tensões, na argamassa dosada com 100% do resíduo cerâmico, dosagem AC-0,90.



Fonte: Do autor (2024).

## 4 CONCLUSÕES

Verificou-se que a elevação dos teores de resíduo cerâmico nas argamassas alterou suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido. A condição morfológica angular do resíduo e a porosidade superficial elevada promoveram a incorporação de ar e reduziram as densidades das duas dosagens das argamassas: AN, obtida por substituição parcial do teor de agregado natural por resíduo cerâmico, e AC, argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, variando somente a dosagem de água.

Para as dosagens das argamassas AN, a condição de plasticidade mais seca, coesa e trabalhável, foi obtida com teor máximo de substituição de 50% do agregado natural por resíduo cerâmico sanitário, designadas AN 50%, com relação água/cimento 0,61. Para as argamassas dosagens AC, dosadas com 100% de resíduo cerâmico, a condição menor de plasticidade foi para argamassa AC-0,90, de relação água/cimento 0,90.

Para argamassa preparada com 100% de resíduo cerâmico, a demanda maior de água para elevação da plasticidade reduziu também a resistência mecânica para os esforços de tração na flexão. Nesse sentido, uma sugestão para minimizar esse tipo de ocorrência seria a utilização de resíduo cerâmico na condição saturado superfície seca, permitindo, dessa forma, que a água dosada no preparo das argamassas seja utilizada exclusivamente na manutenção da plasticidade e no processo de hidratação da partícula do cimento.

O processo físico relacionado ao empacotamento das partículas, onde partículas menores ocupam espaços vazios entre as partículas maiores, foi evidente a partir da elevação do teor de resíduo cerâmico na argamassa dosagem AN, entretanto, após a saturação dos poros, tem-se o afastamento das partículas e, conseqüentemente, verificaram-se perdas substanciais das propriedades de resistência mecânica para esforço de tração na flexão.

A análise estatística por regressão, aplicada para obtenção da resistência mecânica máxima à tração na flexão, indicou para argamassa dosada com substituição de agregado natural por resíduo cerâmico, designada AN, o teor de substituição de 26,2%, e para argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, designada AC, com variação na dosagem de água, a análise estatística indicou relação água/cimento 1,09.

Os resultados do ensaio de condutividade térmica apresentaram valores mais baixos para dosagens de argamassa com menor disponibilidade de água na matriz cimentícia, argamassa dosagem AN 50% e dosagem AC-0,90, respectivamente.

A redução da disponibilidade de água na matriz cimentícia torna a argamassa mais áspera, menos plástica, tendo como resultado a incorporação de ar na argamassa durante o

processo de homogeneização, promovendo também uma redução da condutividade térmica das amostras.

A utilização de 100% de resíduo cerâmico como agregado no preparo da argamassa AC-0,90 apresentou valor mais baixo de condutividade térmica,  $\lambda = 439 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , quando comparada à argamassa dosada com teor de 50% de substituição de agregado natural por resíduo cerâmico, de relação água/cimento 0,61, que apresentou  $\lambda = 459 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

Verificou-se também, a partir da dosagem dessa argamassa AC-0,90, a força máxima aplicada em uma placa a ser empregada como tampa de escamoteador com dimensões de 1,80 cm x 0,60 cm. A carga máxima calculada foi de 318,60 kg, atendendo a solicitação em serviço, considerando uma carga de 178,57 kg, para uma pessoa de 85 kg, segurando um saco de razão de 50 kg, considerando também o peso próprio da placa.

A dosagem da argamassa AC também apresentou maior redução da taxa de condutividade térmica nos intervalos das configurações, de 42%, quando comparados aos intervalos das configurações das argamassas AN, de 25%.

Nesse sentido, a baixa propriedade de condutividade térmica em argamassa dosada com resíduo cerâmico foi mais eficiente para dosagens utilizando 100% de resíduo cerâmico como agregado, e menor relação água/cimento, 0,90, quando comparado ao processo de substituição parcial de agregado natural por resíduo cerâmico, para relação água/cimento fixa de 0,61.

Dessa forma, conclui-se que é possível a fabricação de placas modulares para serem utilizadas nos escamoteadores em instalações de maternidade na suinocultura, utilizando argamassas dosadas com 100% de resíduo cerâmico como agregado e relação água/cimento 0,90.

A porosidade superficial e a morfologia angular do resíduo cerâmico promoveram a incorporação de ar nas argamassas, reduziram também a densidade e conferiram baixa condutividade térmica da placa produzida, atendendo à condição térmica isolante quando aplicada na construção de escamoteadores. A baixa granulometria do resíduo cerâmico e a possibilidade de ancoragem da porosidade superficial e suas arestas com a matriz cimentícia contribuíram para obtenção da resistência mecânica à tração na flexão necessária para os esforços máximos solicitantes em serviço.

## **AGRADECIMENTO**

Agradecimento ao Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Lavras, na pessoa do Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes; ao Laboratório de Tecnologia do Concreto, do Instituto Federal do Sul de Minas; ao Laboratório de Caracterização Estrutural da Universidade Federal de São Carlos; nas pessoas do Prof. Dr. Walter José Botta Filho e Prof. Me. Diego Davi Coimbra; e à Indústria de Materiais Refratários Togni S/A, sediada em Poços de Caldas – MG.

## REFERÊNCIAS

- ADESINA, Adeyemi. Overview of the influence of waste materials on the thermal conductivity of cementitious composites. **Cleaner Engineering and Technology**, [United Kingdom], v. 2, n. 10, June 2021.
- ALLAOUI, D. *et al.* Eco-friendly geopolymers concrete based on metakaolin and ceramics sanitaryware wastes. **Ceramics International**, [England], v. 48, n. 23, p. 34793-34802, Dec. 2022.
- ALVES, A. V. *et al.* Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates. **Construction and Building Materials**, [England], v. 64, n. 12, p. 103-113, Aug. 2014.
- AMIN, Mohamed; TAYEH, Bassam A.; AGWA, Ibrahim Saad. Effect of using mineral admixtures and ceramic wastes as coarse aggregates on properties of ultrahigh-performance concrete. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 273, n. 4, July 2020.
- ANDERSEN, Inger Lise; HAUKVIK, I. A.; BØE, Knut E. Drying and warming immediately after birth may reduce piglet mortality in loose-housed sows. **Animal**, [England], v. 3, n. 4, p. 592-597, Apr. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Construções de Argamassa Armada**. ABCP, 1996. Disponível em: <https://abcp.org.br/bt-126/>. Acesso em: 17 mar. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Quem Somos**. ABCP, 2024. Disponível em: <https://abcp.org.br/quem-somos/>. Acesso em: 17 mar. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-11.173**: Projeto e execução de argamassa armada – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-12.041**: Argamassa de alta resistência mecânica para pisos-Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-13.070**: Moldagem de placas para ensaio de argamassa e concreto projetados. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-13.278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-13.279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15.259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16.605**: Cimento Portland e outros materiais em pó-Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16.607**: Cimento Portland-Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2018a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16.697**: Cimento Portland-Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16.887**: Concreto-Determinação do teor de ar em concreto fresco-Método pressométrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16.916**: Agregado miúdo-Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16.972**: Agregados-Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16.973**: Agregados-Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7211**: Agregados para concreto-Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7215**: Cimento Portland-Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9779**: Argamassa e concreto endurecidos-Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9817**: Execução de piso com revestimento cerâmico-Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. Confirmada em 2022b.

AWOYERA, Paul O. *et al.* Suitability of mortars produced using laterite and ceramic wastes: Mechanical and microscale analysis. **Construction and Building Materials**, [England], v. 148, n. 23, p. 195-203, Sept. 2017.

BAERT, Sarah *et al.* The protective role of wallowing against heat stress in gestating and lactating sows housed outdoors. **Physiology & Behavior**, [United States], v. 254, n. 26, Jan. 2022.

BARROS, Juliana de Souza Granja; ROSSI, Luiz Antonio; SOUZA, Zigomar Menezes de. PID Temperature controller in pig nursery: spatial characterization of thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, [Milwaukee], v. 62, n. 5, p. 773-781, Nov. 2018.

BECKER, Ariane Roberto *et al.* Study of mechanical, acoustic, and microstructure properties of lightweight mortars produced with expanded clay. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 65, p. 1222-1229, 2022.

BRAGA, Mariana; BRITO, Jorge de; VEIGA, Maria do Rosário. Incorporation of fine concrete aggregates in mortars. **Construction and Building Materials**, [England], v. 36, n. 114, p. 960-968, Nov. 2012.

BRANDT, Pia *et al.* Floor heating at farrowing in pens for loose-housed sows. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 143, n. 1, p. 1-4, Jan. 2012.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BSI-PD 6697**: Recommendations for the design of masonry structures to BS EN 1996-1-1 and BS EN 1996-2. BSI, 2019.

CARROLL, J. A. *et al.* Influence of environmental temperature on the physiological, endocrine, and immune responses in livestock exposed to a provocative immune challenge. **Domestic Animal Endocrinology**, [United States], v. 43, n. 2, p. 146-153, Aug. 2012.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 3. ed. São Paulo: EdUFSCar, 2007.

CHERENE, Mariana Gomes Pinto *et al.* Technological and microstructural perspective of the use of ceramic waste in cement-based mortars. **Construction and Building Materials**, [England], v. 367, n. 77, 2023.

CHINN, Sarah M. *et al.* Influence of intrinsic and extrinsic attributes on neonate survival in an invasive large mammal. **Scientific Reports**, [England], v. 11, n. 1, May 2021.

CONRAD, Lydia *et al.* Effects of farrowing out design on maternal and thermoregulatory behaviour in outdoor housed sows and piglets. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 251, n. 7, June 2022.

COPPOLA, Bartolomeo *et al.* Hygro-thermal and durability properties of a lightweight mortar made with foamed plastic waste aggregates. **Construction and Building Materials**, [England], v. 170, n. 23, p. 200-206, Mar. 2018.

DAMASCENO, Flávio Alves *et al.* F. Assessment of a low-cost solar water heating systems in farrowing facilities. **Agronomy Research**, [Estonia], v. 17, n. 1, p. 49-59, 2019.

DU, Yuanbo *et al.* Thermal conductivity of cement paste containing waste glass powder, metakaolin and limestone filler as supplementary cementitious material. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 287, n. 62, Mar. 2021.

EBRAHIMI, Mohsen *et al.* Effect of ceramic waste powder as a binder replacement on the properties of cement- and lime-based mortars. **Construction and Building Materials**, [England], v. 379, n. 6, May 2023.

- EL-GAMAL, Safaa M. A. *et al.* Ceramic waste as an efficient material for enhancing the fire resistance and mechanical properties of hardened Portland cement pastes. **Construction and Building Materials**, [England], v. 154, n. 96, p. 1062-1078, Nov. 2017.
- FARINHA, Catarina Brazão; BRITO, Jorge de; VEIGA, Maria do Rosário. Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars. **Construction and Building Materials**, [England], v. 83, n. 21, p. 194-206, May 2015.
- FARMER, Chantal. The suckling and weaned piglet. *In: The suckling and weaned piglet.* Amsterdam: Wageningen Academic Publishers, 2020. 312 p.
- FARMER, Chantal; EDWARDS, S. A. Review: Improving the performance of neonatal piglets. **Animal**, [England], v. 16, n. 1, June 2022.
- FELS, Michaela; SANGE, Marie D.; KEMPER, Nicole. Planimetric measurement as a method for scientific assessment of space requirements of young suckling piglets in the creep area. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 191, n. 23, p. 37-42, July 2016.
- GAUTAM, Lilesh *et al.* A review on the utilization of ceramic waste in sustainable construction products. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 43, n. 2, p. 1884-1891, 2021.
- GERALDO, Rodrigo Henrique; FERNANDES, Luiz F. R.; CAMARINI, Gladis. Mechanical properties of porcelain waste alkali-activated mortar. **Open Ceramics**, [United Kingdom], v. 8, n. 8, Sept. 2021.
- GONDRET, Florence *et al.* Lean and fat development in piglets. *In: The suckling and weaned piglet.* Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2020. p. 41-69.
- GUPTA, Lalit Kumar; VYAS, Ashok. Impact on mechanical properties of cement sand mortar containing waste granite powder. **Construction and Building Materials**, [England], v. 191, n. 21, p. 155-164, Dec. 2018.
- HE, Xiaobing *et al.* Gradation optimization of continuous-graded crushed sand based on mortar performance. **Construction and Building Materials**, [England], v. 358, n. 38, Dec. 2022.
- HERPIN, Patrick; DAMON, Marie; DIVIDICH, Jean Le. Development of thermoregulation and neonatal survival in pigs. **Livestock Production Science**, [*s.l.*], v. 78, n. 1, p. 25-45, Nov. 2002.
- HEWITT, Robert John Edward; KEMP, B.; MILLET, Sam. Editorial: Addressing 21st century challenges in pig production. **Animal**, [England], v. 16, n. 1, May 2022.
- HOLE, Charlotte Vanden *et al.* Glucose and glycogen levels in piglets that differ in birth weight and vitality. **Heliyon**, [United Kingdom], v. 5, n. 9, Sept. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Roteiro Regional Global ABC para Edifícios e Construção na América Latina 2020-2050**. IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/globalabc-regional-roadmap-for-buildings-and-construction-in-latin-america-2020-2050>. Acesso em: 29 ago. 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO-17889**: Ceramic tiling systems - Sustainability for ceramic tiles and installation materials - Part 1: Specification for ceramic tiles. ISO, 2021.

JAIN, Pooja; GUPTA, Rajesh; CHAUDHARY, Sandeep. A literature review on the effect of using ceramic waste as supplementary cementitious material in cement composites on workability and compressive strength. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 65, n. 2, p. 871-876, 2022.

JEON, J. H. *et al.* Effects of chilled drinking water on the performance of lactating sows and their litters during high ambient temperatures under farm conditions. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 105, n. 1-3, p. 86-93, Dec. 2006.

JORQUERA-CHAVEZ, M. *et al.* The effect of farrowing crate heat lamps on the skin and rectal temperature of sows. **Animal Science Proceedings**, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 186, Nov. 2021.

KHUSHEFATI, Waleed W.; DEMIRBOĞA, Ramazan; FARHAN, Khatib Zada. Assessment of factors impacting thermal conductivity of cementitious composites-A review. **Cleaner Materials**, [United Kingdom], v. 5, n. 29, Sept. 2022.

KOPURI, N. A. G. K. Manikanta; PRIYADHARSHANI, S. Anitha; SAH, Ranjeet. Durability studies on concrete with ceramic waste as partial replacement to coarse aggregate. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 1, n. 237, Jan. 2023.

LAM, My Ngoc-Tra.; LE, Duc-Hien.; NGUYEN, Duy-Liem. Reuse of clay brick and ceramic waste in concrete: A study on compressive strength and durability using the Taguchi and Box-Behnken design method. **Construction and Building Materials**, [England], v. 373, n. 10, Feb. 2023.

LANE, Karli J. *et al.* Comparison of heat lamps and heat mats in the farrowing house: effect on piglet production, energy use, and piglet and sow behavior through live observation. **Journal of Swine Health & Production**, [s.l.], v. 28, n. 4, p. 205-212, July 2020.

LEONARD, Suzanne M. *et al.* Effects of farrowing stall layout and number of heat lamps on sow and piglet behavior. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 239, n. 6, June 2021.

LIN, Laikuang; XIA, Yimin; WU, Dun. A hybrid fuzzy multiple criteria decision-making approach for comprehensive performance evaluation of tunnel boring machine disc cutter. **Computers & Industrial Engineering**, [England], v. 149, n. 41, Nov. 2020.

LIU, Suqin *et al.* Implementation and validation of Dewar's particle packing model for recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, [England], v. 294, n. 7, Aug. 2022.

- LU, Mingzhou *et al.* An automatic ear base temperature extraction method for top view piglet thermal image. **Computers and Electronics in Agriculture**, [England], v. 155, n. 30, p. 339-347, Nov. 2018.
- LUCAS, J. *et al.* The effect of using sanitary ware as aggregates on rendering mortars' performance. **Materials & Design**, [England], v. 91, n. 18, p. 155-164, Feb. 2016.
- MALMKVIST, Jens *et al.* Does floor heating around parturition affect the vitality of piglets born to loose housed sows? **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 99, n. 1-2, p. 88-105, Aug. 2006.
- MARTÍNEZ, Iván *et al.* A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. **Construction and Building Materials**, [England], v. 49, n. 43, p. 384-392, Dec. 2013.
- MATIAS, Gina; FARIA, Paulina; TORRES, Isabel. Lime mortars with heat treated clays and ceramic waste: A review. **Construction and Building Materials**, [England], v. 73, n. 2, p. 125-136, Dec. 2014.
- MATOS, Paulo Ricardo de *et al.* Utilization of ceramic tile demolition waste as supplementary cementitious material: An early-age investigation. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 38, n. 26, June 2021.
- MARTÍNEZ, César Medina; ROJAS, M. I. Sánchez de; FRÍAS, Moisés. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. **Cement and Concrete Composites**, [*s.l.*], v. 34, n. 1, p. 48-54, Jan. 2012.
- MENDES, Julia Castro *et al.* On the relationship between morphology and thermal conductivity of cement-based composites. **Cement and Concrete Composites**, [*s.l.*], v. 104, n. 30, July 2019.
- MENDES, Rafael Farinassi *et al.* Study of the use of polymeric waste as reinforcement for extruded fiber-cement. **Environmental Science and Pollution Research**, [Germany], v. 28, n. 31, p. 42737-42749, Aug. 2021.
- MENG, Yazi; LING, Tung-Chai; MO, Kim Hung. Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview. **Resources, Conservation and Recycling**, [Netherlands], v. 138, n. 30, p. 298-312, Nov. 2018.
- MIRKOV, M. *et al.* The influence of hypothermia prevention by application of skin moisture absorbent on the value of body temperature, body weight and blood parameters in piglets. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, [Belo Horizonte], v. 73, n. 5, p. 1058-1066, Sept. 2021.
- MORELLO, Gabriela M. *et al.* Higher light intensity and mat temperature attract piglets to creep areas in farrowing pens. **Animal**, [England], v. 13, n. 8, p. 1696-1703, Jan. 2019.
- MURTHI, P. *et al.* Studies on the strength variation of brick masonry using novel blended masonry mortar mixes and mortar thickness. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 39, p. 126-130, 2021.

NUNTAPAITOON, Morakot *et al.* Factors influencing colostrum consumption by piglets and their relationship with survival and growth in tropical climates. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 224, n. 9, p. 31-39, June 2019.

OLIVEIRA, R.; BRITO, Jorge de; VEIGA, Maria do Rosário. Incorporation of fine glass aggregates in renderings. **Construction and Building Materials**, [England], v. 44, n. 39, p. 329-341, July 2013.

PARRACHA, João Luís *et al.* Performance of lightweight thermal insulating mortars applied on brick substrate specimens and prototype wall. **Construction and Building Materials**, [England], v. 364, n. 2, Jan. 2023.

PAVLÍK, Zbyšek *et al.* Lightweight thermal efficient repair mortars with expanded glass (EG) for repairing historical buildings: The effect of binder type and EG aggregate dosage on their performance. **Energy and Buildings**, [Switzerland], v. 276, n. 9, Dec. 2022.

PELTONIEMI, Olli *et al.* Coping with large litters: the management of neonatal piglets and sow reproduction. **Journal of Animal Science and Technology**, [South Korea], v. 63, n. 1, p. 1-15, Dec. 2021.

PHILLIPS, P. A.; FRASER, D.; PAWLUCZUK, B. Floor temperature preference of sows at farrowing. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 67, n. 1-2, p. 59-65, Mar. 2000.

QUIÑONES-BOLAÑOS, Edgaret *et al.* Potential use of coconut fibre modified mortars to enhance thermal comfort in low-income housing. **Journal of Environmental Management**, [England], v. 277, n. 97, Jan. 2021.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 01 jun. 2024.

RAJPUT, Sarvesh P. S. An experimental study on crushed stone dust as fine aggregate in cement concrete. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 5, n. 9, p. 17540-17547, 2018.

RASHID, Khuram *et al.* Experimental and analytical selection of sustainable recycled concrete with ceramic waste aggregate. **Construction and Building Materials**, [England], v. 154, n. 74, p. 829-840, Nov. 2017.

RAY, Sourav *et al.* Predicting the strength of concrete made with stone dust and nylon fiber using artificial neural network. **Heliyon**, [United Kingdom], v. 8, n. 3, Mar. 2022.

RAY, Sourav *et al.* Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: A review. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 43, n. 14, Nov. 2021.

RONG, Xian *et al.* Mechanical and thermal properties of insulated mortar incorporated with GFRP powder. **Construction and Building Materials**, [England], v. 416, n. 1, Feb. 2024.

SADEK, Dina M.; NOUHY, Hanan A. El. Properties of paving units incorporating crushed ceramic. **Housing and Building National Research Center Journal**, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 198-205, Aug. 2014.

SANTIAGO, Patricia Roldán *et al.* Relationship of vitality and weight with the temperature of newborn piglets born to sows of different parity. **Livestock Science**, [Netherlands], v. 220, n. 19, p. 26-31, Feb. 2019.

SARTOR, Karina *et al.* Skin temperature of piglets as a biosensor for controlling the heating system in creeps with low power consumption. **Biosystems Engineering**, [England], v. 210, n. 10, p. 104-114, Oct. 2021.

SCHILD, S.-Lina A.; BAXTER, Emma M.; PEDERSEN, Lene J. A review of neonatal mortality in outdoor organic production and possibilities to increase piglet survival. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 231, n. 4, Oct. 2020.

SCHMITT, Oceane *et al.* Thermoregulation at birth differs between piglets from two genetic lines divergent for residual feed intake. **Animal**, [England], v. 15, n. 1, Jan. 2021.

SHEN, Weiguo *et al.* Influence of manufactured sand's characteristics on its concrete performance. **Construction and Building Materials**, [England], v. 172, n. 55 p. 574-583, May 2018.

SIDDIQUE, Salman *et al.* Sustainable utilisation of ceramic waste in concrete: Exposure to adverse conditions. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 210, n. 22, p. 246-255, Feb. 2019.

SILVA, João Conde; BRITO, Jorge de; VEIGA, Maria do Rosário. Incorporation of fine ceramics in mortars. **Construction and Building Materials**, [England], v. 23, n. 66, p. 556-564, Jan. 2009.

SILVA, Thiago Henrique *et al.* Valorization of ceramic sludge waste as alternative flux: A way to clean production in the sanitary ware industry. **Cleaner Engineering and Technology**, [United Kingdom], v. 7, n. 30, Feb. 2022.

SILVESTRI, Luca *et al.* Life cycle assessment of sanitaryware production: A case study in Italy. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 251, n. 110, Apr. 2020.

SOUZA, William Jeferson Vieira de; SCUR, Gabriela; HILSDORF, Wilson de Castro. Eco-innovation practices in the brazilian ceramic tile industry: The case of the Santa Gertrudes and Criciúma clusters. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 199, n. 92, p. 1007-1019, June 2018.

SULZBACH, Jéssica Juliane *et al.* Evaluation of different heating systems for new-born swine. **International Journal of Biometeorology**, [Milwaukee], v. 64, n. 9, p. 1473-1479, Apr. 2020.

TORKITTIKUL, Pincha; CHAIPANICH, Arnon. Utilization of ceramic waste as fine aggregate within Portland cement and fly ash concretes. **Cement and Concrete Composites**, [s.l.], v. 32, n. 6, p. 440-449, July 2010.

TORRES, Isabel; MATIAS, Gina; FARIA, Paulina. Natural hydraulic lime mortars - The effect of ceramic residues on physical and mechanical behaviour. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 32, n. 9, Nov. 2020.

TUTKUN, Bayram; BEGLARIGALE, Ahsanollah; YAZICI, Halit. Alkali-silica reaction of sanitary ware ceramic wastes utilized as aggregate in ordinary and high-performance mortars. **Construction and Building Materials**, [England], v. 319, n. 6, Feb. 2022.

UYSAL, Habib *et al.* The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete. **Cement and Concrete Research**, [England], v. 34, n. 5, p. 845-848, May 2004.

VASDAL, Guro *et al.* Piglet preference for infrared temperature and flooring. **Applied Animal Behaviour Science**, [Netherlands], v. 122, n. 2-4, p. 92-97, Jan. 2010.

VASDAL, Guro; WHEELER, E. F.; BØE, K. E. Effect of infrared temperature on thermoregulatory behaviour in suckling piglets. **Animal**, [England], v. 3, n. 10, p. 1449-1454, June 2009.

VIEIRA, T. *et al.* Durability-related performance of concrete containing fine recycled aggregates from crushed bricks and sanitary ware. **Materials & Design**, [England], v. 90, n. 91, p. 767-776, Jan. 2016.

WAGENBERG, A. V. Van *et al.* Effect of floor cooling on farrowing sow and litter performance: Field experiment under dutch conditions. **American Society of Agricultural Engineers**, [s.l.], v. 49, n. 5, p. 1521-1527, Sept. 2006.

WANG, Dehui *et al.* A review on use of limestone powder in cement-based materials: Mechanism, hydration and microstructures. **Construction and Building Materials**, [England], v. 181, n. 7, p. 659-672, Aug. 2018.

WANG, Hui *et al.* Development of relationships between permeability coefficient and electrical and thermal conductivity of recycled aggregates permeable cement concrete. **Construction and Building Materials**, [England], v. 254, n. 24, Sept. 2020.

ZAKARI, Friday Ocheja; AKEFE, Isaac Oluwatobi; UCHENDU, Chidiebere. Comparison of diurnal rectal and body surface temperatures in large white piglets during the hot-dry season in a tropical Guinea savannah. **Journal of Thermal Biology**, [England], v. 99, n. 8, Apr. 2021.

ZANELLI, Chiara *et al.* Waste recycling in ceramic tiles: a technological outlook. **Resources, Conservation and Recycling**, [Netherlands], v. 168, n. 8, May 2021.

ZEGARDŁO, Bartosz; SZELĄG, Maciej; OGRODNIK, Paweł. Concrete resistant to spalling made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes - The effect of moisture and porosity on destructive processes occurring in fire conditions. **Construction and Building Materials**, [England], v. 173, n. 9, p. 58-68, June 2018.

ZEGARDŁO, Bartos; SZELAĞ, Maciej; OGRODNIK, Paweł. Ultra-high strength concrete made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes – The method of production and the interfacial transition zone. **Construction and Building Materials**, [England], v. 122, n. 72, p. 736-742, Sept. 2016.

ZHANG, Liqing *et al.* Effect of ceramic waste tile as a fine aggregate on the mechanical properties of low-carbon ultrahigh performance concrete. **Construction and Building Materials**, [England], v. 370, Mar. 2023.

ZHANG, Qiang; XIN, Hongwe. Responses of piglets to creep heat type and location in farrowing cage. **Agricultural and Biosystems Engineering**, [s.l.], v. 17, n. 8, p. 515-519, July 2001.

**ARTIGO 2 - RESISTÊNCIA MECÂNICA E PLASTICIDADE DE ARGAMASSA  
DOSADA COM RESÍDUO CERÂMICO PARA CONFORMAÇÃO DE PLACAS  
ARMADAS PARA APLICAÇÃO EM MATERNIDADE DE SUÍNOS**

**ARTICLE 2 - MECHANICAL STRENGTH AND PLASTICITY OF MORTAR MIXED  
WITH CERAMIC-BASED WASTE FOR THE FORMATION OF REINFORCED  
PANELS FOR APPLICATION IN SWINE MATERNITY FACILITIES**

Elaborado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2018).

## RESUMO

A atividade industrial relacionada à produção de materiais cerâmicos do tipo louça cerâmica sanitária é um setor de grande representatividade industrial. Destaca-se não só na economia global, mas também por gerar ao longo do processo de produção resíduos com reais possibilidades de serem utilizados como agregados na fabricação de argamassas. Dentre essas possibilidades, inclui-se seu potencial uso na fabricação de placas conformadas com argamassa armada, para serem empregadas em instalações para suínos, mais especificamente, no presente estudo, como divisórias e coberturas de escamoteadores em celas de maternidade. O objetivo deste trabalho foi a determinação das propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, dosadas com resíduos cerâmicos de louça sanitária, para aplicação em instalações de maternidade para suinocultura. O processo de dosagem das argamassas foi realizado a partir da substituição do agregado natural por resíduo cerâmico, nos teores de 0%, 12%, 25%, 37% e 50%, designada de AN, e também argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, designada AC, alterando somente a dosagem de água, para relação água/cimento 1,35, 1,20, 1,12, 1,05 e 0,90. O traço 1:4 em volume (cimento e agregado) foi utilizado na dosagem das argamassas, e a quantidade de água foi determinada a partir da condição de plasticidade das argamassas nos limites da condição plástica e seca. No estado fresco, a argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, designada AC-0,90, apresentou o melhor resultado de plasticidade, com resultado do ensaio que determina o índice de consistência de 346 mm, valor substancialmente mais elevado quando comparado ao valor de 294 mm, obtido para argamassa dosada com 50% de substituição do agregado natural por resíduo cerâmico, designada AN-1,35. O valor do índice de consistência indicado na norma ABNT NBR 16541, de 260 mm, foi obtido para argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, designada AC, com relação água/cimento 1,03. Para argamassa dosada por substituição do agregado natural por resíduo cerâmico, designada AN, o mesmo índice de consistência de 260 mm foi obtido com relação água/cimento mais baixo, de 0,61. Como a quantidade de cimento foi a mesma para ambas as dosagens AN e AC, verificou-se a partir desses resultados para essa condição de plasticidade o consumo maior de água no preparo da argamassa AC, elevando também a condição de porosidade da amostra. Essa condição elevada de porosidade para argamassa AC vai permitir que a placa fabricada apresente baixa condutividade térmica, uma condição importante para garantir a manutenção da temperatura no interior do escamoteador. A argamassa que apresentou o maior índice de vazios, de 30,86%, e a menor densidade de massa unitária da amostra seca, de  $2.134 \text{ g cm}^{-3}$ , foi a argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, AC-0,90, entretanto, apresentou também condição mínima de plasticidade, de 197 mm, resultado suficiente para realização das etapas de conformação das placas. Para argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, designada AC, é possível afirmar que a baixa disponibilidade de água na matriz cimentícia, ao longo das configurações das dosagens, elevou a porosidade das amostras. A baixa quantidade de água disponível na matriz cimentícia tornou a argamassa mais áspera, menos plástica, e com isso tem-se a incorporação gradual de ar, redução da densidade de massa unitária, elevação do índice de vazios e também da taxa de absorção de água das amostras. No estado endurecido, a argamassa AN, no teor de substituição de 25% do agregado natural por resíduo cerâmico, apresentou resultados elevados de densidade, velocidade do pulso no ensaio de ultrassonografia e maior resistência mecânica. A análise de regressão da argamassa AC, dosada com 100% de resíduo cerâmico, indicou a máxima resistência mecânica à compressão para relação água/cimento 1,03. A análise de regressão da argamassa AN, de relação água/cimento 0,61, a máxima resistência mecânica à compressão foi para argamassa com teor de substituição de 23,3% do agregado natural por resíduo cerâmico. Para a argamassa AN, a máxima resistência mecânica de cisalhamento ao 14º dia foi para o teor de substituição do agregado natural por

resíduo cerâmico, de 18,74%. Com índice de vazios elevado e resultado baixo do ensaio de ultrassonografia, indicando a elevada porosidade, mas apresentando resistência mecânica de 13,92 MPa e condições adequadas de plasticidade para aplicação da argamassa nas formas, esses resultados deixam evidente que a argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, AC-0,90, seja a mais adequada para aplicação na conformação de placas de baixa condutividade térmica para fabricação de divisórias e tampas (coberturas) de escamoteadores em instalações de maternidade na suinocultura.

**Palavras-chave:** Suinocultura; instalações de maternidade; resíduos cerâmicos; propriedades da argamassa.

## ABSTRACT

The industrial activity related to the production of sanitary ceramic ware is a highly significant sector in the global economy. It not only contributes to the economy but also generates waste throughout the production process, which has real potential for use as aggregates in mortar production. Among these possibilities is its potential use in the production of reinforced mortar panels, specifically for use in swine facilities, as partitions and coverings for creep areas in maternity pens. This study aimed at determining the properties of mortars in both fresh and hardened states, mixed with sanitary ceramic waste, for application in swine maternity facilities. The mortar mix design process involved replacing natural aggregate with ceramic waste at levels of 0%, 12%, 25%, 37%, and 50%, labeled as AN, and a mortar mixed with 100% ceramic waste, labeled AC, with varying water dosages at water/cement ratios of 1.35, 1.20, 1.12, 1.05, and 0.90. The 1:4 mix ratio by volume (cement and aggregate) was used in the mortar designs, and the water content was determined based on the plasticity condition of the mortars within the limits of plastic and dry states. In the fresh state, the mortar mixed with 100% ceramic waste, labeled AC-0.90, exhibited the best plasticity result, with a consistency index test result of 346 mm, a significantly higher value compared to the 294 mm obtained for the mortar mixed with 50% replacement of natural aggregate with ceramic waste, labeled AN-1.35. The consistency index value indicated in the ABNT NBR 16541 standard, of 260 mm, was obtained for the mortar mixed with 100% ceramic waste, labeled AC, with a water/cement ratio of 1.03. For the mortar mixed by replacing natural aggregate with ceramic waste, labeled AN, the same consistency index of 260 mm was obtained with a lower water/cement ratio of 0.61. As the amount of cement was the same for both AN and AC mixes, these results for this plasticity condition indicated a higher water consumption in the preparation of the AC mortar, also increasing the porosity of the sample. This elevated porosity condition for AC mortar will allow the manufactured panel to exhibit low thermal conductivity, an important condition for maintaining temperature within the creep area. The mortar that showed the highest void index, at 30.86%, and the lowest unit dry mass density, at 2.134 g/cm<sup>3</sup>, was the mortar mixed with 100% ceramic waste, AC-0.90; however, it also exhibited a minimal plasticity condition, of 197 mm, a result sufficient for the panel formation stages. For the mortar mixed with 100% ceramic waste, labeled AC, the low availability of water in the cementitious matrix throughout the dosage configurations increased the porosity of the samples. The low water content in the cementitious matrix made the mortar rougher, less plastic, and consequently, there was a gradual incorporation of air, a reduction in unit mass density, an increase in the void index, and an increase in the water absorption rate of the samples. In the hardened state, the AN mortar with 25% replacement of natural aggregate with ceramic waste showed high results for density, ultrasonic pulse velocity test, and mechanical strength. Regression analysis of the AC mortar, mixed with 100% ceramic waste, indicated maximum compressive strength at a water/cement ratio of 1.03. Regression analysis of the AN mortar, with a water/cement ratio of 0.61, showed maximum compressive strength for mortar with a 23.3% replacement of natural aggregate with ceramic waste. For the AN mortar, the maximum shear strength on the 14<sup>th</sup> day was for the replacement level of natural aggregate with ceramic waste at 18.74%. With a high void index and low ultrasound test result indicating high porosity, but with a mechanical strength of 13.92 MPa and adequate plasticity conditions for application in molds, these results clearly indicate that the mortar mixed with 100% ceramic waste, AC-0.90, is the most suitable for the formation of low thermal conductivity panels, for the production of partitions and covers (roofings) for creep areas in swine maternity facilities.

**Keywords:** Swine production; maternity facilities; ceramic waste; mortar properties.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o aumento crescente populacional urbano e o avanço industrial têm como resultado a geração de diversos tipos de materiais classificados como resíduos ou subprodutos, descartados em grande escala de forma incorreta no meio ambiente, sem nenhum tipo de processamento ou tratamento (Pitarch *et al.*, 2021).

Esses materiais residuais provenientes dos processos industriais são responsáveis por promover importantes impactos ambientais, impondo grandes desafios na implementação dos conceitos e práticas sustentáveis nos mais diversos setores industriais de produção (Awoyera; Olalusi; Iweriebo, 2021). Muitos desses materiais são potencialmente passíveis de serem reclassificados e utilizados em outros processos produtivos, ou seja, deixam a classificação de subproduto ou resíduo para condição de matérias-primas de elevado interesse industrial, agregando valor e promovendo propriedades importantes na produção de novos materiais. Isso ocorre em especial quando utilizados na fabricação de materiais cimentícios, como em produtos com argamassa, que pode ser utilizada em instalações agropecuárias, como as de maternidade na suinocultura, dividindo e cobrindo ambiente para os leitões, mantendo boas características térmicas (Anderson; Smith; Au, 2016; Zanelli *et al.*, 2021; Gautam *et al.*, 2021).

Materiais cimentícios podem apresentar cerca de 70% a 80% de agregados em sua composição. Esses materiais são originados a partir de recursos naturais não renováveis, explorados na natureza em caráter insustentável, em elevadas quantidades, a partir das taxas elevadas do desenvolvimento populacional urbano e dos processos industriais de produção (Mohanta; Murmu, 2022). Nesse sentido, a *International Energy Agency – IEA*, sediada em Paris, recomenda a utilização de materiais alternativos na fabricação de argamassas e concretos, a fim de minimizar os impactos ambientais crescentes na produção de materiais cimentícios (IEA, 2022).

Muitos laboratórios de pesquisa científica buscam identificar produtos alternativos, preferencialmente na condição de resíduos ou subprodutos industriais que apresentem potenciais propriedades para serem utilizados em substituição aos agregados naturais nos processos de fabricação de materiais como argamassas e concretos (Ray *et al.*, 2021).

A atividade industrial na produção de pisos e louças cerâmicas aparece nesse cenário como sendo um importante local de coleta de subprodutos para serem utilizados como agregados alternativos na fabricação de argamassa e concreto (Zanelli *et al.*, 2021).

Dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres – ANFACER, em referência ao período de 2014 a 2019,

mostraram a produção mundial de 8.432 milhões de metros quadrados em cinco países: China, Índia, Brasil, Vietnã e Espanha (ANFACER, 2020).

Somente no mercado interno brasileiro, em 2020 foram produzidos 826 milhões de metros quadrados de revestimentos cerâmicos e 22 milhões em louças cerâmicas sanitárias, como vasos, lavatórios, tanques, colunas, entre outros. Nesse cenário, tem-se o vaso sanitário com caixa acoplada representando 37% na produção total (ANFACER, 2020).

A geração de resíduos ao longo das etapas do processo de produção na indústria cerâmica apresenta valores entre 10% e 30% do total de peças produzidas.

Um estudo realizado no estado de São Paulo em 2018, pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT, e também resultados de estudos disponibilizados pelo Ministério de Minas e Energia – MME em 2009 indicaram que as perdas na atividade industrial eram de 20%, e a região de Santa Gertrudes – SP como sendo o grande polo industrial, respondendo por 80% da produção brasileira de produtos cerâmicos (MME, 2009; IPT, 2018; ANFACER, 2020).

A partir da constatação da geração substancial de resíduos na produção de materiais cerâmicos, no ano de 1972, Kats e Kvyatkovskaya (1972) demonstraram em seu estudo a possibilidade de processamento desses resíduos industriais. Zanelli *et al.* (2021) em seus estudos constataram nas décadas de 1980 e 1990 o interesse maior dos pesquisadores, e a partir dos anos 2.000 as publicações e os estudos envolvendo esses materiais alcançaram números mais expressivos.

Como forma de mitigar o problema dos resíduos gerados, legislações estão sendo implementadas para atividade industrial na produção de materiais cerâmicos, como ISO 17889-1:2021 *Ceramic tiling systems - Sustainability for ceramic tiles and installation materials* (Souza *et al.*, 2018; Silvestri *et al.*, 2020; ISO 17889-1, 2021).

Em paralelo às certificações, criou-se também uma classificação para várias atividades industriais nesse setor, que utiliza como referência para análise os processos industriais praticados e suas características em relação aos tipos de emissões e poluentes, servindo como indicadores para atribuição de metas e critérios mais sustentáveis na linha de produção.

A indústria cerâmica aparece nesse cenário com muitas responsabilidades por estar na classificação de atividade industrial que apresenta elevado consumo energético, devido ao processo de queima envolvendo altas temperaturas e também por contribuir significativamente com emissões de materiais no ar, solo e água, como gases do processo de queima, materiais particulados, materiais líquidos e substâncias lixiviadas (Souza *et al.*, 2018; Zanelli *et al.*, 2021).

Gautam *et al.* (2021) indicam importantes benefícios nas propriedades dos materiais de base cimentícia, como argamassas e concretos quando dosados com resíduos cerâmicos industriais na condição de agregados.

A construção pré-fabricada na produção de módulos ou placas é um processo construtivo bastante difundido nos dias atuais, apresentando inúmeras vantagens por apresentar baixo custo e rápida execução, sendo que as placas podem ser transportadas com facilidade e apresentam um controle rigoroso em termos de propriedades, uma vez que são produzidas em série em instalações industriais (Rangasamy; Yang, 2024).

A metodologia para produção das placas pré-fabricadas ocorre a partir da utilização de fôrmas que podem ser conformadas em concreto ou argamassa, entretanto, devem apresentar obrigatoriamente armadura nos sentidos longitudinal e transversal, podendo ser do tipo tela eletrossoldada (Trigo, 2009).

Em relação aos esforços aplicados nas placas, as armaduras desempenham um papel fundamental, são responsáveis por resistirem às solicitações para os esforços de tração, e a argamassa é responsável por resistir aos esforços de compressão, garantindo assim a capacidade de resistência da placa a partir das solicitações em serviços (Carvalho; Figueiredo Filho, 2007).

A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, empresa fundada em 1936, de grande prestígio nacional e internacional, responsável por desenvolver estudos, aplicações e também regulamentar no Brasil todas as atividades industriais relacionadas à fabricação ou utilização do material cimento no desenvolvimento de novos produtos, em especial indústrias produtoras de estruturas pré-fabricadas na condição de placas modulares, publicou um importante informativo técnico sobre a utilização de placas armadas e conformadas com argamassa (ABCP, 2024).

O informativo técnico BT-126 publicado pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP trata da versatilidade na utilização de placas armadas pré-fabricadas conformadas com argamassa na execução das construções, especialmente para aplicações em construções rurais, na fabricação de galpões, silos, reservatórios, estábulos, bebedouros, tanques de banho dos animais, entre outros (ABCP, 1996).

Na suinocultura as placas pré-fabricadas podem ser aplicadas em diversos locais da cela de maternidade, seja na divisão das celas ou na fabricação dos módulos que compõem o escamoteador. Castro *et al.* (2011) utilizaram placas de ardósia na divisão das celas de maternidade em substituição à alvenaria convencional.

No trabalho de Damasceno *et al.* (2018) os autores estudaram argamassa armada para aplicação em pequenas construções rurais, substituindo as armaduras convencionais em aço por

bambu. As argamassas estudadas foram preparadas utilizando seis tipos de reforços utilizando bambu, e os resultados de resistência mecânica para esforços à compressão não indicaram melhorias, entretanto, o tratamento do bambu com bio-óleo e a secagem elevaram os resultados para os esforços de resistência mecânica à tração.

No trabalho de Araújo e Cândido (2015) os autores estudaram argamassa dosada com agregados do tipo vermiculita expandida e duas proposta de armadura, uma armadura do tipo tela eletrossoldada e uma armadura do tipo tela de fibra de vidro. A utilização da vermiculita como agregado reduziu os esforços de resistência mecânica à compressão e à tração das placas, entretanto, os autores verificaram uma elevação de 10% na condição isolante das placas.

Dadas as demandas relacionadas à sustentabilidade na cadeia produtiva industrial de materiais cerâmicos, em especial fabricação de louças cerâmicas sanitárias, o objetivo deste trabalho foi avaliar a plasticidade e a resistência mecânica de argamassas dosadas com resíduos cerâmicos industriais originados da fabricação de louças sanitárias, para serem aplicadas na conformação de placas armadas a serem usadas na manufatura de escamoteadores em instalações de maternidade na suinocultura.

Nesta pesquisa foram preparadas duas argamassas, uma dosadas com 100% de resíduo cerâmico como agregado, variando a dosagem de água, designada AC, para relação água/cimento 1,35, 1,20, 1,12, 1,05 e 0,90, e a outra argamassa dosada substituindo o agregado natural por resíduo cerâmico, designada AN, nos teores 0%, 12%, 25%, 37% e 50%. Os acrônimos AN e AC referem-se ao agregado natural e agregado cerâmico, respectivamente.

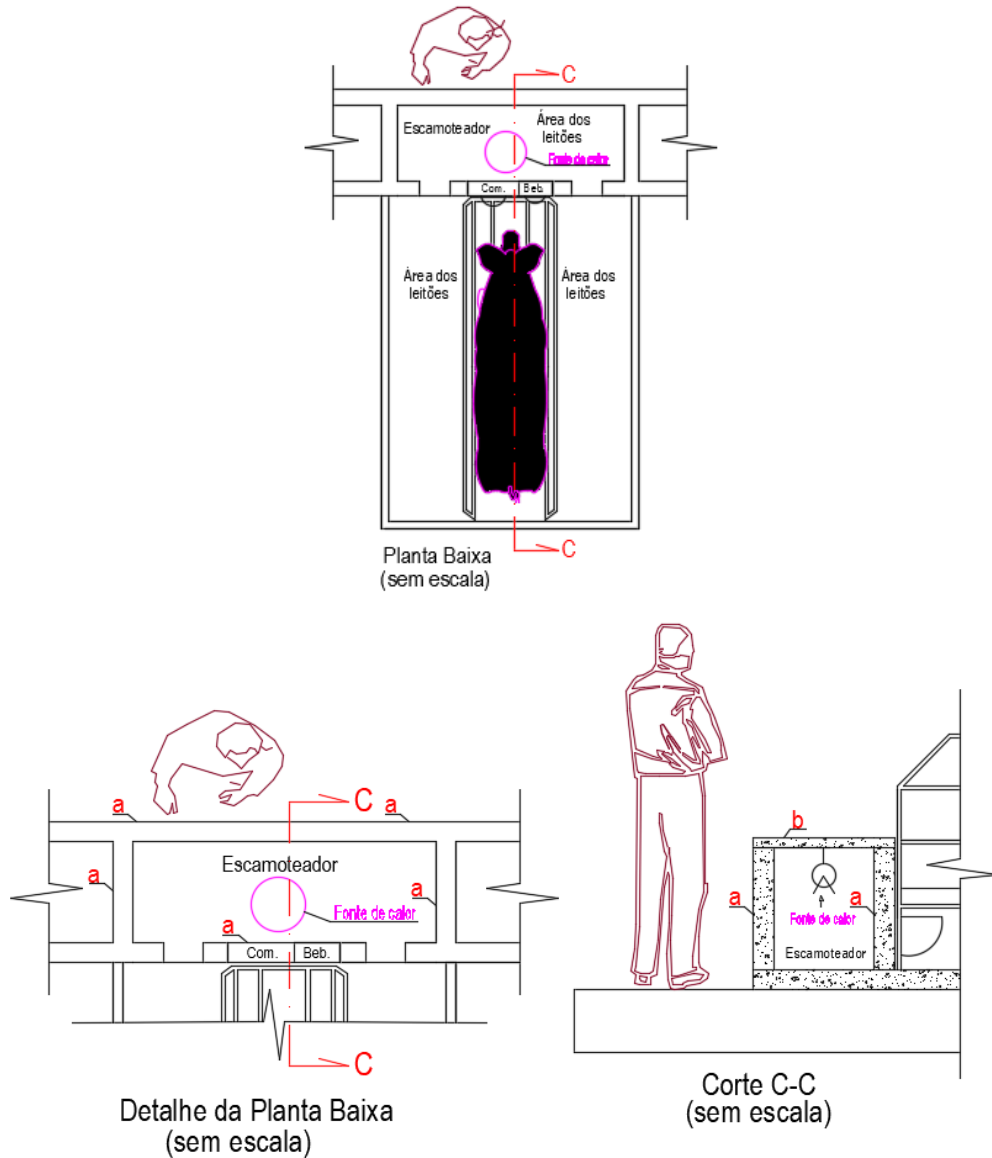
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido mediante parcerias estabelecidas entre o COAMBI – Grupo de Pesquisa em Construções e Ambiente em Biosistemas, da Universidade Federal de Lavras – MG; Laboratório de Tecnologia do Concreto e Argamassa, do Instituto Federal do Sul de Minas – MG; Laboratório de Tecnologia dos Materiais, da Universidade Federal de Lavras – MG; Laboratório de Caracterização de Microestrutura, da Universidade Federal de São Carlos – SP; e também com a parceria da Indústria de Materiais Refratários TOGNI S/A, fundada em 1910, sediada em Poços de Caldas – MG.

Visando atender aos objetivos do trabalho, o processo de produção das peças para escamoteadores (Figura 1) proposto foi do tipo modular, composto por chapas de argamassa armada, passíveis de produção em série, reduzindo, dessa forma, os custos. Para atender a este objetivo, é necessário que a argamassa apresente plasticidade a partir dos resultados do ensaio que determina o índice de consistência, permitindo a execução da etapa de conformação das peças, e também elevadas propriedades de resistência mecânica à compressão e cisalhamento.

Nos tópicos a seguir são descritos a metodologia empregada para a preparação das argamassas ensaiadas e os testes empregados nas amostras ensaiadas.

Figura 1 - Representação esquemática de uma cela de maternidade de suinocultura típica, sendo “a” as divisórias e “b” a tampa (ou cobertura) do escamoteador.



Fonte: Do autor (2024).

## 2.1 Materiais utilizados: cimento, pó de brita e resíduo cerâmico

As dosagens das argamassas utilizadas nos ensaios para obtenção dos corpos de prova foram produzidas utilizando como aglomerante cimento do tipo CPV ARI de alta resistência inicial, em conformidade com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 16.697 (ABNT, 2018), por conter quantidades elevadas de clínquer. Como agregado miúdo utilizou-se agregado natural do tipo pó de brita, conforme indicado na Figura 2 (a), obtido na região da cidade de Pouso Alegre – MG, Brasil, e resíduo cerâmico originado do processo industrial referente à fabricação de louças cerâmicas sanitárias, conforme indicado na Figura 2

(b). O resíduo foi coletado na Indústria de Materiais Refratários TOGNI S/A, sediada na cidade de Poços de Caldas – MG, Brasil.

Figura 2 - Agregados utilizados nas dosagens das argamassas.



Fonte: Do autor (2024).

O resíduo cerâmico proveniente da fabricação de louça cerâmica sanitária disponibilizado pela indústria é originado a partir do processamento por moagem de peças que foram descartadas no final da linha de produção, posterior à etapa de queima. A moagem do resíduo ocorreu na própria planta da empresa, apresentando 67,81% das partículas, com diâmetro  $\leq 0,30$  mm.

## 2.2 Caracterização química dos materiais

A caracterização química do aglomerante pó de brita e do resíduo cerâmico foi realizada no Laboratório de Caracterização Estrutural (LCE) da Universidade Federal de São Carlos – SP, Brasil. A caracterização química do aglomerante pó de brita e do resíduo cerâmico foi realizada por análise química por fluorescência de raios X. Também foi realizada análise química por difração de raios X do aglomerante.

## 2.3 Caracterização física dos materiais

Para o aglomerante, foi determinada a resistência mecânica à compressão, conforme procedimentos descritos na norma NBR 7215 (ABNT, 2019), os tempos de pega inicial e final, conforme norma NBR 16.607 (ABNT, 2018a), e densidade de massa unitária e específica, conforme norma NBR 16.605 (ABNT, 2017).

Para o pó de brita e resíduo cerâmico, foram determinadas a densidade de massa específica e a densidade de massa unitária, conforme a norma NBR 16.972 (ABNT, 2021c), e distribuição granulométrica das partículas, diâmetro máximo e módulo de finura, conforme norma NBR 7211 (ABNT, 2022a). A taxa de absorção de água e o teor de material pulverulento foram determinados conforme as normas NBR 16.916 (ABNT, 2021b) e NBR 16.973 (ABNT, 2021d).

Análises utilizando técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV) também foram utilizadas para a caracterização dos materiais. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização Estrutural – LCE, do departamento de Engenharia dos Materiais – DMA, da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. O equipamento utilizado nas análises de microscopia foi o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Magellan 400 L FEG (*Field Emission Gun*), de extrema alta resolução, que permite resolução subnanométrica e possui sistema de microanálise por EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*).

## 2.4 Dosagem das argamassas

O processo de dosagem das argamassas teve como objetivo obter amostras a partir da variação da quantidade de água disponível na matriz da argamassa. Com isso, tem-se também a variação da porosidade das amostras, permitindo a obtenção de resultados que possibilitassem melhor compreensão das propriedades de resistência mecânica e condutividade térmica, para o intervalo da relação água/cimento variando entre 0,61 e 1,35.

Em relação às dosagens das argamassas, utilizou-se como referência o traço em volume para argamassa T = 1:4 (cimento e agregado), conforme as normas que estabelecem a dosagem em volume das argamassas NBR-9817 (ABNT, 1987 - confirmada em 2022b) e BSI 6697 (2019) - *British Standards Institution*, utilizadas também pelos autores Matias, Faria e Torres (2014), Gupta e Vyas (2018), Torres *et al.* (2020), Geraldo, Fernandes e Camarini (2021) e Murthi *et al.* (2021).

Para avaliação da influência do resíduo cerâmico nas propriedades das argamassas no traço em volume 1:4, foram propostas duas dosagens de argamassa: dosagem com agregado natural, designada de AN, e dosagem utilizando resíduo cerâmico como agregado, designada de AC. Para cada dosagem foram realizadas cinco composições distintas. Os acrônimos AN e AC referem-se ao agregado natural e agregado cerâmico, respectivamente.

As cinco composições das amostras das argamassas foram determinadas considerando os parâmetros de plasticidade para intervalos de classe das argamassas variando da condição

plástica para condição seca, entretanto, limitando-se aos eventos referentes à perda de coesão ou promoção da segregação, como apregoa a norma NBR-12.041 (ABNT, 2012a).

A dosagem das argamassas AN ocorreu a partir da relação água/cimento 0,61 e da substituição direta do agregado miúdo natural pó de brita por resíduo cerâmico, nos teores de 0%, 12%, 25%, 37% e 50%, conforme metodologia realizada nos trabalhos de Awoyera *et al.* (2017), Matos *et al.* (2021), Tutkun, Beglarigale e Yazici (2022), Zhang *et al.* (2023) e Kopuri, Priyadharshani e Sah (2023).

Para a dosagem das argamassas AC, utilizaram-se 100% de resíduo cerâmico como agregado miúdo, variando somente a quantidade de água para relação de água/cimento 1,35, 1,20, 1,12, 1,05 e 0,90.

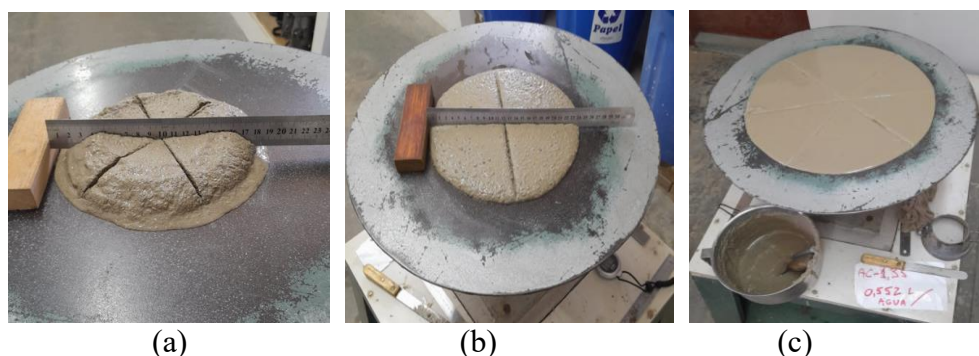
## 2.5 Propriedades das argamassas no estado fresco

### 2.5.1 Determinação do índice de consistência

No estado fresco, a plasticidade das argamassas foi avaliada a partir dos resultados obtidos no ensaio que determina o índice de consistência, conforme as normas NBR 13.276 (ABNT, 2016a) e NBR 16.541 (ABNT, 2016b). A Figura 3 indicou as três condições de plasticidade das argamassas estudadas: (a) para condição seca; (b) para condição plástica; e (c) para condição de elevada plasticidade nos limites da segregação.

A plasticidade das argamassas é uma propriedade importante na etapa de fabricação das placas armadas utilizadas na construção dos escamoteadores, pois o material deve apresentar plasticidade suficiente para ocupar todos os espaços da fôrma, envolvendo também todas as armaduras no processo de conformação das placas utilizando as argamassas.

Figura 3 - Determinação do índice de consistência das argamassas dosagens AN e AC para condições seca e plástica.



Fonte: Do autor (2024).

## **2.6 Propriedades das argamassas no estado endurecido**

### **2.6.1 Absorção de água e índice de vazios das argamassas**

Os ensaios referentes à capacidade de absorção de água e ao índice de vazios das argamassas foram realizados no 28º dia, conforme preconizado pela norma NBR 9778 (ABNT, 2009a).

### **2.6.2 Densidades de massa unitária e específica das argamassas hidratadas**

As densidades de massa unitária e específica das argamassas também foram determinadas no 28º dia, conforme a norma NBR 9778 (ABNT, 2009a), que especifica:

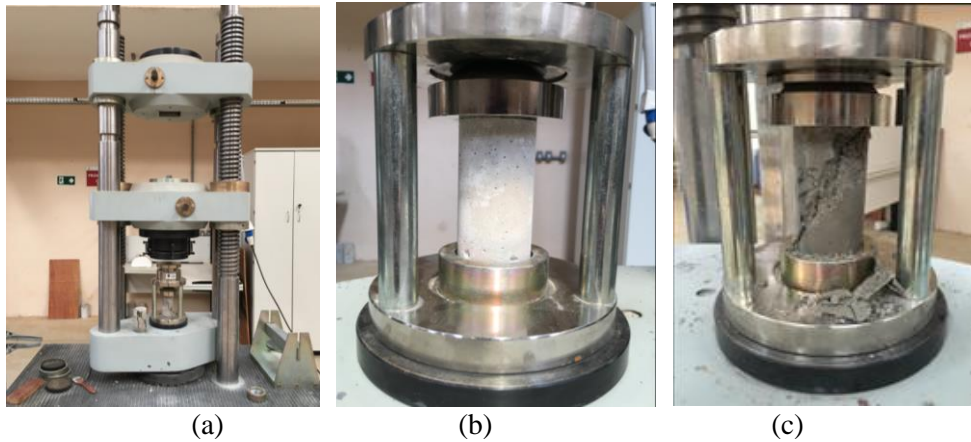
- Densidade de massa específica da amostra seca ( $\rho_s$ ), ou densidade de massa unitária (DMU), como sendo a relação entre a massa do material seco e o volume total da amostra, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis.
- Densidade de massa específica real ( $\rho_r$ ), ou densidade de massa específica (DME), como sendo a relação entre a massa do material seco e o seu volume, excluindo os poros.

### **2.6.3 Resistência mecânica à compressão e cisalhamento por tração diametral**

Os ensaios para avaliar as propriedades de resistência mecânica à compressão e cisalhamento por tração diametral foram realizados conforme a norma NBR 12.041 (ABNT, 2012a). Após 24 horas da conformação dos corpos de provas, as amostras foram desmoldadas e submetidas ao processo de cura por molhagem. Nos tempos de 7, 14 e 28 dias, as amostras foram ensaiadas em uma prensa com aplicação de carga eletrônica, servo automático e velocidade controlada, conforme especificação da respectiva norma.

Para a determinação da resistência mecânica para os esforços de compressão, os corpos de prova foram no formato cilíndrico de 5 cm x 10 cm, conforme pode ser observado na Figura 4.

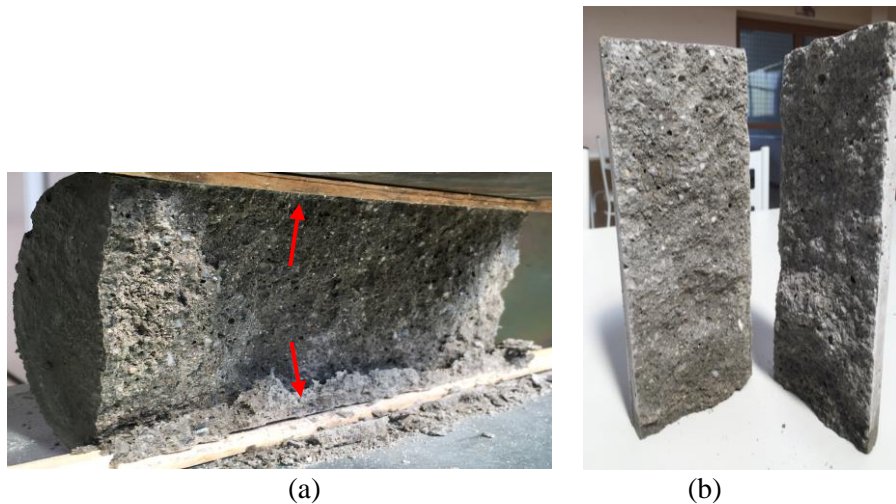
Figura 4 – Ensaio para determinação da resistência mecânica para os esforços de compressão, nos corpos de prova de 5 cm x 10 cm.



Fonte: Do autor (2024).

Para a determinação da resistência mecânica para os esforços de cisalhamento, as amostras foram colocadas na prensa na posição horizontal, sob duas guarnições de madeira, conforme pode ser observado na Figura 5 (a). Na Figura 5 (b) é possível observar a amostra AN-0% já ensaiada.

Figura 5 - Ensaio para determinação da resistência mecânica para os esforços de cisalhamento, nos corpos de prova de 5 cm x 10 cm.



Fonte: Do autor (2024).

A análise estatística para os dados de resistência mecânica à compressão e cisalhamento foi conduzida a partir do delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 5 x 3, com 6 repetições. Para a argamassa AN foram considerados 5 níveis de porcentagem de resíduo cerâmico AN (0%, 12%, 25%, 37% e 50%) e 3 idades de cura (7, 14 e 28 dias). Para a

argamassa AC foram consideradas 5 relações água/cimento (0,90, 1,05, 1,12, 1,20 e 1,35) e 3 idades de cura (7, 14 e 28 dias).

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o Teste F ( $p < 0,05$ ). Quando houve efeito significativo para o fator quantitativo, aplicou-se a análise de regressão ( $p < 0,05$ ). As análises foram realizadas com a utilização do *software* R (R Core Team, 2023).

#### **2.6.4 Ensaio de ultrassonografia**

O ensaio de ultrassonografia fornece resultados da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas nas amostras das argamassas. Os valores baixos de propagação das ondas em ensaios de ultrassonografia são resultados observados em amostras que apresentaram resultados baixos de resistência mecânica e densidade e elevado índice de vazios. Com isso, a análise utilizando técnicas de ultrassonografia corrobora a caracterização das condições de porosidade das amostras estudadas e, também, em especial, da sua propriedade térmica isolante.

Para o ensaio utilizando técnicas de ultrassonografia (Figura 6), as amostras das argamassas foram ensaiadas no 28º dia, e o ensaio foi realizado conforme a norma NBR 15.630 (ABNT, 2009b). Antes de realizar os ensaios nas amostras das argamassas, o equipamento foi calibrado com amostra padrão, que compõe o *kit* de peças utilizadas nas análises, conforme pode ser observado na Figura 6 (a).

O equipamento utilizado nos ensaios de ultrassonografia das amostras foi o PUNDIT LAB +, de procedência Suíça, com transdutores de 54 kHz, cabo USB, *software* para transferência de dados para computador com capacidade de memória interna para 500 leituras, amostra padrão calibração do equipamento, com autonomia de 20 horas, atendendo a norma para argamassa NBR 15.630 (ABNT, 2009b).

Figura 6 - Foto do equipamento de ultrassonografia (a) e o ensaio realizado na argamassa dosada com agregado natural, amostra AN-0% (b).



(a) Calibração do equipamento



(b) Ensaio realizado na amostra AN-0%

Fonte: Do autor (2024).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.2 Caracterização química dos materiais

##### 3.2.1 Caracterização química do aglomerante

Os resultados das análises químicas do aglomerante, indicando os principais compostos, foram obtidos por difração de raios X e são apresentados na Tabela 1. A análise realizada por fluorescência de raios X, indicando os principais elementos químicos, é apresentada na Tabela 2.

Tabela 1 - Análise química do cimento por difração de raios X.

Compostos químicos	Fórmula química	(%)
C <sub>3</sub> S	Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub>	43,35
C <sub>2</sub> S	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	9,95
C <sub>3</sub> A Ortorrômbico	Na <sub>2</sub> Ca <sub>8</sub> Al <sub>16</sub> O <sub>18</sub>	2,47
C <sub>3</sub> A Cúbico	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	1,31
C <sub>4</sub> AF	Ca <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>10</sub>	3,43
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	8,51
Portlandita	Ca(OH) <sup>2</sup>	1,59
Periclásio	MgO	1,63
CaO Livre	CaO	0,26
Outros		27,50

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 2 - Análise química do cimento por fluorescência de raios X.

Elemento químico	(%)
Ca	80,90
Si	6,53
Fe	4,71
S	2,60
Al	2,59
K	1,40
Sr	0,70
Ti	0,28
Mn	0,14
Outros	0,16

Fonte: Do autor (2024).

A análise por difração de raios X indicou uma quantidade elevada dos compostos de silicato,  $C_3S$  e  $C_2S$ , o que já era esperado, uma vez que são compostos responsáveis na liberação dos principais íons no processo de hidratação da partícula do cimento. A análise por fluorescência de raios X indicou uma quantidade elevada de cálcio, Ca, o que também já era esperado, por se tratar do elemento químico presente em grande quantidade nas principais estruturas formadas na hidratação do cimento, denominado de silicato de cálcio hidratado, hidróxido de cálcio, trissulfoaluminato e monossulfoaluminato de cálcio hidratado.

### 3.1.2 Caracterização química dos agregados

A análise química por fluorescência de raios X do resíduo cerâmico e do pó de brita é indicada na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise química do resíduo cerâmico e do pó de brita.

Elemento químico (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	ZnO	ZrO <sub>2</sub>	PO	SO <sub>3</sub>	Outros
Resíduo cerâmico	48,38	19,52	6,09	4,95	9,68	0,48	1,76	2,24	5,38	1,15	0,00	0,37
Pó de brita	49,22	15,77	13,31	8,47	7,69	1,76	0,98	2,45	0,05	0,05	0,09	0,17

Fonte: Do autor (2024).

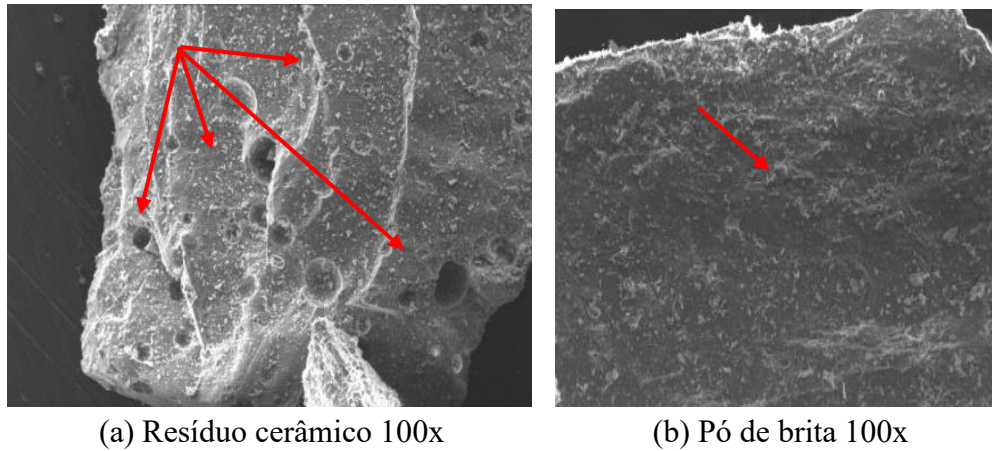
### 3.2 Caracterização física dos materiais

A análise por imagens realizada em ensaios de microscopia eletrônica de varredura do resíduo cerâmico, como pode ser observado na Figura 7 (a), mostra quantidade elevada de poros na região superficial, quando comparada com a análise realizada na superfície do pó de brita, indicado na Figura 7 (b).

Na pesquisa de Torkittikul e Chaipanich (2010), utilizando análise de microscopia eletrônica, também foi verificada essa condição de porosidade do resíduo cerâmico.

Vieira *et al.* (2016), Ray *et al.* (2022) e Silva *et al.* (2022) verificaram que a porosidade superficial elevada no resíduo cerâmico estaria relacionada com a dosagem elevada de água e com aditivos incorporadores de ar para melhorar as características em termos de plasticidade, ambos presentes em grande quantidade na barbotina, principal material utilizado na fabricação das louças cerâmicas sanitárias.

Figura 7 - Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura do resíduo cerâmico (a) e do agregado natural do tipo pó de brita (b).



(a) Resíduo cerâmico 100x

(b) Pó de brita 100x

Fonte: Do autor (2024).

### 3.2.1 Caracterização física do aglomerante

O resultado para densidade de massa específica do aglomerante foi de  $3,15 \text{ g cm}^{-3}$ , e a densidade de massa unitária foi de  $1,41 \text{ g cm}^{-3}$ . Os resultados dos tempos de pega, inicial e final, foram de 3h50min e 6h30min, respectivamente. A resistência mecânica à compressão, nos períodos de 7, 14 e 28 dias, foram de 35,74 MPa, 43,75 MPa e 53,98 MPa, respectivamente.

### 3.2.2 Caracterização física dos agregados

#### 3.2.2.1 Densidade de massa específica e unitária

Os resultados para densidade de massa unitária e específica do resíduo cerâmico e do pó de brita são apresentados na Tabela 4.

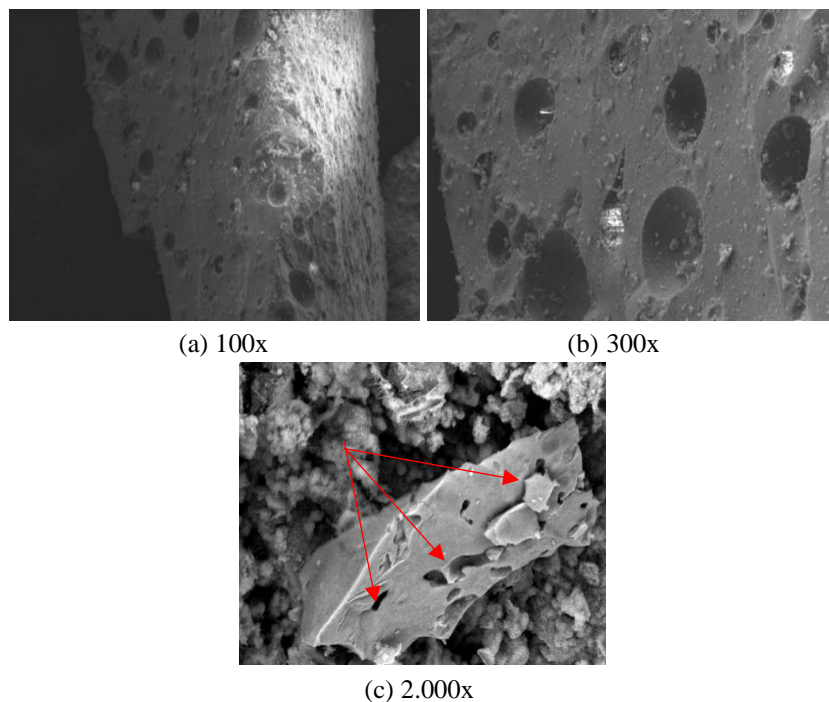
Tabela 4 - Densidade de massa unitária e densidade de massa específica.

Caracterização física dos materiais		
Material	Densidade de massa unitária ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Densidade de massa específica ( $\text{g cm}^{-3}$ )
Pó de brita	1,54	2,71
Resíduo cerâmico	1,59	2,40

Fonte: Do autor (2024).

O resultado da densidade de massa específica (DME) do pó de brita apresentou valor mais elevado comparado ao valor obtido para o resíduo cerâmico. O resultado indicou condição de porosidade menor para o agregado natural, o que já era esperado. A caracterização por imagens dos agregados, conforme observado na Figura 8, corrobora com a análise evidenciando a porosidade do resíduo cerâmico.

Figura 8 - Imagens da superfície do resíduo cerâmico (a) e (b), mostrando a porosidade do resíduo cerâmico ampliado em 100x, 300x, e (c) porosidade interna do resíduo cerâmico ampliado em 2.000x.



Fonte: Do autor (2024).

Nos trabalhos de Vieira *et al.* (2016) e Ray *et al.* (2022), foi possível verificar que a natureza física do resíduo de louça cerâmica sanitária, fabricada a partir da barbotina, será sempre mais porosa comparada à natureza física dos agregados naturais, formados por longos períodos de tempo.

A caracterização por imagem, demonstrando a condição porosa do resíduo cerâmico, também foi verificada nos trabalhos de Tutkun, Beglarigale e Yazici (2022) e de forma esquemática por Zegardło, Szelağ e Ogródnik (2018).

Para os resultados de densidade de massa unitária (DMU), observaram-se valores mais elevados para o resíduo cerâmico, demonstrando maior massa por unidade de volume, mesmo sendo de natureza mais porosa. Nesse sentido, o que pode ter influenciado esse resultado é a baixa condição granulométrica do resíduo cerâmico, comparada à granulometria relativamente

maior do agregado natural. Esta condição pode ser verificada nos resultados do módulo de finura, teor de material pulverulento e no próprio gráfico de granulometria.

A elevada densidade de massa unitária do resíduo cerâmico está relacionada ao preenchimento do volume de vazios por partículas menores, permitindo uma quantidade maior do material em massa por unidade de volume, refinando o preenchimento da curva granulométrica.

Para densidade de massa específica do resíduo cerâmico (DME), Ray *et al.* (2021) obtiveram valores variando de 2,30 g cm<sup>-3</sup> a 2,41 g cm<sup>-3</sup>; Tutkun, Beglarigale e Yazici (2022) obtiveram 2,38 g cm<sup>-3</sup>; e Martínez, Rojas e Frías (2012) obtiveram 2,39 g cm<sup>-3</sup>.

Para densidade de massa específica do pó de brita (DME), Ray *et al.* (2022) obtiveram valor de 2,11 g cm<sup>-3</sup>; Gupta e Vyas (2018) obtiveram 2,46 g cm<sup>-3</sup>; e os valores obtidos por Shen *et al.* (2018) foram no intervalo de 2,74 a 2,90 g cm<sup>-3</sup>.

Para densidade de massa unitária do resíduo cerâmico (DMU), Ray *et al.* (2021) obtiveram valores no intervalo de 1,23 a 2,26, e 2,36 g cm<sup>-3</sup>; Vieira *et al.* (2016) obtiveram 1,32 g cm<sup>-3</sup>.

Para densidade de massa unitária do pó de brita (DMU), Ray *et al.* (2022) obtiveram 1,43 g cm<sup>-3</sup>; Rajput (2018) obteve 1,82 g cm<sup>-3</sup>; e em Shen *et al.* (2018) os valores obtidos foram no intervalo de 1,58 g cm<sup>-3</sup> a 1,63 g cm<sup>-3</sup>.

Comparando os resultados, verificou-se que a densidade de massa específica (DME) do resíduo cerâmico obtida nesta pesquisa, de 2,40 g cm<sup>-3</sup>, ficou próxima à obtida por Rojas e Frías (2012), que obtiveram 2,41 g cm<sup>-3</sup>, e Ray *et al.* (2021), que obtiveram 2,39 g cm<sup>-3</sup>. Para o agregado natural do tipo pó de brita, a densidade de massa específica (DME) obtida nesta pesquisa, de 2,71 g cm<sup>-3</sup>, ficou próxima à observada por Shen *et al.* (2018), de 2,74 g cm<sup>-3</sup>.

Para densidade de massa unitária (DMU), o valor obtido nesta pesquisa para o resíduo cerâmico, de 1,59 g cm<sup>-3</sup>, ficou próximo ao observado por Vieira *et al.* (2016), de 1,32 g cm<sup>-3</sup>, e para o agregado natural do tipo pó de brita, a densidade de massa unitária (DMU) obtida nesta pesquisa, de 1,54 g cm<sup>-3</sup>, ficou próxima à observada por Shen *et al.* (2018), de 1,58 g cm<sup>-3</sup>.

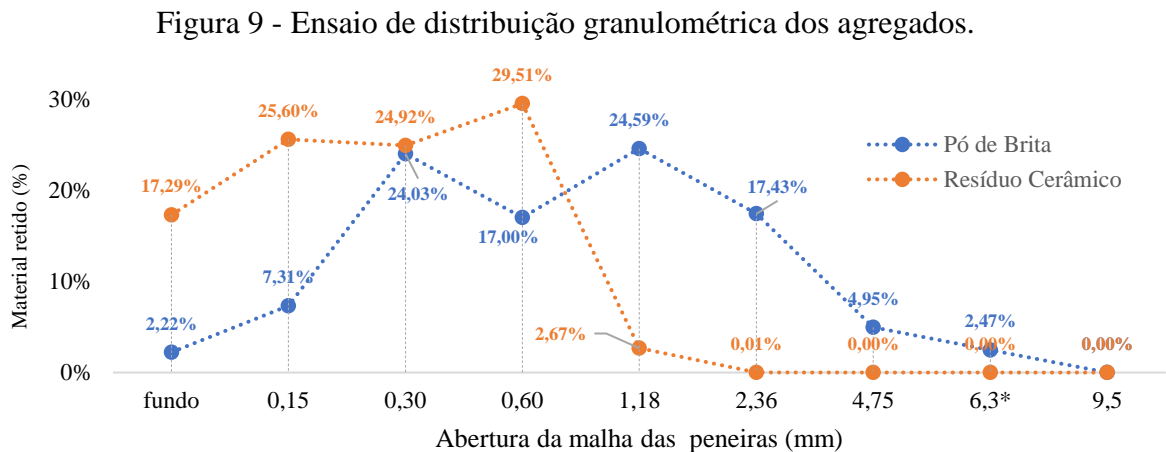
### **3.2.2.2 Taxa de absorção de água**

A taxa mais elevada para o ensaio da absorção de água foi observada para o resíduo cerâmico, de 7,91%, quando comparado ao agregado natural referente ao pó de brita, de 2,81%. Este resultado pode estar associado à própria natureza física do resíduo cerâmico em termos de baixa densidade, depreendendo-se que este último é mais poroso.

Rashid *et al.* (2017) encontraram taxa de absorção de água de 17,39% para agregado de resíduo cerâmico, valor mais elevado quando comparado com o resultado obtido nesta pesquisa. Para o agregado natural, os mesmos autores obtiveram taxa de absorção de água de 2,66%, valor próximo ao obtido nesta pesquisa. Já no trabalho de Ray *et al.* (2022), a taxa de absorção de água para agregado natural foi de 3,30%. Zegardło, Szela e Ogrodnik (2018) encontraram uma taxa de absorção de água para agregado de resíduo cerâmico de 1,50%, valor mais baixo comparado ao obtido nesta pesquisa.

### 3.2.2.3 Distribuição granulométrica, módulo de finura e diâmetro máximo

A distribuição granulométrica dos agregados pode ser observada na Figura 9. Os diâmetros máximos foram de 2,36 mm e 6,30 mm, para resíduo cerâmico e pó de brita, respectivamente. O módulo de finura encontrado foi de 1,74 e 3,36, para resíduo cerâmico e pó de brita, respectivamente.



Fonte: Do autor (2024).

As características granulométricas dos materiais mantêm relação direta com o processo de moagem em termos de tempo de processamento, rotação da máquina, tipo de equipamento utilizado, quantidade de material processado, entre outros, influenciados também pela composição química dos materiais, propriedades de resistência mecânica e dureza.

### 3.2.2.4 Teor de material pulverulento dos agregados

O resultado obtido para o teor de material pulverulento foi de 16,18% em massa para o resíduo cerâmico, e apenas 1,93% para o resíduo natural do tipo pó de brita. Nesse sentido,

verificou-se uma condição granulométrica mais baixa para o resíduo cerâmico. Os gráficos da distribuição granulométrica, na Figura 8, corroboram as análises, tendo em vista a quantidade elevada do resíduo cerâmico retida nas peneiras abaixo da malha de abertura 0,30 mm.

Para agregado natural do tipo pó de brita, He *et al.* (2022) obtiveram 4,90% de material pulverulento, valor mais elevado do que o obtido nesta pesquisa. Para o resíduo cerâmico, o valor encontrado por Pitarch *et al.* (2019) foi de 15,56%, valor similar ao obtido nesta pesquisa.

### 3.3 Dosagem das argamassas

As dosagens obtidas para as argamassas são apresentadas na Tabela 5 e Figura 10, para dosagem AN, e na Tabela 6 e Figura 11, para dosagem AC.

A condição elevada de plasticidade para argamassa dosagem AN 0% foi alcançada com relação água/cimento 0,61. Para argamassa dosagem AC-1,35, utilizando os mesmos parâmetros de plasticidade, a relação água/cimento foi de 1,35.

Tabela 5 - Dosagem das argamassas obtidas por substituição de agregado natural por resíduo cerâmico, designada AN.

Identificação das argamassas	Agregados				Cimento (kg)	Água (kg)	Relação água/cimento
	Pó de brita (kg)	Resíduo cerâmico (kg)					
AN_0%	100%	1,786	0%	0,000	0,409	0,248	0,61
AN_12%	88%	1,571	12%	0,214	0,409	0,248	0,61
AN_25%	75%	1,339	25%	0,446	0,409	0,248	0,61
AN_37%	63%	1,125	37%	0,660	0,409	0,248	0,61
AN_50%	50%	0,893	50%	0,893	0,409	0,248	0,61

Fonte: Do autor (2024).

Figura 10 - Amostras dosagem AN.



AN-0% AN 50%

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 6 - Dosagem das argamassas utilizando 100% de resíduo cerâmico como agregado, designada AC.

Identificação das argamassas	Resíduo cerâmico (kg)	Cimento (kg)	Água (kg)	Redução da água (%)	Relação água/cimento
AC_1,35	1,845	0,409	0,552	0,00%	1,35
AC_1,20	1,845	0,409	0,491	-11,05%	1,20
AC_1,12	1,845	0,409	0,458	-17,03%	1,12
AC_1,05	1,845	0,409	0,429	-22,28%	1,05
AC_0,90	1,845	0,409	0,368	-33,33%	0,90

Fonte: Do autor (2024).

Figura 11 - Amostras dosagem AC.



AC-1,35

AC-0,90

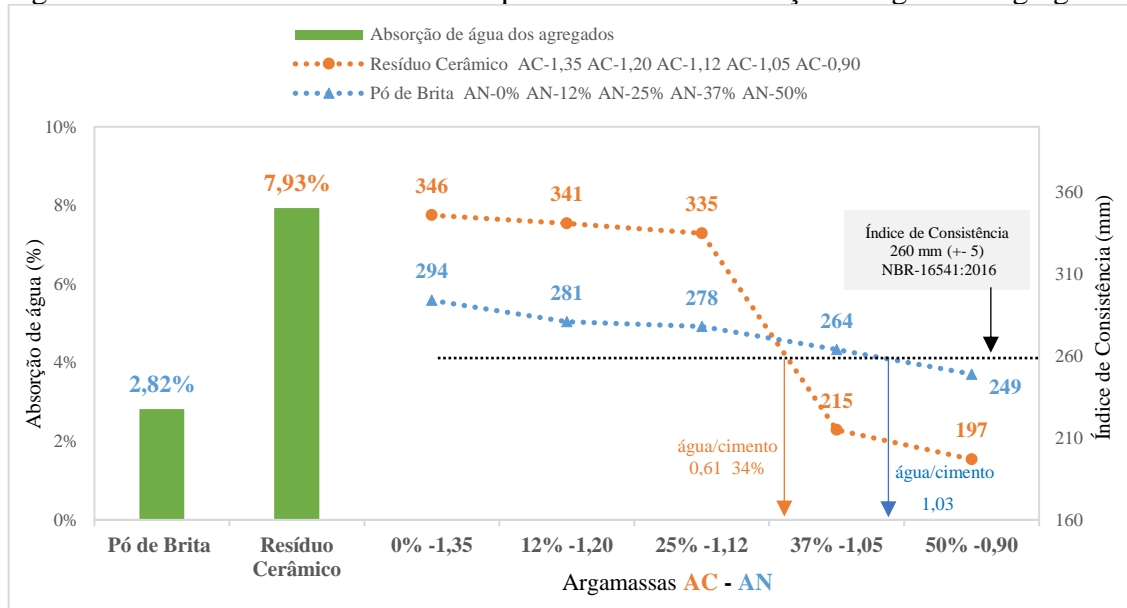
Fonte: Do autor (2024).

### 3.3 Propriedade das argamassas no estado fresco

#### 3.3.1 Determinação do índice de consistência das argamassas

Os resultados para o ensaio que determina a plasticidade das argamassas são indicados na Figura 12.

Figura 12 - Índice de consistência comparado à taxa de absorção de água dos agregados.



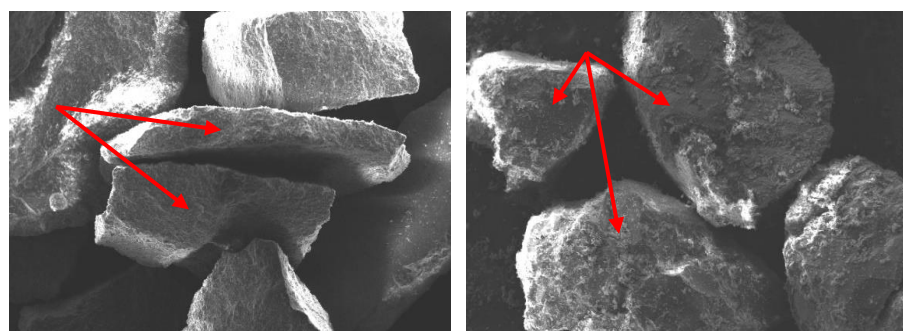
Fonte: Do autor (2024).

Na caracterização por imagens das amostras do resíduo cerâmico, comparadas à amostra do agregado natural do tipo pó de brita, observaram-se condições morfológicas distintas, ou seja, partículas na condição lamelar para resíduo cerâmico, como pode ser observado na Figura 13 (a), e condição esférica para agregado do tipo pó de brita, conforme pode ser observado na Figura 13 (b).

A condição lamelar para agregados influencia de forma direta a plasticidade das argamassas, e a capacidade que a argamassa apresenta em deslocar-se mediante a aplicação de uma força define sua condição plástica ou seca, sendo dependente de vários fatores. Nesse sentido, para condição esférica dos agregados, tem-se o processo de rolagem, demandando menor força para movimentação, orientando a classificação plástica para argamassa. Para a condição esférica, tem-se a movimentação dos agregados por tombamentos, demandando força substancialmente mais elevada, orientando a classificação seca ou áspera para argamassa.

A condição lamelar do resíduo cerâmico impõe dosagem elevada de água para obter a condição plástica, elevando também a porosidade e reduzindo a condutividade térmica das amostras, atendendo a uma condição importante quando se propõe sua utilização na fabricação das placas pré-fabricadas na construção do escamoteador em instalações de maternidade na suinocultura.

Figura 13 - Imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura - MEV.



(a) Resíduo cerâmico 34x

(b) Pó de brita 32x

Fonte: Do autor (2024).

Para as duas propostas de dosagem das argamassas (dosada por substituição do agregado natural por resíduo cerâmico, designada de AN, e argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, designada AC), ambas apresentaram perdas substanciais de plasticidade a partir da redução da quantidade de água livre disponível na matriz cimentícia.

O intervalo maior dos resultados para valores máximos e mínimos do índice de consistência das argamassas foi obtido para AC de 197 mm a 346 mm, quando comparado à dosagem da argamassa AN, de 249 mm a 294 mm.

Para a dosagem da argamassa AN, a substituição máxima de 50% do agregado natural por resíduo cerâmico teve uma menor influência na plasticidade, quando comparada à argamassa AC.

Outro ponto importante, analisando os resultados para valores mínimos do índice de consistência das argamassas, é o fato da dosagem da argamassa AC apresentar uma relação água/cimento maior, de 0,90, que a dosagem da argamassa AN, de 0,61, e apresentar um índice de consistência menor, de 197 mm, que a argamassa dosagem AN, de 297 mm.

Esse resultado para argamassa dosagem AC, de elevada relação de água/cimento e baixo valor do índice de consistência, indicou uma dosagem substancial de água para que a argamassa AC alcançasse as condições plástica e seca. Nesse sentido, verificou-se que uma parcela da dosagem elevada de água da argamassa AC foi disponibilizada na matriz cimentícia gerando porosidade na microestrutura, entretanto, a outra parcela de água foi absorvida pelo próprio resíduo cerâmico, que apresentou taxa de absorção de água mais elevada que o agregado natural, de 7,93% e 2,82%, respectivamente. A elevação da porosidade nessa condição para argamassa dosagem AC reduz a condutividade térmica da amostra e corrobora a sua indicação

para ser aplicada nas placas armadas utilizadas na construção do escamoteador em instalações de maternidade.

Utilizando o valor de referência da norma NBR 16.541 (ABNT, 2016b), que estabelece uma condição de plasticidade ideal para o ensaio do índice de consistência de 260 mm, a argamassa AC, dosada com 100% de resíduo cerâmico, alcançou esse valor com relação água/cimento mais elevada, de 1,03, quando comparado ao menor valor, de 0,61, obtido para argamassa AN, dosada com 34% de substituição do agregado natural por resíduo cerâmico. Esse resultado novamente indicou uma demanda maior de água para argamassa AC, comparada à argamassa AN, quando se fixa a plasticidade a partir do valor do índice de consistência.

Lucas, Brito, Veiga e Farinha (2016) também verificaram a mesma condição de plasticidade obtida nesta pesquisa, em que a elevação do teor de resíduo cerâmico na argamassa reduziu a plasticidade das amostras. Nesse ensaio, os autores fixaram a plasticidade com valor do índice de consistência em 175 mm, elevaram os teores de resíduo cerâmico nas argamassas em 0%, 20%, 50% e 100%, e o resultado da relação água/cimento para manutenção da plasticidade de 175 mm foi 1,14, 1,20, 1,25, e 1,35, respectivamente.

Jain, Gupta e Chaudhary (2022) concluíram que o índice de consistência da argamassa no estado fresco e a perda de plasticidade foram alterados a partir da elevação do teor de resíduo cerâmico sanitário dosado na argamassa. Essa mesma condição também foi descrita no trabalho de revisão bibliográfica de Ray *et al.* (2021).

Zhang *et al.* (2023) verificaram a redução substancial da plasticidade do concreto, variando de 559 mm a 398 mm, com a redução da água disponível na matriz cimentícia, absorvida por agregado de resíduo cerâmico substituindo o agregado natural nos teores 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%.

Abadou, Mitiche-Kettab e Ghrieb (2016) verificaram a perda da plasticidade da argamassa no estado fresco com redução do índice de consistência a partir da substituição da areia de duna por resíduo cerâmico de louça sanitária nos teores 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.

No trabalho de Tutkun, Beglarigale e Yazici (2022), a substituição de agregado de calcário por resíduo cerâmico em amostras de argamassa, nos teores 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%, os autores observaram a redução da plasticidade com a elevação do teor de resíduo cerâmico, e os valores do índice de consistência que avaliam a plasticidade foram 220 mm, 210 mm, 190 mm, 180 mm, 175 mm e 165 mm, respectivamente. Os mesmos autores também indicam que a redução da plasticidade da argamassa pode ocorrer quando uma pequena parcela da matriz cimentícia ocupa o interior dos poros superficiais do resíduo cerâmico de louça sanitária.

Na pesquisa de Penacho *et al.* (2014) o resultado foi divergente. A substituição da areia por resíduo de vidro nas dosagens das argamassas nos teores 20%, 50% e 100% não alterou significativamente a plasticidade das amostras. Os autores atribuíram que esse resultado está relacionado à elevação do volume de ar incorporado nas argamassas, ocorrido a partir do número elevado de arestas presentes no resíduo de vidro, geradas a partir da etapa de moagem.

A partir dos ensaios que determinam a plasticidade das argamassas, com resultado do índice de consistência das amostras recomendado pela norma NBR 16.541 (ABNT, 2016b), de 260 mm, considerando a aplicação das amostras estudadas para serem utilizadas na conformação das placas armadas na construção do escamoteador em instalações de maternidade na suinocultura, que deve apresentar elevada porosidade e baixa propriedade de condutividade térmica, a argamassa indicada seria a dosagem AC, com relação água/cimento mais elevada, 1,03, quando comparada à argamassa AN, com relação água/cimento 0,61.

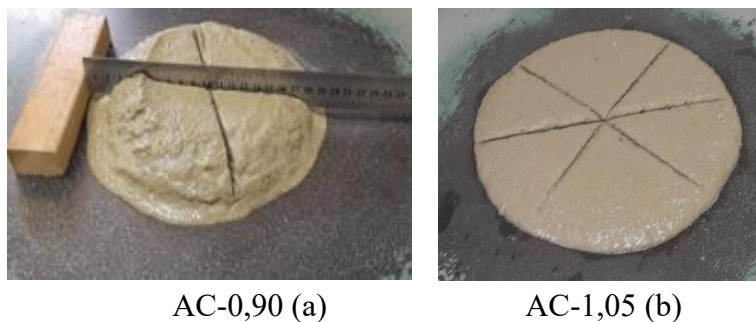
Entretanto, a argamassa AC também foi dosada considerando o limite máximo para condição seca e, com isso, na conformação das placas armadas na fabricação do escamoteador também pode ser utilizada argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, para relação água/cimento mínima, referente à argamassa designada AC-0,90, conforme pode ser observado na Figura 14 (a) e na Figura 15 (a), promovendo ainda mais as propriedades térmicas isolantes da placa utilizada na construção do escamoteador.

Uma análise comparativa dos resultados obtidos do índice de consistência das argamassas com a textura superficial das placas conformadas para argamassa AC-0,90, com a dosagem de argamassa subsequente, designada AC-1,05, apresenta uma disponibilidade maior de água na matriz cimentícia, como pode ser observado na Figura 14 (b) e na Figura 15 (b).

O resultado que torna a indicação mais assertiva na escolha da argamassa AC-0,90 é que a baixa quantidade de água torna a argamassa mais áspera, e ao se homogeneizar a argamassa na condição fresca na etapa de fabricação acaba elevando a incorporação de ar nas amostras, obtendo assim uma argamassa com baixa condutividade térmica a partir da elevação do índice de vazios, alta absorção de água, baixa densidade, valores reduzidos de resistência mecânica e da velocidade do pulso no ensaio de ultrassonografia, como pode ser observado nos resultados obtidos nos itens 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3 e 3.5.4.

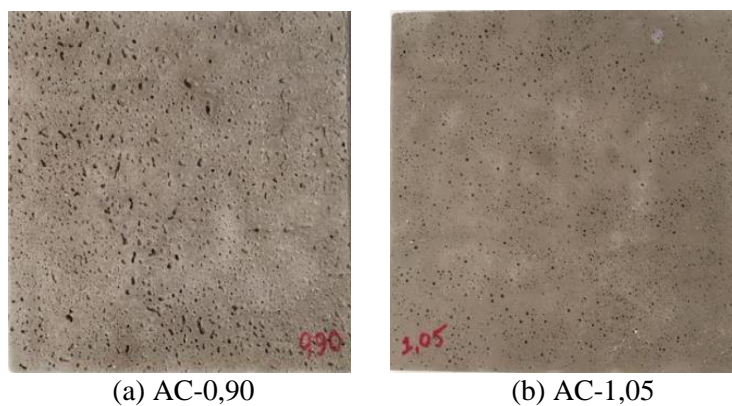
A baixa condutividade térmica é uma propriedade importante para as placas utilizadas na fabricação do escamoteador em instalações de maternidade na suinocultura.

Figura 14 - Resultado do índice de consistência de 197 mm para argamassa AC-0,90, indicado na Figura (a), e do índice de consistência de 215 mm para argamassa AC-1,05, indicado na Figura (b).



Fonte: Do autor (2024).

Figura 15 - Placas conformadas com argamassa AC-0,90, com índice de consistência de 197 mm (a), e argamassa AC-1,05, com índice de consistência de 215 mm (b).



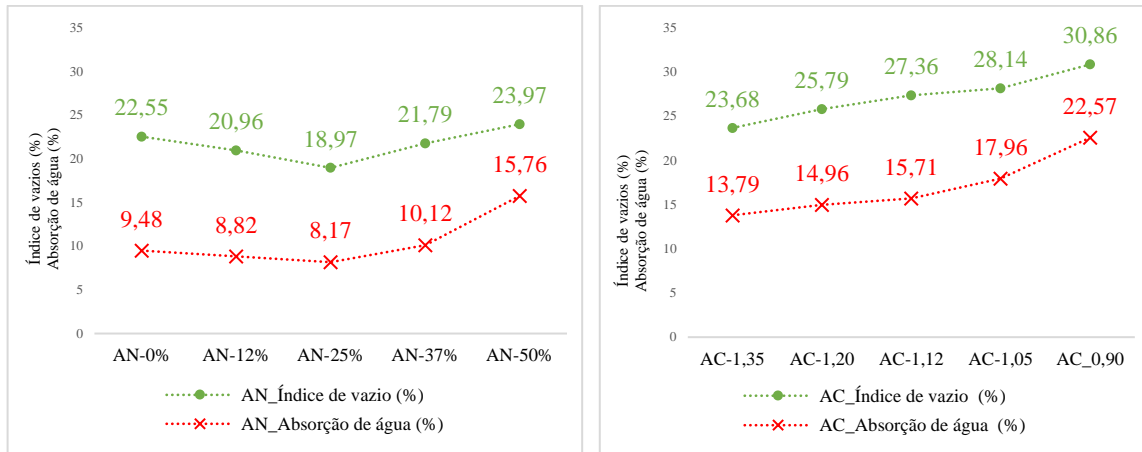
Fonte: Do autor (2024).

### 3.4 Propriedades das argamassas no estado endurecido

#### 3.4.1 Absorção de água por imersão e índice de vazios das argamassas

Os resultados de índice de vazios e a absorção de água das argamassas no estado seco são apresentados na Figura 16.

Figura 16 - Resultados da taxa de absorção de água e índice de vazios.



Fonte: Do autor (2024).

Obteve-se boa elevação do índice de vazios e elevação da taxa de absorção de água nas amostras estudadas. Na dosagem AC, esses dois parâmetros foram crescentes no intervalo das configurações. Para dosagem AN, os resultados foram decrescentes até a dosagem de 25% de substituição de resíduo cerâmico, e para as demais configurações os valores foram crescentes.

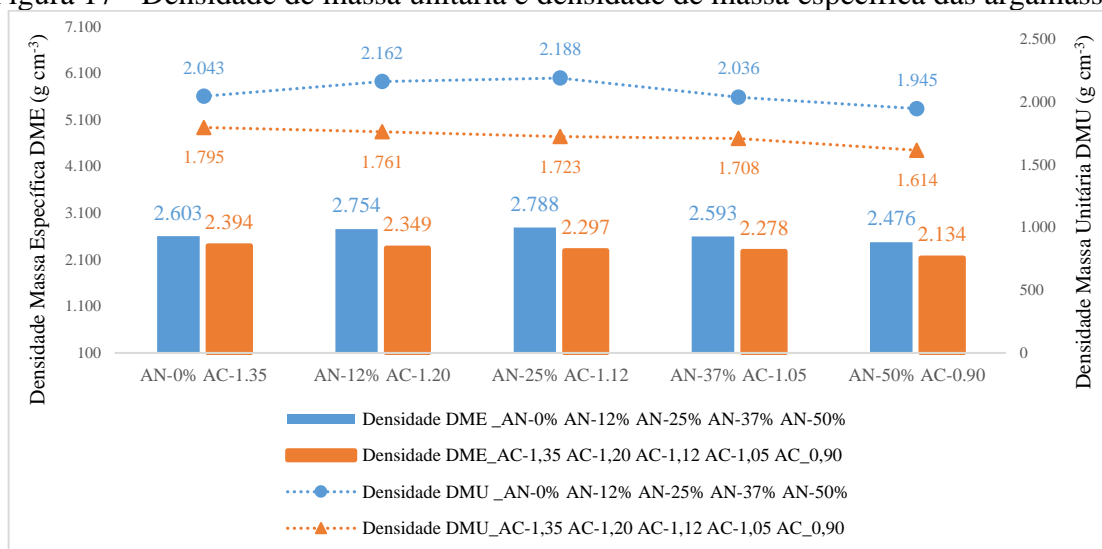
Ray *et al.* (2021) esclareceram que a incorporação de todos os tipos de agregados cerâmicos eleva a capacidade de absorção de água no concreto. Os autores atribuíram essa condição à elevada taxa de absorção de água do resíduo comparado aos agregados naturais.

Vieira *et al.* (2016) substituíram o agregado natural por resíduo cerâmico nos teores 20%, 50% e 100% na fabricação de concreto e verificaram aumento da absorção de água nos teores 18%, 31% e 47%, respectivamente.

### 3.4.2 Densidade de massa unitária e densidade de massa específica das argamassas hidratadas

Os valores de densidade de massa específica e de densidade de massa unitária das argamassas obtidas no presente trabalho são representados na Figura 17.

Figura 17 - Densidade de massa unitária e densidade de massa específica das argamassas.



Fonte: Do autor (2024).

Em relação às duas dosagens de argamassas (AN, dosada com substituição de agregado natural por resíduo cerâmico nos teores 0%, 12%, 25%, 37% e 50%, e argamassa AC, dosada com 100% de resíduo cerâmico), verificou-se uma proximidade nos resultados de densidade de massa unitária. Entretanto, os valores mais elevados foram verificados para dosagem AN.

Analisando a densidade de massa unitária das argamassas AN e AC, verificou-se para as configurações das dosagens AC valores menores de densidade de massa unitária (DMU) e também densidade de massa específica (DME).

Para a dosagem AN, verificou-se elevação das densidades (DME e DMU) no intervalo entre 0% e 25% e verificou-se decréscimo das densidades para o intervalo entre 25% e 50%.

Para dosagem AC, os valores da densidade de massa unitária (DMU) e densidade de massa específica (DME) foram decrescentes, a partir da dosagem AC-1,35.

Lucas, Brito, Veiga e Farinha (2016) encontraram valores crescentes de densidade de massa unitária das argamassas, de  $1.887 \text{ kg m}^{-3}$ ,  $1.929 \text{ kg m}^{-3}$ ,  $1.958 \text{ kg m}^{-3}$  e  $1.974 \text{ kg m}^{-3}$ , com elevação da dosagem de resíduo cerâmico de louça sanitária nos teores 0%, 10%, 15% e 20%, respectivamente. Resultado também verificado no trabalho de Farinha, Brito e Veiga (2015).

Na pesquisa realizada por Mohit e Sharifi (2019), verificou-se a elevação inicial da densidade de massa unitária das argamassas dosadas com teores 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de resíduo cerâmico, entretanto, em substituição do aglomerante.

Ray *et al.* (2021) consideram que resultados divergentes da densidade de massa unitária e densidade de massa específica dos materiais cimentícios, como argamassas e concretos,

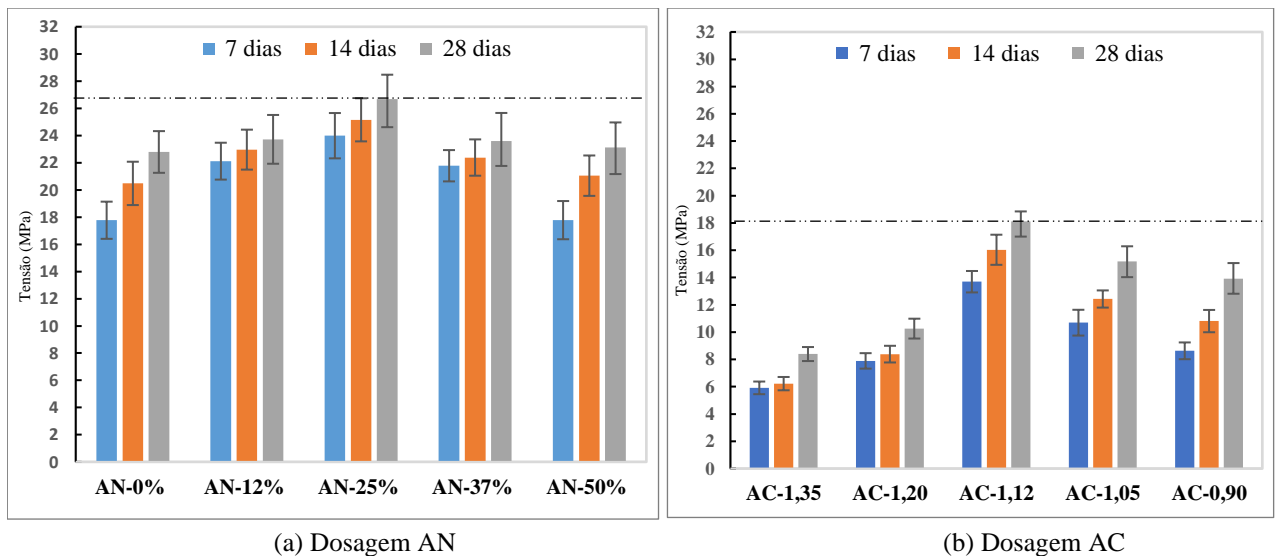
implicam que a adição de resíduo cerâmico pode aumentar ou também diminuir a densidade desses materiais.

Nesse caso, alguns aspectos importantes do resíduo cerâmico com impacto direto nessas propriedades estão relacionados com a morfologia para condição lamelar ou esférica das partículas, os teores de substituição adotados nos processos de dosagens, sua condição granulométrica, a capacidade de absorção de água do resíduo e a relação água/cimento adotada no processo de dosagem.

### 3.4.3 Resistência mecânica à compressão e à tração diametral/cisalhamento

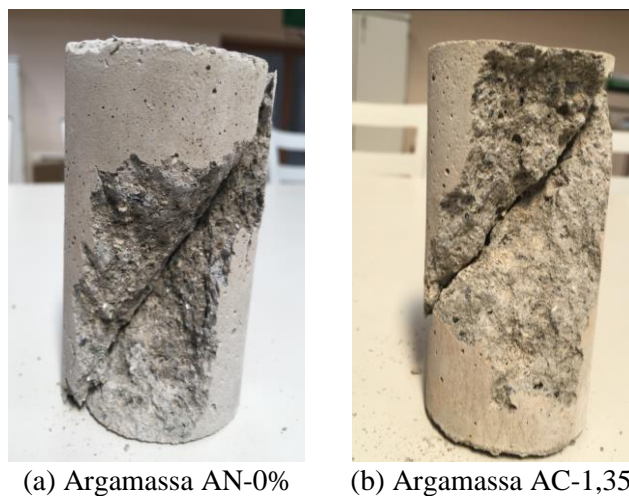
Os resultados para resistência mecânica à compressão das argamassas dosagens AN e AC são representados na Figura 18, e as amostras ensaiadas são representadas na Figura 19.

Figura 18 - Resistência mecânica à compressão das argamassas.



Fonte: Do autor (2024).

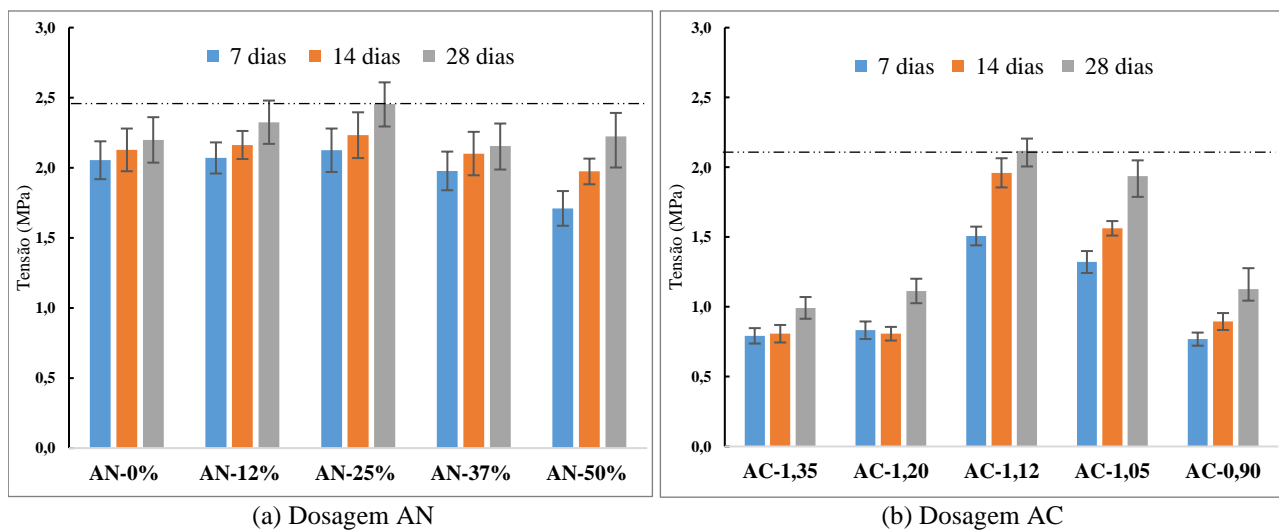
Figura 19 - Amostras ensaiadas para determinação dos esforços de resistência mecânica à compressão.



Fonte: Do autor (2024).

Os resultados de resistência mecânica à tração diametral das argamassas nas dosagens AN e AC são representados na Figura 20.

Figura 20 - Resistência mecânica à tração diametral das argamassas.



Fonte: Do autor (2024).

Os valores da resistência mecânica à compressão e da resistência mecânica à tração diametral foram mais elevados para o ensaio realizado ao 28º dia ( $p < 0,05$ ), indicando que a baixa disponibilidade de água das argamassas AN-50% e AC-0,90 não comprometeu o processo de hidratação do cimento.

Os resultados para o ensaio de resistência mecânica à tração diametral, para as duas argamassas, dosagens AN e AC, apresentam valores da ordem de 10% dos resultados obtidos nos ensaios de resistência mecânica à compressão.

Para resultados pontuais das argamassas dosagem AN, nos ensaios de compressão e tração por compressão diametral, observou-se uma elevação dos resultados das resistências no intervalo entre 0% e 25%. Entretanto, um decréscimo de resistência para os mesmos esforços também ocorreu no intervalo subsequente, entre 25% e 50%. A elevação dos esforços de resistência mecânica nos intervalos mencionados demonstra que o resíduo cerâmico se comportou na condição de *filler*, ocorrendo o mecanismo de preenchimento dos espaços vazios, elevando, dessa forma, o contato entre as partículas, aumentando, por conseguinte, as propriedades de resistência mecânica das argamassas.

No momento em que se atinge a saturação, ou seja, não se tem mais a condição do preenchimento dos vazios, o resíduo cerâmico de baixa granulometria inicia o processo de afastamento das partículas. A argamassa começa então a diminuir a capacidade de resistência para esforços mecânicos. Nesse sentido, para a dosagem AN, esse ponto de saturação ocorreu com 25% de substituição do agregado natural por resíduo cerâmico.

Para a dosagem das argamassas AC, os resultados apresentaram propriedades similares, ou seja, crescentes para o intervalo da relação água/cimento entre 1,35 e 1,12, e decréscimo de resistência mecânica para o intervalo da relação água/cimento entre 1,12 e 0,90.

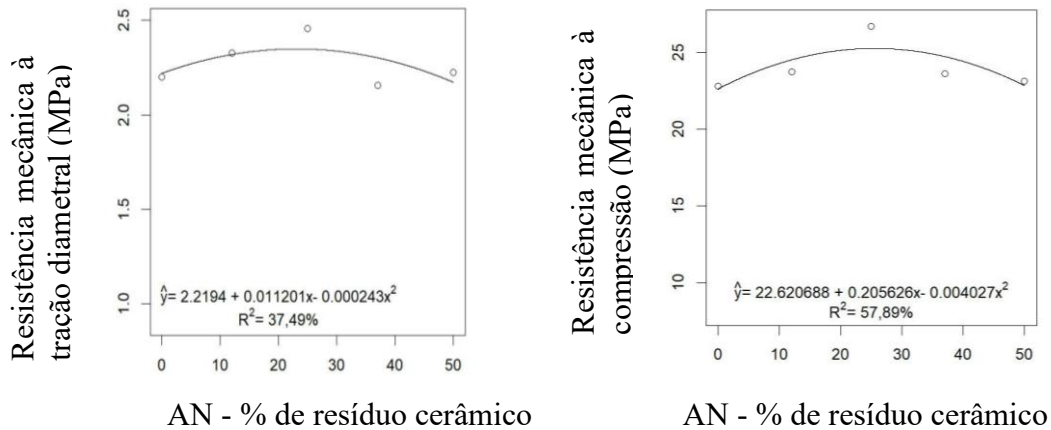
Nesse caso, para a resistência mecânica o resultado da relação ideal de água/cimento para argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico é de 1,12. Para teores acima desse, verificou-se o excesso de porosidade, devido à elevada quantidade de água. De forma contrária, para teores abaixo de 1,12, a baixa quantidade de água pode alterar a classe da argamassa de condição plástica para condição seca, elevando substancialmente os volumes de vazios entre os materiais constituintes da argamassa.

A idade de 28 dias foi a que apresentou maior média de resistência mecânica nos ensaios de compressão e cisalhamento, o que já era esperado.

Para ambas as argamassas, dosagens AN e AC, o efeito da interação entre os fatores foi significativo ( $p < 0,05$ ). Em relação à argamassa dosagem AN, observou-se que a resistência máxima de cisalhamento obtida foi de 2,20 MPa, e teor de substituição foi de 18,74%, com  $R^2$  de 91,82%, na idade de 14 dias; entretanto, para idade de 28 dias, a resistência máxima foi de 2,34 MPa, com resultado fraco, de  $R^2$  de 37,49%, conforme a Figura 21. Em relação à resistência mecânica à compressão, a análise de regressão indicou um valor máximo de 25,25

MPa para a dosagem de resíduo cerâmico de 25,53%, com  $R^2$  do modelo ajustado de 57,89%, conforme Figura 21.

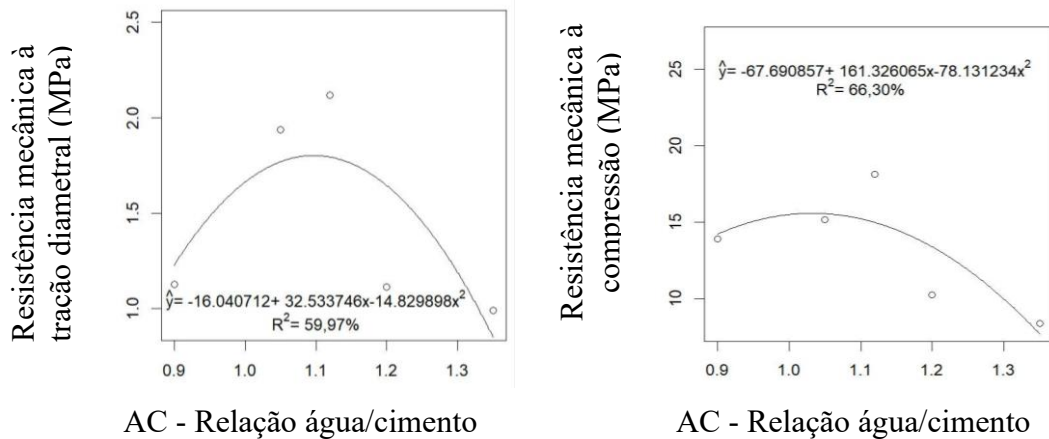
Figura 21 - Análise estatística para propriedade de resistência mecânica à tração diametral e à compressão da argamassa AN.



Fonte: Do autor (2024).

Em relação à argamassa dosagem AC, observou-se que dentro dos 28 dias a análise de regressão indicou uma resistência mecânica à tração diametral máxima de 1,80 MPa para relação água/cimento de 1,10, com  $R^2$  do modelo ajustado de 59,97%, conforme a Figura 22. Em relação à resistência mecânica à compressão, a análise de regressão indicou um valor máximo de 15,59 MPa para a relação água/cimento de 1,03, com  $R^2$  do modelo ajustado de 66,30%, conforme a Figura 22.

Figura 22 - Análise estatística para propriedade de resistência mecânica à tração diametral e à compressão da argamassa AC.



Fonte: Do autor (2024).

Mohit e Sharifi (2019) observaram resultados de resistência mecânica à compressão semelhantes aos obtidos nesta pesquisa para argamassa dosada com teores 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de resíduo cerâmico em substituição ao cimento. Na temperatura de 27 °C, os autores encontraram resultados crescentes de resistência mecânica para o intervalo de 0% até 10% de substituição e, posteriormente, entre 10% e 25% de substituição, os valores foram decrescentes.

Lucas, Brito e Farinha (2016) obtiveram resultados com tendência semelhante em argamassa dosada com substituição do agregado natural do tipo areia de rio por resíduo cerâmico nos teores 0%, 20%, 50% e 100%, com resultados crescentes de resistência mecânica à compressão no intervalo de 0% até 50%. O menor valor foi observado pelos autores para 100% de substituição, com resistência mecânica à compressão de 5,85MPa.

Ebrahimi *et al.* (2023) também observaram resultados semelhantes em argamassa dosada com substituição do cimento por resíduo cerâmico nos teores 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 60%. O resultado de resistência mecânica à compressão foi crescente para intervalo inicial de 0% até 10%, e para as demais dosagens os resultados da resistência mecânica foram decrescentes, com valor menor de 22,50 MPa para 60% de substituição. Para o ensaio de tração diametral, cisalhamento, os mesmos autores encontraram resultados semelhantes, valores crescentes no intervalo de 0% até 10%, e valores decrescentes para as demais dosagens, com valor menor de 5,59 Mpa para 60% de substituição.

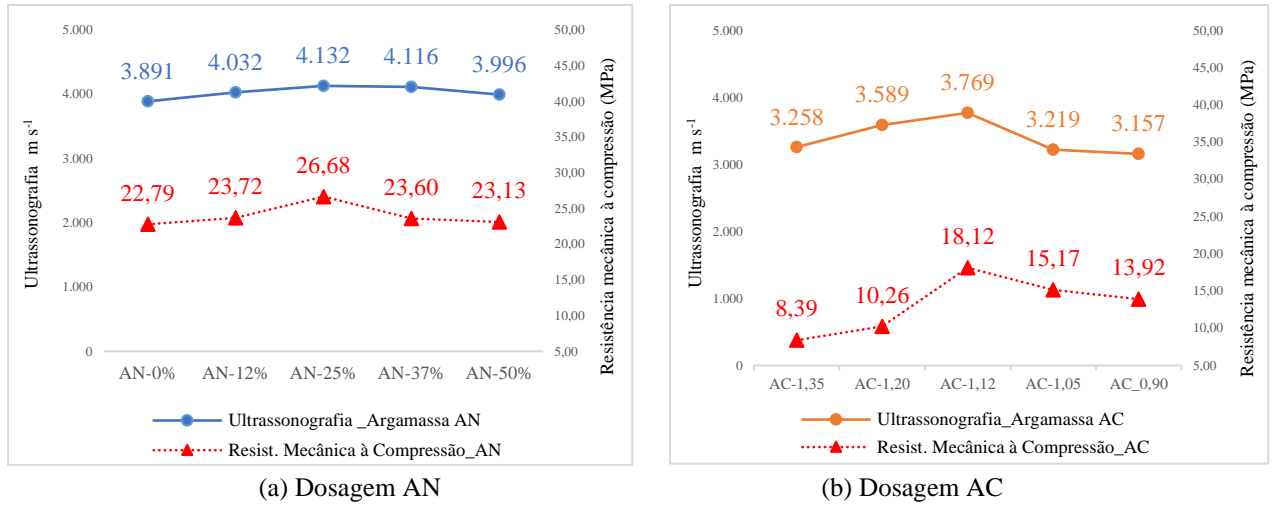
Na pesquisa de López *et al.* (2007), os resultados de resistência mecânica à compressão foram divergentes aos encontrados nesta pesquisa. A substituição do agregado natural do tipo areia por resíduo cerâmico nos teores 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, na fabricação de concreto, os autores obtiveram variação dos resultados de resistência mecânica de 36,0 MPa, 45,0 MPa, 55,0 MPa, 48,5 MPa, 52,0 MPa e 53,3 MPa, respectivamente.

No trabalho de Reig *et al.* (2022), os resultados de resistência mecânica à compressão em argamassas dosadas com resíduo cerâmico em substituição ao cimento, nos teores 0%, 15%, 25%, 35% e 50%, apresentaram valores crescentes no intervalo de 0% até 15%. Para os demais teores, os valores foram decrescentes, com valor menor de 44,56 MPa para 50% de substituição.

#### **3.4.4 Resultados para ensaio de ultrassonografia**

Os resultados para o ensaio de ultrassonografia das argamassas, dosagens AN e AC, são apresentados na Figura 23.

Figura 23 - Ultrassonografia das argamassas dosagens AN e AC.



Fonte: Do autor (2024).

Para os resultados do ensaio de ultrassonografia, observaram-se respostas mais rápidas do pulso para as amostras de argamassa AN, como era esperado, uma vez que a natureza física do agregado natural apresenta baixa densidade de massa específica comparada à densidade do resíduo cerâmico.

Nesse sentido, a resistência mecânica mais elevada para argamassa dosada com 25% de substituição do agregado natural por resíduo cerâmico, designada AN-25%, de 26,68 MPa, também apresentou o valor mais elevado do ensaio de ultrassonografia, de  $4.132 m s^{-1}$ .

Para argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, designada AC-1,12, o resultado mais elevado de resistência mecânica à compressão também apresentou o valor mais elevado do ensaio de ultrassonografia, de  $3.769 m s^{-1}$ .

O resultado da resposta do pulso ultrassônico orientou-se a partir da resistência mecânica das amostras das argamassas, ou seja, verificou-se maior velocidade do pulso para amostras com resistência mecânica mais elevada.

Mohit e Sharifi (2019) encontraram valores da velocidade de propagação das ondas ultrassônicas, variando de  $3.600 m s^{-1}$  a  $4.200 m s^{-1}$ , também orientados nos resultados de resistência mecânica à compressão de amostras de argamassas dosadas por substituição nos teores 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de resíduo cerâmico em substituição ao cimento.

Lucas, Brito e Farinha (2016) também obtiveram resultados da velocidade do pulso ultrassônico orientados nos resultados de resistência mecânica à compressão de argamassa dosada com substituição do agregado natural do tipo areia de rio por resíduo cerâmico, nos teores 0%, 20%, 50% e 100%.

O resultado da ultrassonografia com velocidade menor foi observado para argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico e baixa relação água/cimento, designada AC-0,90. Esse resultado já era esperado, uma vez que a dosagem AC-0,90 também apresentou menor densidade de massa unitária, maior índice de vazios e resultados baixos de resistência mecânica, indicando uma condição mais porosa. A análise de ultrassonografia corrobora a indicação da argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, designada AC-0,90, como sendo a argamassa de elevada porosidade e, em consequência, a que apresentará baixa condutividade térmica, condição importante para ser utilizada na conformação das placas armadas no processo de fabricação do escamoteador em instalações de maternidade na suinocultura.

## 4 CONCLUSÕES

A plasticidade mais elevada obtida a partir dos resultados do índice de consistência das argamassas na condição fresca, comparando as duas dosagens AN e AC, foi para argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, designada AC-1,35, de 346 mm, para relação água/cimento 1,35, mesmo apresentando partículas na condição morfológica lamelar, comparada à condição morfológica esférica do pó de brita, conforme observado na caracterização por imagens de microscopia.

A plasticidade da argamassa AC foi reduzida a partir da redução da disponibilidade de água na matriz cimentícia, decorrente da própria metodologia do processo de dosagem, e o valor mínimo obtido da relação água/cimento foi 0,90.

O que foi observado para essa dosagem, AC-0,90, é que a baixa relação água/cimento torna a amostra mais áspera, e no processo de fabricação na etapa de homogeneização das amostras o resíduo incorporou ar nas amostras. Essa condição para argamassa AC-0,90 é evidenciada a partir do resultado mais elevado do índice de vazios, de 30,86%, comparado ao valor obtido para argamassa AN-50%, de 23,97%. Verificou-se também uma densidade de massa unitária mais baixa para argamassa AC-0,90, de  $1.614 \text{ g cm}^{-3}$ , comparada à argamassa AN-50%, de  $1.945 \text{ g cm}^{-3}$ . A maior capacidade de absorção de água, de 22,57%, também foi obtida para argamassa AC-0,90, quando comparada com outras amostras.

Nos resultados do ensaio de ultrassonografia, a velocidade do pulso ultrassônico foi menor para argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, amostra AC-0,90, corroborando a condição de amostra com elevada porosidade, de grande interesse para aplicação em instalações de maternidade na suinocultura, devido à possibilidade de se obter material com maior inércia térmica ou com maior isolamento térmico.

Para argamassas dosadas por substituição do agregado natural por resíduo cerâmico, designada AN, a condição fixa da relação água/cimento 0,61 da metodologia da dosagem proporcionou redução substancial do índice de consistência ao longo das configurações a partir da elevação dos teores de resíduo cerâmico nas dosagens.

Para argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico, a redução gradual da elevada quantidade de água dosada na argamassa ao longo das configurações fez com que a baixa condição granulométrica do resíduo cerâmico promovesse o efeito *filler*, especificamente para relação água/cimento 1,12, evento relacionado ao preenchimento dos espaços vazios, que promove a condição do empacotamento das partículas na matriz cimentícia das argamassas, elevando os resultados de densidade, reduzindo a taxa de absorção de água e, especialmente,

alcançando as propriedades de resistência mecânica, como resistência à compressão de 18,20 MPa e 2,12 MPa de resistência mecânica à tração diametral, respectivamente.

A análise estatística indicou que a idade de 28 dias foi a que apresentou maior média de resistência mecânica nos ensaios de compressão e cisalhamento, o que já era esperado. Na análise de regressão realizada para argamassa AN, a resistência máxima de compressão obtida foi de 4,93 MPa, e teor de substituição foi de 24,30%, com  $R^2$  de 85,82%, na idade de 28 dias. Na análise de regressão realizada para argamassa AC, a resistência máxima de compressão obtida foi de 15,59 MPa para amostra designada AC-1,03, com  $R^2$  de 66,30%, na idade de 28 dias. Na análise de regressão para argamassa AN, a resistência máxima de cisalhamento obtida foi de 2,20 MPa, e teor de substituição foi de 18,74%, com  $R^2$  de 91,82%, na idade de 14 dias.

Os resultados de resistência mecânica da argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico e relação água/cimento 0,90, designada AC-0,90, apresentaram valores satisfatórios por se tratar de argamassa; para resistência mecânica à compressão o valor foi de 13,92 MPa; e para ensaio de tração diametral o valor foi de 1,13 MPa.

Diante dos resultados, conclui-se que argamassa dosada com 100% de resíduo cerâmico e relação água/cimento 0,90, designada AC-0,90, apresentou os melhores resultados nos ensaios que indicam a condição mais elevada de porosidade nas amostras. Nesse sentido, apresentou maior índice de vazios, maior absorção de água, menor densidade, baixa resistência mecânica e menor velocidade do pulso em ultrassonografia. Estas características indicam que a argamassa AC-0,90 é a que obterá a maior condição térmica isolante quando comparada com as outras argamassas estudadas, propriedade específica para placas utilizadas no processo de fabricação do escamoteador em maternidade na suinocultura.

## **AGRADECIMENTO**

Agradecimento ao Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Lavras, na pessoa do Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes; ao Laboratório de Tecnologia do Concreto, do Instituto Federal do Sul de Minas; ao Laboratório de Caracterização Estrutural da Universidade Federal de São Carlos, nas pessoas do Prof. Dr. Walter José Botta Filho e Prof. Me. Diego Davi Coimbra; e à Indústria de Materiais Refratários Togni S/A, sediada em Poços de Caldas – MG.

## REFERÊNCIAS

ABADOU, Yacine; MITICHE-KETTAB, Ratiba; GHRIEB, Abderrahmane. Ceramic waste influence on dune sand mortar performance. **Construction and Building Materials**, [England], v. 125, n. 68, p. 703-713, Oct. 2016.

ADESINA, Adeyemi. Overview of the influence of waste materials on the thermal conductivity of cementitious composites. **Cleaner Engineering and Technology**, [United Kingdom], v. 2, n. 10, June 2021.

ANDERSON, Derrick J.; SMITH, Scott Thomas; AU, Francis T. K. Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, [England], v. 117, n. 6, p. 20-28, Aug. 2016.

ARAÚJO, Daniel Lima; CÂNDIDO, Éricka Silva. Painel pré-moldado de argamassa armada com vermiculita expandida e reforçado com fibras de vidro. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 10, n. 3, p. 01-18, nov. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Construções de Argamassa Armada**. ABCP, 1996. Disponível em: <https://abcp.org.br/bt-126/>. Acesso em: 17 mar. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Quem Somos**. ABCP, 2024. Disponível em: <https://abcp.org.br/quem-somos/>. Acesso em: 17 mar. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16.972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.041**: Argamassa de alta resistência mecânica para pisos — Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.607**: Cimento Portland: Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2018a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.973**: Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para Concretos - especificações (agregado miúdo). Rio de Janeiro: ABNT, 2022a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9817**: Execução de piso com revestimento cerâmico – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. Confirmada em 2022b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-13.276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15.630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16.541**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16.605**: Cimento Portland e outros materiais em pó-Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-16.697**: Cimento Portland-Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7215**: Cimento Portland-Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA DE REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. **Números do setor cerâmico**. ANFACER, 2020. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor>. Acesso em: 28 jun. 2021.

AWOYERA, Paul O. *et al.* Suitability of mortars produced using laterite and ceramic wastes: Mechanical and microscale analysis. **Construction and Building Materials**, [England], v. 148, n. 23, p. 195-203, Sept. 2017.

AWOYERA, Paul O.; OLALUSI, Oladimeji B.; IWERIEBO, Nkay. Physical, strength, and microscale properties of plastic fiber-reinforced concrete containing fine ceramics particles. **Materialia**, [s.l.], v. 15, n. 16, Mar. 2021.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BSI-PD 6697**: 2019. Recommendations for the design of masonry structures to BS EN 1996-1-1 and BS EN 1996-2. BSI, 2019.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 3. ed. São Paulo: EdUFSCar, 2007.

CASTRO, J. O. *et al.* The use of slate in the building of swine farrowing stalls: I -effect on the environment and the swine behaviour. **Agricultural Building and Environment**, [s.l.], v. 31, n. 3, p. 458-467, 2011.

DAMASCENO, Flávio Alves *et al.* Painéis de argamassa armada reforçados com bambu (*bambusa vulgaris*) visando a utilização em pequenas. **Energia na Agricultura**, [Botucatu], v. 33, n. 3, p. 207-215, nov. 2018.

EBRAHIMI, Mohsen *et al.* Effect of ceramic waste powder as a binder replacement on the properties of cement- and lime-based mortars. **Construction and Building Materials**, [England], v. 379, n. 6, May 2023.

FARINHA, Catarina Brazão; BRITO, Jorge de; VEIGA, Maria do Rosário. Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars. **Construction and Building Materials**, [England], v. 83, n. 21, p. 194-206, May 2015.

GAUTAM, Lilesh *et al.* A review on the utilization of ceramic waste in sustainable construction products. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 43, n. 2, p. 1884-1891, 2021.

GERALDO, Rodrigo Henrique; FERNANDES, Luiz F. R.; CAMARINI, Gladis. Mechanical properties of porcelain waste alkali-activated mortar. **Open Ceramics**, [United Kingdom], v. 8, n. 8, Sept. 2021.

GUPTA, Lalit Kumar; VYAS, Ashok. Impact on mechanical properties of cement sand mortar containing waste granite powder. **Construction and Building Materials**, [England], v. 191, n. 21, p. 155-164, Dec. 2018.

HE, Xiaobing *et al.* Gradation optimization of continuous-graded crushed sand based on mortar performance. **Construction and Building Materials**, [England], v. 358, n. 38, Dec. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudo estratégico da cadeia produtiva da indústria cerâmica no Estado de São Paulo - Rel. n. 153900-205. Fase 1.** São Paulo: IPT, 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Roteiro Regional Global ABC para Edifícios e Construção na América Latina 2020-2050.** IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/globalabc-regional-roadmap-for-buildings-and-construction-in-latin-america-2020-2050>. Acesso em: 29 ago. 2022.

JAIN, Pooja; GUPTA, Rajesh; CHAUDHARY, Sandeep. A literature review on the effect of using ceramic waste as supplementary cementitious material in cement composites on workability and compressive strength. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 65, n. 2, p. 871-876, 2022.

KATS, M. E.; KVVYATKOVSKAYA, K. K. Low temperature flux compositions for the production of cast ceramic tile. **Glass and Ceramics**, [Russia], v. 29, n. 2, p. 101-103, Feb. 1972.

KOPURI, N. A. G. K. Manikanta.; PRIYADHARSHANI, S. Anitha; SAH, Ranjeet. Durability studies on concrete with ceramic waste as partial replacement to coarse aggregate. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 1, n. 237, Jan. 2023.

LAM, My Ngoc-Tra.; LE, Duc-Hien.; NGUYEN, Duy-Liem. Reuse of clay brick and ceramic waste in concrete: A study on compressive strength and durability using the Taguchi and Box–Behnken design method. **Construction and Building Materials**, [England], v. 373, n. 10, Feb. 2023.

LIU, Kang *et al.* Light from heat lamps affects sow behaviour and piglet salivary melatonin levels. **Animal**, [England], v. 16, n. 6, June 2022.

LÓPEZ, V. *et al.* Eco-efficient concretes: Impact of the use of white ceramic powder on the mechanical properties of concrete. **Biosystems Engineering**, [England], v. 96, n. 4, p. 559-564, Apr. 2007.

LUCAS, J. *et al.* The effect of using sanitary ware as aggregates on rendering mortars' performance. **Materials & Design**, [England], v. 91, n. 18, p. 155-164, Feb. 2016.

MARTÍNEZ, César Medina; ROJAS, M. I. Sánchez de; FRÍAS, Moisés. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. **Cement and Concrete Composites**, [*s.l.*], v. 34, n. 1, p. 48-54, Jan. 2012.

MATIAS, Gina; FARIA, Paulina; TORRES, Isabel. Lime mortars with heat treated clays and ceramic waste: A review. **Construction and Building Materials**, [England], v. 73, n. 2, p. 125-136, Dec. 2014.

MATOS, Paulo Ricardo de *et al.* Utilization of ceramic tile demolition waste as supplementary cementitious material: An early-age investigation. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 38, n. 26, June 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM, **Cadeia de Louças**, Relatório Técnico 74, Perfil de Louças Sanitárias e de Mesa. MME, 2009.

MOHANTA, Nihar Ranjan; MURMU, Meena. Alternative coarse aggregate for sustainable and eco-friendly concrete - A review. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 59, n. 36, Nov. 2022.

MOHIT, Mehdi; SHARIFI, Yasser. Thermal and microstructure properties of cement mortar containing ceramic waste powder as alternative cementitious materials. **Construction and Building Materials**, [England], v. 223, n. 57, p. 643-656, July 2019.

MURTHI, P. *et al.* Studies on the strength variation of brick masonry using novel blended masonry mortar mixes and mortar thickness. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 39, p. 126-130, 2021.

PENACHO, Paulo; BRITO, Jorge de; VEIGA, M. Rosário. Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporating fine glass waste aggregate. **Cement and Concrete Composites**, [*s.l.*], v. 50, n. 6, p. 47-59, July 2014.

PITARCH, A. M. *et al.* Pozzolanic activity of tiles, bricks and ceramic sanitary-ware in eco-friendly Portland blended cements. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 279, n. 296, Aug. 2021.

- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 17 mar. 2024.
- RAJPUT, Sarvesh P. S. An Experimental study on crushed stone dust as fine aggregate in cement concrete. **Materials Today: Proceedings**, [England], v. 5, n. 9, p. 17540-17547, 2018.
- RANGASAMY, Veerakumar; YANG, Jyh-Bin. The convergence of BIM, AI and IoT: Reshaping the future of prefabricated construction. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 84, n. 109, May 2024.
- RAY, Sourav *et al.* Predicting the strength of concrete made with stone dust and nylon fiber using artificial neural network. **Heliyon**, [United Kingdom], v. 8, n. 3, Mar. 2022.
- RAY, Sourav *et al.* Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: A review. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 43, n. 14, Nov. 2021.
- REIG, Lúcia *et al.* Potential use of ceramic sanitary ware waste as pozzolanic material. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, [Spain], v. 61, n. 6, p. 611-621, Nov./Dec. 2022.
- SHEN, Weiguo *et al.* Influence of manufactured sand's characteristics on its concrete performance. **Construction and Building Materials**, [England], v. 172, n. 55, p. 574-583, May 2018.
- SILVA, Thiago Henrique *et al.* Valorization of ceramic sludge waste as alternative flux: A way to clean production in the sanitary ware industry. **Cleaner Engineering and Technology**, [United Kingdom], v. 7, n. 30, Feb. 2022.
- SILVESTRI, Luca *et al.* Life cycle assessment of sanitary ware production: A case study in Italy. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 251, Apr. 2020.
- SOUZA, William Jeferson Vieira de; SCUR, Gabriela; HILSDORF, Wilson de Castro. Eco-innovation practices in the brazilian ceramic tile industry: The case of the Santa Gertrudes and Criciúma clusters. **Journal of Cleaner Production**, [United States], v. 199, n. 92, p. 1007-1019, June 2018.
- TORKITTIKUL, Pincha; CHAIPANICH, Arnon. Utilization of ceramic waste as fine aggregate within Portland cement and fly ash concretes. **Cement and Concrete Composites**, [s.l.], v. 32, n. 6, p. 440-449, July 2010.
- TORRES, Isabel; MATIAS, Gina; FARIA, Paulina. Natural hydraulic lime mortars - The effect of ceramic residues on physical and mechanical behaviour. **Journal of Building Engineering**, [Netherlands], v. 32, n. 9, Nov. 2020.
- TRIGO, Cristina Câncio. **Pré-fabricados em argamassa armada**: material técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé. 2009. 164 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura de Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

TUTKUN, Bayram; BEGLARIGALE, Ahsanollah; YAZICI, Halit. Alkali-silica reaction of sanitary ware ceramic wastes utilized as aggregate in ordinary and high-performance mortars. **Construction and Building Materials**, [England], v. 319, n. 6, Feb. 2022.

VIEIRA, T. *et al.* Durability-related performance of concrete containing fine recycled aggregates from crushed bricks and sanitary ware. **Materials & Design**, [England], v. 90, n. 91, p. 767-776, Jan. 2016.

ZANELLI, Chiara *et al.* Waste recycling in ceramic tiles: a technological outlook, *Resources. Conservation and Recycling*, [Netherlands], v. 168, n. 74, May 2021.

ZEGARDŁO, Bartos; SZELAĞ, Maciej; OGRODNIK, Pawel. Ultra-high strength concrete made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes – The method of production and the interfacial transition zone. **Construction and Building Materials**, [England], v. 122, n. 72, p. 736-742, Sept. 2016.

ZHANG, Liqing *et al.* Effect of ceramic waste tile as a fine aggregate on the mechanical properties of low-carbon ultrahigh performance concrete. **Construction and Building Materials**, [England], v. 370, Mar. 2023.