



**GISELLE LARISSA REBOUÇAS COUTO SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO  
CONFECCIONADOS COM RESÍDUOS DE QUARTZITO,  
SERINGUEIRA E POLPAÇÃO DE CELULOSE**

**LAVRAS – MG  
2024**

**GISELLE LARISSA REBOUÇAS COUTO SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO CONFECCIONADOS  
COM RESÍDUOS DE QUARTZITO, SERINGUEIRA E POLPAÇÃO DE CELULOSE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, para a obtenção do título de Doutora.

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes  
Orientador

Prof. Dr. Danilo Wisky Silva  
Coorientador

Prof. Dr. Mário Vanoli Scatolino  
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).**

Silva, Giselle Larissa Rebouças Couto.

Caracterização de blocos de concreto confeccionados com  
resíduos de quartzito, seringueira e polpação de celulose / Giselle  
Larissa Rebouças Couto Silva. - 2024.

58 p.

Orientador(a): Lourival Marin Mendes.

Coorientador(a): Danillo Wisky Silva, Mário Vanoli Scatolino.

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

Bibliografia.

1. Fibras naturais. 2. Rejeitos. 3. Blocos cimentícios. I. Mendes,  
Lourival Marin. II. Silva, Danillo Wisky. III. Scatolino, Mário  
Vanoli. IV. Título.

**GISELLE LARISSA REBOUÇAS COUTO SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO CONFECCIONADOS COM  
RESÍDUOS DE QUARTZITO, SERINGUEIRA E POLPAÇÃO DE CELULOSE**

**CHARACTERIZATION OF CONCRETE BLOCKS MADE FROM QUARTZITE,  
RUBBER TREE AND CELLULOSE PULP WASTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 03 de julho de 2024.

Dr. Danilo Wisky Silva	KLABIN
Dr. José Benedito Guimarães Júnior	UFLA
Dra. Lays Camila Matos	UFRA
Dr. Ricardo Gabriel de Almeida Mesquita	UFSB

Dr. Lourival Marin Mendes  
Orientador

Dr. Danilo Wisky Silva  
Coorientador

Dr. Mário Vanoli Scatolino  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2024**

*À minha pequena família: meus filhos, Heitor Bruno e Idris Filipe: que eu possa ser porto seguro e inspiração para vocês, e meu esposo, Filipe Bruno, que possamos seguir firmes nos apoiando, incentivando e buscando compreender-nos sempre. Amo vocês e nossa família.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que me permitiu chegar até aqui, colocando excelentes pessoas pelo caminho para me apoiarem e me conduzirem em cada etapa.

À UFLA, ao DCF, ao PPG-CTM e a CAPES pela oportunidade de realizar este estudo. A CAPES pela concessão de bolsa e ao CNPq pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa. Um agradecimento especial ao coordenador Dr. Paulo Hein e a Raisa Faetti, por toda dedicação e principalmente em resolver os obstáculos burocráticos que surgiram.

Ao meu orientador, Dr. Lourival, que é como um pai para seus orientados. Como eu gostaria de ter convivido mais com essa excelente pessoa que és, que Deus o conserve sempre esse ser humano ímpar.

Aos meus coorientadores Dr. Danillo Wisky e Dr. Mário Vanoli, cada um a seu tempo e a sua maneira, deram seu toque especial neste trabalho.

Ao meu irmão de orientação Felipe Gomes Batista, você deve saber o quanto foi essencial para que tudo se realizasse, e a Dayane Medeiros pelo apoio e compreensão.

À toda a equipe do Complexo BIOMAT, que dispuseram de seu tempo e apoiaram para que tudo pudesse se realizar. E as empresas Bloco Forte Artefatos de Cimento (produção dos blocos), Cenibra (doação UKP) e Mosaico São Tomé Ltda (doação quartzito), parcerias essenciais para o desenvolvimento do estudo.

Ao meu professor e amigo, Dr. Eduardo de Souza Mafra, você faz parte dessa conquista, obrigada por todo apoio, acolhida e por acreditar no meu potencial.

Às minhas amigas e amigos que sempre estão prontos a me dar um apoio, uma palavra amiga, um ralhinho ou mesmo frases inspiradoras e motivadoras para seguir, ou apenas me darem uma nova forma de ver as coisas. Obrigada por romperem meu casulo social vez ou outra.

À minha grande família, em nome de minha avó, Raymunda Rebouças, e meu pai, Roberto Oliveira, vocês foram, são e sempre serão minhas maiores inspirações e motivadores para seguir me aperfeiçoando como pessoa e como profissional. Obrigada por tanto.

À segunda família que Deus me abençoou, Maria José, Euniro Batista e Caroline Santos, obrigada por estarem sempre por perto, apoiando e zelando por minha pequena família.

Aos meus filhos, Heitor Bruno e Idris Filipe, e ao meu esposo, Filipe Bruno, por tanta compreensão nos momentos que abdiquei de estar com vocês, ou mesmo nos quais não fui uma mãe e/ou uma esposa boa o suficiente. Meu querido esposo, você sabe o quando sonhei com a realização deste título e você sabe o quando foi difícil seguir, obrigada por me incentivar a prosseguir, mesmo quando duvido de mim.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente, para que eu chegasse até aqui. Foram longos anos de grandes turbilhões de emoções, desafios (principalmente mental), mas também de muitas realizações. Desde minha aprovação neste PPG, minha vida mudou completamente.

*Quem tem família e amigos tem tudo.  
Gratidão e resiliência.*

*Qui a de la famille et des amis tient tout.  
Gratitude e résilience.*

## RESUMO

A utilização de resíduos visando responder à problemática ambiental de seu descarte e ao mesmo tempo dar-lhe uma destinação funcional é o foco de inúmeros estudos na atual questão de sustentabilidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar física e mecanicamente os blocos produzidos a partir de pó de quartzito, lodo primário da polpação de celulose e partículas do tronco de seringueira. Para a produção dos blocos, o lodo primário da polpação de celulose e de seringueira, foram submetidos à três tratamentos: imersão em água quente, sulfato de alumínio e baba de cupim sintética. A formulação empregada para produção dos blocos foi de 8,2% de cimento, 45,9% de pedrisco, 45,9% de areia, sendo substituída por pó de quartzito na proporção de 33% em relação a areia, com adição de dois diferentes tipos de material lignocelulósicos, sendo 2,26% de lodo primário da polpação de celulose e 2,5% de partículas do tronco de seringueira. A cura do cimento ocorreu em condições ambiente por 28 dias. Posteriormente, os blocos foram submetidos as análises das propriedades físicas, mecânicas e permeabilidade ao ar. O pó de quartzito apresentou boa relação com o cimento, fato atribuído ao seu alto teor de sílica (70,1%), podendo influenciar na durabilidade dos blocos cimentícios. O lodo primário da polpação de celulose apresentou potencial como reforço, principalmente quando tratada com sulfato de alumínio. O referido tratamento proporcionou aos blocos maior densidade (1,71 g/cm<sup>3</sup>) e conseqüentemente redução da porosidade (14,3%), absorção de água (9,17%) e a permeabilidade. Os blocos apresentaram melhor resultado de resistência à compressão (4,39%), no tratamento com sulfato de alumínio. Assim, a incorporação de polpa celulósica mostrou-se promissora. Com relação ao uso de partículas do tronco de seringueira, os tratamentos não apresentaram bons resultados nas propriedades analisadas. Apesar disso, todos os tratamentos atenderam os requisitos normativos da NBR 6136 (ABNT, 2016) para absorção de água (<13%). Assim, essa pesquisa trouxe traço alternativo para produção de blocos que visa valorizar resíduos de mineração e florestais, contribuindo na sustentabilidade do setor da construção civil.

**Palavras-chave:** Quartzito. Fibras naturais. Compósitos. Rejeitos. Blocos cimentícios.

## ABSTRACT

The use of waste in order to respond to the environmental problem of its disposal and at the same time give it a functional destination is the focus of numerous studies on the current issue of sustainability. The aim of this study was to physically and mechanically evaluate blocks made from quartzite powder, primary pulping sludge and rubber tree trunk particles. To produce the blocks, the primary pulp sludge and rubber tree sludge were subjected to three treatments: immersion in hot water, aluminum sulphate and synthetic termite slime. The formulation used to produce the blocks was 8.2% cement, 45.9% pebbles, 45.9% sand, replaced by quartzite powder in a proportion of 33% compared to sand, with the addition of two different types of lignocellulosic material, 2.26% primary pulp sludge and 2.5% rubber tree trunk particles. The cement was cured under ambient conditions for 28 days. The blocks were then subjected to analysis of their physical and mechanical properties and air permeability. The quartzite powder showed a good relationship with the cement, a fact attributed to its high silica content (70.1%), which could influence the durability of the cement blocks. Primary pulp sludge showed potential as a reinforcement, especially when treated with aluminum sulfate. This treatment gave the blocks a higher density (1.71 g/cm<sup>3</sup>) and consequently reduced porosity (14.3%), water absorption (9.17%) and permeability. The blocks had better compressive strength (4.39%) when treated with aluminum sulphate. Thus, the incorporation of cellulose pulp proved promising. With regard to the use of rubber tree trunk particles, the treatments did not show good results in the properties analyzed. Despite this, all the treatments met the normative requirements of NBR 6136 (ABNT, 2016) for water absorption (<13%). Thus, this research has provided an alternative design for the production of blocks that aims to valorize mining and forestry waste, contributing to the sustainability of the civil construction sector.

**Keywords:** Quartzite. Natural fibers. Composites. Waste. Cement blocks.

## **INDICADORES DE IMPACTO**

Os blocos cimentícios confeccionados com resíduos da polpação de celulose, seringueira e quartzito, tem potencial para modelo de desenvolvimento sustentável e fomentar um caminho mais sustentável para a indústria da construção. Atende às necessidades atuais, e assegura um futuro melhor para as próximas gerações, destacando a importância da inovação e da responsabilidade ambiental do processo produtivo. A aplicação de resíduos não apenas promove a gestão sustentável de materiais, como contribui para o ODS 12, ao reduzir a quantidade de resíduos descartados e incentivar a economia circular. Pode impactar diretamente o ODS 9 introduzindo inovações no setor da construção civil, promovendo materiais mais sustentáveis e eficientes. Alinhando-se ao ODS 13 por diminuir a emissão de carbono associada à produção convencional de cimento. Ambientalmente, reduz a quantidade de resíduos enviados a aterros e a pegada de carbono associada à produção de cimento convencional. Socialmente, impacta a geração de emprego e o envolvimento da comunidade em práticas sustentáveis. A educação e a conscientização sobre a sustentabilidade, refletidas no ODS 4, podem ser observadas, ao se promover um entendimento mais profundo sobre a importância do uso de resíduos e fomenta um caminho mais sustentável para a indústria da construção.

## **IMPACT INDICATORS**

Cement blocks made from pulp waste, rubber and quartzite, have the potential to be a model for sustainable development and promote a more sustainable path for the construction industry. It meets current needs and ensures a better future for generations to come, highlighting the importance of innovation and environmental responsibility in the production process. The application of waste not only promotes the sustainable management of materials, but also contributes to SDG 12 by reducing the amount of waste disposed of and encouraging the circular economy. It can directly impact SDG 9 by introducing innovations in the construction sector, promoting more sustainable and efficient materials. It aligns with SDG 13 by reducing the carbon emissions associated with conventional cement production. Environmentally, it reduces the amount of waste sent to landfills and the carbon footprint associated with conventional cement production. Socially, it has an impact on job creation and community involvement in sustainable practices. Education and awareness of sustainability, reflected in SDG 4, can be observed by promoting a deeper understanding of the importance of using waste and fostering a more sustainable path for the construction industry.

**LISTA DE FIGURAS**  
**SEGUNDA PARTE – MANUSCRITOS**

**ARTIGO 1**

Figura 1.	Fluxograma da produção dos blocos de concreto .....	31
Figura 2.	Permeâmetro para o ensaio de permeabilidade.....	32
Figura 3.	Composição química do UKP.....	33
Figura 4.	Análise granulométrica do quartzito, areia e pedrisco .....	35
Figura 5.	(a) Densidade aparente e (b) porosidade aparente dos blocos .....	36
Figura 6.	Absorção de água dos blocos .....	37
Figura 7.	Resistência à compressão dos blocos .....	38
Figura 8.	Micrografias da região da ruptura dos blocos .....	39
Figura 9.	Permeabilidade dos blocos .....	40

**ARTIGO 2**

Figura 1.	Fluxograma da produção dos blocos de concreto .....	48
Figura 2.	(a) Densidade aparente e (b) porosidade aparente dos blocos .....	50
Figura 3.	Absorção de água dos blocos em diferentes tratamentos .....	51
Figura 4.	Resistência à compressão dos blocos .....	52
Figura 5.	Micrografias da região de ruptura dos blocos .....	53
Figura 6.	Permeabilidade dos blocos por tratamento .....	54

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	<b>12</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 Blocos de concreto</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2 Quartzito</b> .....	<b>17</b>
<b>3.3 Seringueira</b> .....	<b>18</b>
<b>3.4 UKP (Unbleach Kraft Pulp)</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5 Material lignocelulósico em compósito de cimento</b> .....	<b>19</b>
<b>3.6 Pré-tratamento das fibras</b> .....	<b>21</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>22</b>
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS</b> .....	<b>26</b>
<b>ARTIGO 1 - RESÍDUOS DE MINERAÇÃO E DE POLPAÇÃO DE CELULOSE NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	<b>27</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>
<b>ARTIGO 2 - BLOCOS DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DE RESÍDUOS DE QUARTZITO E ADIÇÃO DE PARTÍCULAS DE MADEIRA DE SERINGUEIRA</b> .....	<b>45</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>46</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>47</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>50</b>
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>55</b>

## **PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por novos materiais que possam substituir os comumente utilizados, como: madeira, aço, cerâmicas (vidro e cimento) e plásticos, é crescente. Segundo Benitez et al. (2021), a construção civil, por ser grande consumidora de agregados naturais, vem se tornando uma grande recicladora, pois passou a procurar materiais alternativos utilizando resíduos do próprio setor e de outras indústrias. A utilização desses materiais para formulação de produtos compósitos, se apresenta como uma alternativa.

Compósito é o resultado da combinação racional, entre um componente descontínuo responsável pela resistência ao esforço, e outro contínuo, que transfere os esforços (ISAIA, 2007; SILVA, CASCUDO e BACARJI, 2022). Os blocos cimentícios são um tipo de compósito, visto que são constituídos de cimento Portland (fase matriz) e agregados (fase dispersa). Segundo Medeiros e Sabbatini (1993) para ser considerado um bloco, este deve ser produzido em prensas vibratórias e ter dimensões maiores que 250 x 120 x 55 mm, e conforme a norma NBR 6136 (ABNT, 2014) o bloco vazado de concreto simples é um componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior.

A composição do concreto é feita a partir do cimento, da brita (agregado graúdo), areia (agregado fino) e água. Durante a produção dos materiais cimentícios são gerados impactos ambientais nas etapas de extração, produção das matérias primas, transporte e processamento o que gera preocupação quanto a sua contribuição para o aquecimento global (CALDAS E TOLEDO FILHO, 2018).

O quartzito é uma rocha ornamental bastante explorada no país, durante seu processo de exploração há a produção, do rejeito, pó de quartzito. Devido as suas características físicas, e por possuir uma estrutura cristalina organizada e densa (SANTOS et al., 2014), pode favorecer o surgimento de uma resistência interna elevada. Como o pó possui uma granulometria pequena, este pode ser utilizado em substituição ao agregado fino necessário para a formação do concreto.

O pó de quartzito, oriundo do beneficiamento desse mineral, entra nesse estudo como um substituinte de parte da areia empregada na composição do concreto. Essa substituição visa dar uma destinação mais nobre a esse resíduo, o qual a exploração causa grande impacto ao meio ambiente, como por exemplo, mudança na estrutura do solo, relevo, poluição do ar, assoreamento de corpos hídricos, entre outros, além de potencializar o uso desse rejeito de novas maneiras.

A adição de material lignocelulósico ao concreto, visa melhorar sua qualidade quanto a rigidez, a tenacidade, a relação resistência-massa, as propriedades térmicas e acústicas (ŞAHİN et al., 2019). A seringueira (*Hevea brasiliensis*) é uma espécie economicamente relevante, devido ao fato de produzir a borracha natural, matéria-prima muito empregada na indústria automobilística. O Brasil não tem tradição de utilizar madeira de seringueira (RAMOS et al., 2016), e ao final do ciclo de produção de látex a árvore é cortada e utilizada como fonte barata de energia (EUFRADE JUNIOR et al., 2015), dessa forma, sua madeira vem sendo avaliada tecnologicamente, a fim de diversificar seu potencial de uso. (RAIA et al., 2018; ŞAHİN et al. 2019), dentre eles a aplicação como substituinte às fibras sintéticas comumente utilizadas em associação ao concreto.

Cardoso et al. (2022) citam que a composição química das fibras vegetais (açúcares, extrativos, hemiceluloses e lignina) podem impedir ou atrasar a pega do cimento. Essa heterogeneidade presente nas fibras vegetais, faz com que seja necessário a aplicação de tratamentos visando a extração de componentes inibidores da cura do cimento ou adicionar aceleradores da pega do cimento.

Os pré-tratamentos químicos e/ou físicos podem aumentar a compatibilidade entre o reforço (lignocelulósico) e a matriz (cimentícia) (CARDOSO et al., 2022). A imersão em água quente é capaz de eliminar extrativos inibidores de endurecimento do cimento (IWAKIRI et al., 2017) enquanto o sulfato de alumínio, impede a liberação de açúcar dos agregados orgânicos, reduz a higroscopicidade e a absorção de água (BALČIŪNAS et al., 2015), e melhora a compatibilidade do cimento e dos agregados de origem vegetal (PANTAWEE et al., 2017). Já a baba de cupim sintética, que é um produto derivado de óleos vegetais, atua como estabilizante e impermeabilizante da fração fina do solo, agindo contra a lixiviação causada pela água (CORRÊA et al., 2015).

O processo (mecânico, térmico ou químico) que transforma o material lignocelulósico em um material fibroso é chamado de polpação (SMOOK, 2016). O processo Kraft é o método mais utilizado mundialmente (SOUZA, 2024). Esse processo consiste, resumidamente, na utilização de, principalmente, sulfeto de sódio e outros compostos (licor de cozimento) nos cavacos de madeira, na presença de calor e pressão elevados, com o objetivo de remover (degradando e solubilizando) compostos não celulósicos, principalmente a lignina, e individualizar as fibras (SMOOK, 1987; ALVES et al., 2015). A polpa resultante pode ser branqueada ou não, neste segundo caso, é conhecida pela sigla UKP (Unbleach Kraft Pulp), isto é, polpa Kraft não branqueada.

Tendo como motivação a preocupação ambiental com a elevada geração de resíduos pelas indústrias civil e madeireira, este trabalho propôs a produção de blocos cimentícios. Assim, analisou-se a potencialidade da substituição parcial da areia (agregado miúdo) por pó de quartzito, devido os impactos ambientais deste último no meio ambiente. E aplicou-se reforços lignocelulósicos: lodo primário da polpação de celulose e partículas de madeira seringueira do fim do ciclo de exploração do látex. O material lignocelulósico sofreu três tratamentos, e analisou-se as propriedades físicas e mecânicas dos blocos, além da permeabilidade ao ar.

O presente estudo se justifica pela necessidade de se encontrar novos usos para resíduos tanto da indústria civil quanto madeireira, a fim de minimizar os impactos ambientais do seu descarte. Partindo da hipótese de que os resíduos de quartzito e os tratamentos aplicados aos materiais lignocelulósicos serão capazes de melhorar as características de blocos cimentícios apesar do ambiente alcalino do cimento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Caracterização de blocos de concreto incorporados com resíduos de quartzito e reforçados com resíduos tratados de polpação de celulose e partículas de seringueira.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- a) Avaliar o potencial de uso dos resíduos de quartzito e do lodo primário da polpação de celulose nas propriedades físicas, mecânicas e permeabilidade em blocos de concreto;
- b) Avaliar o potencial de uso dos resíduos de quartzito e partículas de madeira de seringueira nas propriedades físicas, mecânicas e permeabilidade em blocos de concreto.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Blocos de concreto

Considerado a unidade de alvenaria, o bloco de concreto é constituído por concreto, ou seja, uma mistura homogeneizada, usualmente composta por cimento Portland, agregados miúdo e graúdo, água e aditivos, moldado por meio de vibração e prensagem simultâneas (OLIVEIRA *et al.*, 2016; SCHEIFER e CALLEJAS, 2021), também conhecido como vibroprensa.

O concreto trata-se de um elemento pré-moldado e que, conforme sua função ou uso e resistência à compressão, possui a seguinte classificação pela ABNT NBR 6136 (2016):

Tabela 1. Classes, funções e resistência à compressão mínima exigida para os blocos de concreto

Classe	Função/Usos	Resistência à compressão (MPa)
A	Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo	$\geq 8,0$
B	Com função estrutural, para o uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo	$4,0 \leq f_{bk} \leq 8,0$
C	Com e sem função estrutural, para o uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo	$\geq 3,0$

Considera-se um bloco estrutural, aquele que além de suportar o próprio peso, suporta mais carga tendo, portanto, função estrutural, enquanto o bloco de vedação, é aquele que suporta o próprio peso e precisa de outras estruturas, geralmente ferro, para suportar a carga aplicada, logo sua finalidade é vedar os diferentes ambientes (PORTILHO *et al.*, 2023).

#### 3.2 Quartzito

Santos *et al.* (2014) afirmam que a extração mineral no Brasil é favorecida tanto pela extensão territorial quanto pela formação geológica, e há uma extensa gama de produtos. Dentre os minerais explorados voltados ao uso na construção, encontra-se as rochas ornamentais, entre elas o quartzito.

A Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2018), classifica quartzito como rochas compostas essencialmente por grãos ou cristais de quartzo, quartzo microcristalino, quartzo criptocristalino e/ou sílica amorfa, metamorfozadas ou não. Ainda segundo a ABIROCHAS, classifica-se quartzitos foliados quando, pela presença de mica isorientada, permitem delaminação plano-paralela (deslocamento) com o uso de cunhas,

incluindo-se a pedra São Tomé (Figura 1), cujos principais produtos são de processamento simples.

Francklin Junior (2009), já apontava que o resíduo gerado no processo de extração e de processamento da “pedra mineira” é um grande problema para os empreendedores, devido ao grande volume de material, que pode produzir impactos ambientais negativos como: desconfiguração da paisagem, alterações na conformação natural do relevo, assoreamento dos corpos de água, impedir o desenvolvimento da vegetação nativa, gerar instabilidades nos taludes, dentre outros.

O quartzito tende a ser coeso, com estrutura cristalina densa e organizada e juntamente com a força do cimento entre as partículas, pode propiciar uma resistência interna elevada (SANTOS *et al.*, 2014).



Figura 1 – Tipos de Pedra São Tomé.

Fonte: ABIROCHAS (2018)

### 3.3 Seringueira

A espécie *Hevea brasiliensis*, conhecida popularmente como seringueira, é nativa da região amazônica (IWAKIRI *et al.*, 2018) e é de grande importância pois produz o látex, que é a base para a borracha natural, matéria-prima muito empregada na indústria automobilística. Segundo Lorenzi (2002), sua madeira é de baixa densidade (variando de 560 a 650 kg.m<sup>-3</sup>), macia, de baixa durabilidade natural e de alburno indistinto. Para Iwakiri *et al.* (2007) sua densidade é uma vantagem técnica na fabricação de painéis compensados para fins estruturais, visto que esse tipo de painel exige uma maior resistência mecânica.

Faria *et al.* (2020) afirmam que a expansão do plantio de seringueira provoca uma oferta significativa da madeira ao final da rotação (25-30 anos), levando ao interesse em estudos sobre essa matéria-prima. Segundo Raia *et al.* (2018), a seringueira vem sendo avaliada

tecnologicamente, a fim de diversificar seu potencial de uso. Haridasan (1989) já apontava a possibilidade de uso na fabricação de portas, janelas, formas para concreto armado, vigas, colunas, painéis e artigos domésticos na forma de madeira compensada.

No entanto, de acordo com Ramos *et al.* (2016) no Brasil não há tradição de uso industrial da madeira de seringueira, a não ser para produção de biomassa. Okino *et al.* (2004), afirmam que a seringueira *in natura* é viável à produção de chapas de madeira para uso com cimento.

A baixa densidade, a expansão de cultivo de seringueira e consequente necessidade de rotação do plantio, somados ao fato de ser uma espécie indicada para uso com cimento, levaram a escolha desta para ser utilizada no presente estudo.

### **3.4 UKP (Unbleach Kraft Pulp)**

A indústria de papel e celulose, utiliza fibras vegetais do caule, principalmente do gênero *Eucalyptus*. O processo químico que dá origem à pasta celulósica, é chamado de ‘Kraft’ ou ‘polpação Kraft’. Esse processo foi desenvolvido, em 1879, e patentado, em 1884, por Dahl (Coelho, 2021). Segundo Silva *et al.* (2022), o processo é baseado na reação da madeira, já reduzida a tamanhos menores, com uma solução de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio em condições controladas de tempo, temperatura e pressão. O objetivo desse processo é a obtenção de fibras celulósicas individualizadas.

Durante o processo produtivo há geração de grandes quantidades de efluentes. Para minimizar os impactos destes no meio ambiente, são realizados tratamentos nos efluentes, e segundo Grimm *et al.* (2019), a depender do tratamento e da matéria prima utilizada, origina-se os lodos primário e secundário.

### **3.5 Material lignocelulósico em compósito de cimento**

Segundo Sahin e Simsek (2022), pode-se destacar como vantagens ao uso de elementos de madeira no compósito de cimento, a grande variedade de espécies, a baixa densidade, elevada resistência à tração, baixo custo e a capacidade tecnológica de fornecer matérias-primas de fontes renováveis.

Ao se incorporar material vegetal à matriz cimentícia, pode-se melhorar características como a rigidez, a tenacidade, a relação resistência-massa, as propriedades térmicas e acústicas

do concreto sendo importante monitorar as propriedades químicas e físicas tanto do cimento quanto das madeiras para um melhor processo de fabricação (ŞAHİN *et al.* 2019).

Moura, Valentina e Vieira (2018) que avaliaram blocos de concreto reforçados com fibras de bambu tratadas com hidróxido de sódio. Foram analisadas as propriedades mecânicas de resistência à tração e flexão. Os autores concluíram que os blocos com fibras de bambu tratadas, tiveram: melhor resistência mecânica do que os blocos com bambu *in natura* e resistência inicial superior se comparada com o bloco sem reforço. Essa melhora pode ter ocorrido devido ao aumento de teor de celulose nas fibras tratadas, já que o hidróxido de sódio degrada a lignina e as hemiceluloses.

Thanushan *et al.* (2019), testaram a força e a durabilidade de blocos de cimento de terra reforçados com fibras de coco. Foram utilizadas 4 diferentes quantidades de fibras (0 g; 16,2 g, 32,4 g, 48,6 g). Utilizando a norma ASTM C1609 (2019) para avaliar os blocos, observou-se que houve uma redução da resistência inicial e aumento na residual, logo as fibras foram capazes de segurar, fazendo a costura nos espaços vazios que acabam surgindo dentro do concreto.

Villas-Bôas, Iwakiri e Parchen (2020) produziram blocos vazados de concreto simples, de baixa densidade, fazendo uso de resíduos madeireiros de *Pinus spp.* e cimento em diferentes traços. Os resíduos madeireiros foram empregados no tamanho de cavacos. Quanto as propriedades físicas, a umidade dos blocos variou de 31,43% à 34,98%; a densidade aparente variou de 0,54 g/cm<sup>3</sup> à 0,72 g/cm<sup>3</sup>, sendo menores que os blocos convencionais; a absorção de água variou de 36,22% a 48,24%. Em relação a compressão axial, os valores variaram de 1,09 MPa à 1,42 MPa, não chegando ao requisito mínimo de 3 MPa estabelecido pela NBR 6136.

Carvalho *et al.* (2021) estudaram a utilização de bambu na composição do concreto, com o objetivo de determinar a importância de materiais alternativos na construção civil, com enfoque nas fibras de bambu. Foram utilizados o cimento Portland CP II, areia, brita e as fibras de bambu, sendo o traço padrão utilizado de 1:1,56:2,13 e a relação água/cimento de 0,45; um superplastificante ADVA 525, para ajudar no processo de extrusão dos blocos; as proporções de fibras foram de 0%, 0,5% e 1%. Para análise da compressão axial simples utilizaram a norma NBR 5739/07 e para à tração indireta por compressão diametral a NBR 7222/94. Os principais resultados foram: os requisitos mínimos da NBR 6118/03 foram atingidos e que o bambu não foi determinante para o aumento da resistência mecânica.

### 3.6 Pré-tratamento das fibras

Para Sahin e Simsek (2022) dentre as principais desvantagens do uso de madeira na matriz de cimento, é o fato das fibras naturais sofrerem decomposição no ambiente alcalino do cimento. Por isso há a necessidade de se aplicar tratamentos nas fibras vegetais visando aprimorar a ligação fibra/matriz, aumentar a tensão de aderência e promover a durabilidade, da fibra e conseqüentemente do compósito (FONSECA, 2021) devido a redução da decomposição alcalina.

Sahin e Simsek (2022) apontam algumas técnicas de tratamento da madeira, a fim de retirar componentes prejudiciais ao processo de produção (extrativos, açúcares, hemiceluloses e lignina), dentre eles: extração em água quente, lixiviação em água fria, extrações químicas, utilização de aceleradores de cura de cimento como  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  e  $\text{CaCO}_3$ , tratamento de  $\text{CO}_2$  e adição de pozolanas como cinzas (vulcânicas, volantes, casca de arroz) e sílica ativa condensada.

Imersão das partículas em água fria por 24 horas, imersão em água quente por 6 horas e imersão em solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1% por 2 horas, são indicadas por De Sá *et al.* (2012) como tratamentos a serem realizados nas partículas para se extrair substâncias químicas inibidoras de cura. A lavagem e fervura das fibras visa remover as impurezas solúveis em água (polissacarídeos, gorduras, resinas e fenóis) presentes nas fibras visando favorecer uma maior interação entre as fibras e a matriz a ser utilizada no compósito.

Nesse sentido, Iwakiri *et al.* (2017) constatou a eficiência do pré-tratamento imersão em água quente. Segundo os autores, este pré-tratamento elimina os principais extrativos inibidores de endurecimento do cimento presentes na madeira.

Com relação ao sulfato de alumínio, seu uso impede a liberação de açúcar dos agregados orgânicos, reduz a higroscopicidade e a absorção de água (Balčiūnas *et al.*, 2015), melhoram a compatibilidade do cimento e dos agregados de origem vegetal (Pantawee *et al.*, 2017), e evita interferência dos extrativos no processo de hidratação do cimento (Weber *et al.* 2017)

De acordo com Corrêa *et al.* (2015) a “baba de cupim” é um produto derivado de óleos vegetais que atua como um estabilizante e impermeabilizante da fração fina do solo, agindo contra a lixiviação causada pela água.

## REFERÊNCIAS

ALVES, É. D.; PINHEIRO, O. S.; COSTA, A. O. S. da; COSTA JÚNIOR, E. F. da C. Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal. *Revista Liberato*. Novo Hamburgo, v. 16, n. 26, p101-220, jul./dez. 2015

ANDRADE, L. M. F. *et al.* Inclusão do resíduo de polpação da celulose na produção de painéis aglomerados de média densidade. *Scientia Forestalis*, v. 46, n. 120, p. 626-637, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). **Tipologia das Rochas Ornamentais**. 2018. Disponível em: [https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Tipologia\\_das\\_Rochas\\_Ornamentais.pdf](https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Tipologia_das_Rochas_Ornamentais.pdf). Acesso em: 18/05/2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2014a). **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT.

BALČIŪNAS, G., PUNDIENĖ, I., LEKŪNAITĖ-LUKOŠIŪNĖ, L., VĖJELIS, S., & KORJAKINS, A. Impact of hemp shives aggregate mineralization on physical–mechanical properties and structure of composite with cementitious binding material. *Industrial Crops and Products*, 77, 724–734, 2015.

BENITTEZ, L. H. *et al.* Bloco de concreto com incorporação de escória de aciaria BSSF: um estudo para substituição de agregados naturais. *Revista Principia* - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, João Pessoa, v. 59, n. 3, p. 785-801, 2022.

CALDAS, L. R.; TOLEDO FILHO, R. D. Avaliação do Ciclo de Vida de materiais cimentícios utilizados no Brasil: estudo para argamassas, graute e bloco de concreto. *R. Latino-amer. em Aval. do Ciclo de Vida*, Brasília, v. 2, n. 2, p. 34-61, 2018.

CARDOSO, M. G. S.; OLIVEIRA, D. N. P. S DE; BUFALINO, L.; SOUZA, T. M. Tratamentos físicos e químicos de fibras residuais de *Cocos nucifera* L. visando aplicação em compósitos cimentícios. *Research, Society and Development*. 11(8). 2022.

CARVALHO, C. M.; BARBOZA, N. P.; BEZERRA, U. T.; SIMAS, T. B.; OLIVEIRA, A. C.; MAGALHÃES, G. M. Study of the use bamboo in concrete composition. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*. 2021.

CÉSAR, Antônia. Amanda da Silva. **Tratamento do resíduo da depuração (UKP) da indústria de celulose para produção de chapas minerais**. 2016. 103 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

COELHO, Marina. Ulian. **Impacto da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* na eficiência dos processos de polpação Kraft estendidos**. 2021. 136p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Piracicaba, 2021.

CORRÊA, A. A. R., *et al.* Incorporation of bamboo particles and “synthetic termite saliva” in adobes. *Construction and Building Materials*, 98, 250–256, 2015.

DE SÁ, V. A.; BUFALINO, L.; ALBINO, V. C. S.; CORRÊA, A. A.; MENDES, L. M.;

ALMEIDA, N. A. Mistura de três espécies de reflorestamento na produção de painéis cimento-madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 549-557, 2012.

EUFRADE JUNIOR, H. J.; OHTO, J. M.; SILVA, L. L.; PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. Potential of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) for structural use after the period of latex extraction: a case study in Brazil. **Journal Wood Science**, v. 61, p. 384-390, 2015.

FARIA, D. L.; MESQUITA JÚNIOR, L.; LOPES, D. E.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Estudo do comportamento mecânico de vigas de madeira laminada colada tratada de seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Construindo**, Belo Horizonte, v. 12, n. 08, p. 01-08, 2020.

FONSECA, Régis Pamponet da. **Influência de diferentes tipos de fibras vegetais amazônicas no desempenho de uma argamassa a base de cimento Portland e Metacaulim**. 2021, 173 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Trindade. Florianópolis, 2021.

FRANCKLIN JUNIOR, Ivan. **Estudo tecnológico em rejeitos de quartzito do Sudoeste de Minas Gerais para utilização como agregado graúdo no concreto**. 2009, 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2009.

GRIMM, A.; ETULA, J.; SALH, R.; KALÉN, G.; SEGERSTRÖM, M.; BRÜCHER, J.; SÖDERBERG, C.; SOUKUP, D.; PFEIFER, C.; LARSSON, S. Slagging and fouling characteristics during co-combustion of Scots pine bark with low-temperature dried pulp and paper mill chemical sludge. **Fuel Processing Technology**, v. 193, p. 282-294, 2019.

HARIDASAN, V. (1989). Rubber wood. promise of the future. **Rubber Board Bulletin**, 25, 7-8.

ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais**. Ibracon, 2007.

IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S.; PRATA, J. G.; ROSSO, S. Produção de compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 363-367, 2007.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R., WEBER, A. M.; BONFATTI JUNIOR, E. A.; PEREIRA, G. F.; BUENO, J. A.; CECHIN, L.; RAIA, R. Z. Efeitos do tratamento de partículas e aceleradores de endurecimento na produção de painéis cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 3, p. 289-296, 2017.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados de *Hevea brasiliensis* (Clone RRIM 600) em mistura com três espécies de *Eucalyptus* utilizadas pelas indústrias de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 117, p.1-10, 2018.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 2002.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Alvenaria Estrutural Não Armada de Blocos de Concreto: Produção de Componentes e Parâmetros de Projeto**. São Paulo 1993.

MOURA, C. R.; VALENTINA, L. V. O. D.; VIEIRA, A. J. T. Evaluation of Concrete Blocks Reinforced With Bamboo Fibers Treated With NaOH. **Revista Gestão Industrial**. 2018.

OKINO, E. Y. A., Souza, M. R., Santana, M. A. E., Sousa, M. E., & Teixeira, D. E. Chapa Aglomerada de Cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **Revista Árvore**, 28(3), 451-457, 2004.

OLIVEIRA, D; J. T. M. *et al.* Uso de blocos de concreto na construção civil. **Ciências exatas e Tecnológicas**. V.3, n,2 p. 103-118, 2016.

PANTAWEE, S., SINSIRI, T., JATURAPITAKKUL, C., & CHINDAPRASIRT, P. Utilization of hemp concrete using hemp shiv as coarse aggregate with aluminium sulfate [Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>] and hydrated lime [Ca(OH)<sub>2</sub>] treatment. **Construction and Building Materials**, 156, 435–442, 2017

PORTILHO, A. C., NUNES, A. F., GÓMEZ, C. M., FERRUFINO, E. S., DA SILVA BRITO, L., JACOB, R. P., & ALMENARA, V. D. J. R. Estudo de resistência bloco de concreto estrutural e de vedação com substituição de agregado miúdo por rejeito da produção do mesmo. **REVISTA OLHAR-Revista Científica da ATHON Ensino Superior**, 8(3), 50-93, 2023.

RAIA, R. Z. *et al.* Influência da extração de látex nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Hevea brasiliensis*. **Ciência da Madeira**. 2018.

RAMOS, L. M. A., LATORRACA, J. V. D. F., CASTOR NETO, T. C., MARTINS, L. S., & SEVERO, E. T. D. Anatomical characterization of tension wood in *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Mull. Arg. **Revista Árvore**, 40(6), 1099-1107, 2016.

SANTOS, D.A; M. T., GURGEL; A. F., MOTA; F. I. G., PAIVA. Extração mineral de quartzito e sua aplicabilidade na construção civil na cidade de várzea – PB. **Holos**. Natal, v. 4, n. 4, p. 89-100, 2014.

SAHIN, H. T.; SIMSEK, Y. Mineral-Bonded Wood Composites: An Alternative Building Materials. **Engineered Wood Products for Construction**. **IntechOpen**. 2022.

ŞAHİN, H. T. *et al.* **A Study on the Production Process and Properties of Cement-Based Wood Composite Materials**. *Makufebed*. 10(2): 2019-228. 2019.

SCHEIFER, D. M.; CALLEJAS, I. J. A. Caracterização física e mecânica de blocos de concreto com incorporação de areia de resíduo de construção civil. **Matéria** (Rio J.), 26 (04), 2021.

SILVA, R. V. da; CASCUDO, O.; BACARJI, E. Compósitos cimentícios com fibras de polipropileno: avaliações no estado fresco e endurecido. **Matéria** (Rio J) 27 (2). 2022.

SILVA, Rafaeli Valério da *et al.* Production of kraft pulp from *Ochroma pyramidale* wood. **Acta Amaz**. 52 (1), 2022.

SMOOK, G. **Handbook for pulp and paper technologist**. Atlanta: TAPPI Press, 4 ed. 2016, 425p.

SOUZA, J. P. N. Revisão do processo de obtenção da celulose kraft e suas tecnologias. **Ciências Agrárias**, Volume 28 (134), 2024.

THANUSHAN, K.; YOGANANTH, Y.; SANGEETH, P.; COONGHE, J. G.; SATHIPARAN, N. Strength and Durability Characteristics of Coconut Fibre Reinforced Earth Cement Blocks. **Journal of Natural Fibers**. 2019.

VILLAS-BÔAS, B. T., IWAKIRI, S., & PARCHEN, C. F. A. Produção e caracterização de blocos vazados de cimento-madeira de baixa densidade para construção civil. **Scientia Forestalis**, 48(126), 2020.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**

## ARTIGO 1 - RESÍDUOS DE MINERAÇÃO E DE POLPAÇÃO DE CELULOSE NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Giselle Larissa Rebouças Couto Silva, Felipe Gomes Batista, Dayane Targino de Medeiros, Danilo Wisky Silva, Mário Vanoli Scatolino, Antônio Claret de Matos, Júlia Naves Teixeira, Lourival Marin Mendes

**RESUMO:** O reaproveitamento de resíduos de mineração e da polpação de celulose na produção de blocos de concreto pode ser uma alternativa para agregar valor e reduzir danos ambientais. O objetivo do estudo foi avaliar o potencial de resíduos de quartzito e de polpação de celulose nas propriedades físicas, mecânicas e permeabilidade ao ar em blocos de concreto. Os resíduos de polpação de celulose foram submetidos à três tratamentos: imersão em água quente, sulfato de alumínio e baba de cupim sintética. A formulação empregada para produção dos blocos foi de 8,2% de cimento, 45,9% de pedrisco, 45,9% de areia, sendo substituída por pó de quartzito na proporção de 33% em relação a areia, com adição de 2,26% de resíduos de polpação de celulose. A cura do bloco de concreto ocorreu em condições ambiente durante 28 dias. Posteriormente, os blocos foram submetidos a análises das propriedades físicas, mecânicas e permeabilidade ao ar. O pó de quartzito apresentou boa relação com o cimento, fato atribuído ao seu alto teor de sílica (70,1%), podendo influenciar na durabilidade dos blocos cimentícios. A polpa celulósica apresentou potencial como reforço, principalmente quando tratada com sulfato de alumínio que proporcionou aos blocos maior densidade (1,71 g/cm<sup>3</sup>) e conseqüentemente reduziu a porosidade (14,3%), absorção de água (9,17%) e a permeabilidade ao ar, como também apresentou melhor resultado para resistência à compressão (4,39%). Portanto, a inclusão desses materiais apresentou características interessantes, tornando-os uma opção viável para a construção civil.

**Palavras-chave:** Quartzito. Compósitos. Permeabilidade.

### 1 INTRODUÇÃO

Os blocos de concreto são um dos materiais mais comuns da construção civil e faz uso de grande quantidade de recursos naturais na sua produção (Souza *et al.*, 2021), pois além do cimento, na sua composição estão presentes os agregados graúdos (brita) e finos (areia). Dentre as rochas ornamentais mais consumidas no mundo encontra-se o quartzito (Barros *et al.*, 2020), que é bastante explorada no Brasil (Terra *et al.*, 2023), gerando resíduos que podem chegar a 30% do bloco no corte (Vazzoler *et al.*, 2018). Essa problemática ambiental, destaca a necessidade de procurar aplicabilidades mais sustentáveis, do ponto de vista ambiental, desses

materiais. Roque e Pierri (2018) afirmam que uma forma de mitigar ou minimizar os impactos negativos da construção civil, é através da utilização de “tecnologias de construção verde”, dentre as ações consideradas pelos referidos autores está a reutilização de resíduos. Devido as características do quartzito, o resíduo na forma de pó, oriundo da sua exploração, pode ser usado na produção de argamassas (Barros *et al.*, 2020), melhorando a resistência interna (Santos *et al.*, 2014) e substituindo a areia na formação do concreto.

Estudos utilizando o quartzito em substituição ao agregado fino do concreto tem se mostrado promissores (Iwakiri *et al.*, 2017; Vazzoler *et al.*, 2018; Barros *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2021; Terra *et al.*, 2023). Outro material promissor é o lignocelulósico (Iwakiri *et al.*, 2017; Villas-Bôas, Iwakiri e Parchen, 2020; Souza *et al.*, 2021; Terra *et al.*, 2023) que tende a melhorar as características de rigidez, tenacidade, relação resistência-massa, propriedades térmicas e acústicas do concreto (Şahin *et al.* 2019; Bhosale *et al.* 2020, Terra *et al.*, 2023). Materiais lignocelulósicos têm as vantagens da ampla variedade de espécies disponíveis, baixa densidade, elevada resistência à tração, baixo custo e a capacidade tecnológica de fornecer matérias-primas de fontes renováveis (Sahin e Simsek, 2022). No entanto, devido as características intrínsecas de cada espécie, faz-se necessário estudos que comprovem a viabilidade de uso de determinada espécie.

O processo (mecânico, térmico ou químico) que transforma o material lignocelulósico em um material fibroso é chamado de polpação (Smook, 2016), sendo o processo Kraft o mais utilizado mundialmente (Souza, 2024). O processo consiste, resumidamente, na utilização de sulfeto de sódio e hidróxido de sódio, na presença de calor e pressão, com o objetivo de remover a lignina e individualizar as fibras de celulose (Alves *et al.*, 2015). A polpa resultante pode ser branqueada ou não, neste segundo caso, é conhecida pela sigla UKP (*Unbleach Kraft Pulp*), isto é, polpa Kraft não branqueada.

Por ser um material heterogêneo, o material lignocelulósico precisa passar por tratamentos visando a extração de componentes inibidores da cura do cimento ou adicionar aceleradores da pega do cimento. Pré-tratamentos químicos e/ou físicos podem aumentar a compatibilidade entre o reforço (lignocelulósico) e a matriz (cimentícia) (Latorraca, 2000; Cardoso, 2022).

Portanto, espera-se que os tratamentos aplicados nos resíduos de polpação possam aprimorar as características físicas, mecânicas e de permeabilidade ao ar dos blocos, em comparação aos blocos produzidos com material não tratado.

Considerando-se a relevante necessidade de melhor destinação de resíduos, tanto da indústria da construção civil quanto da madeireira, o presente estudo objetivou avaliar blocos cimentícios produzidos com o uso de pó de quartzito e reforçados com lodo primário da

polpação de celulose, tratados com imersão em água quente, sulfato de alumínio e baba de cupim sintética.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Obtenção do material**

Os resíduos de polpação de celulose foram originários de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* de 7 anos de idade, foram obtidos pela empresa Cenibra, na cidade de Belo Oriente – MG, Brasil. O quartzito (Pedra “São Thomé”) em pó, com densidade de 1,35 g/cm<sup>3</sup> foi proveniente da empresa da cidade de Luminárias – MG, Brasil. A matriz cimentícia utilizada neste estudo foi composta por cimento Portland CPV–ARI com alta resistência inicial, conforme a NBR 5733 (ABNT, 1991), além da areia e pedrisco, ambos, de origem brasileira.

### **2.2 Caracterização dos resíduos de polpação de celulose e pó de quartzito**

O material de reforço (resíduos da polpação de celulose) foi caracterizado quanto a densidade básica, foi utilizando o método de pesagem de massa e medição indireta de volume conforme a metodologia adaptada da norma ASTM D2395-17 (2020). Nas análises químicas, as fibras foram analisadas os teores de extrativos totais (TAPPI, 2007), lignina insolúvel (TAPPI, 2002a), cinzas (TAPPI, 2002b) e holocelulose (celulose + hemiceluloses). Os valores médios para todas as análises foram obtidos em triplicata.

A determinação analítica da composição do quartzito foi realizada pela técnica de fluorescência de raios-X por reflexão total (TXRF). O aparelho de TXRF foi conectado ao software Spectra, que ao final da análise mostrou-se os elementos químicos presentes nas amostras e suas respectivas proporções, conforme o estudo de Terra *et al.*, (2023). Na análise granulométrica do quartzito, da areia e pedrisco, foram empregadas peneiras com as aberturas: 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 600µm, 300µm e 150µm, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009a), para agregados para concreto.

### **2.3 Tratamentos dos resíduos da polpação de celulose**

Os resíduos foram submetidos à três tratamentos: imersão em água quente, com sulfato de alumínio e tratadas com “baba de cupim” conhecida como BlindaSolo® (Tabela 1). A imersão em água quente foi realizada no período de 3h em temperatura aproximadamente 103°C em banho maria (Syafri *et al.*, 2022). No tratamento com sulfato de alumínio, o resíduo da polpação de celulose foi colocado em uma betoneira giratória onde foram aspergidos a solução

a 9% do produto, que foi diluído em 1,5 vezes de água deionizada, em relação a massa seca de UKP. O tratamento com “baba de cupim” foi na proporção de 1:750 do produto BlindaSolo®, diluído em 1L de água deionizada (Gandia *et al.*, 2019), também aspergido no resíduo de polpação de celulose contido numa betoneira giratória.

Tabela 1. Tratamentos e pré-tratamento aplicado

Tratamento	Pré-tratamentos
Controle	<i>In natura</i>
T1	Água quente
T2	Sulfato de alumínio
T3	Baba de cupim sintética

#### 2.4 Produção dos blocos

Os blocos com medição de 14 x 19 x 39 cm (largura, altura e comprimento, respectivamente) foram produzidos na empresa Bloco Forte Artefatos de Cimento, Lavras, Brasil. A formulação empregada foi de 8,2% (20,5 kg) de cimento CPV-ARI, 45,9% de pedrisco, 45,9% de areia, sendo substituída por pó de quartzito na proporção de 33% em relação a areia, com adição de 2,26% de resíduos de polpação de celulose e 5.55% de água. O material de cada tratamento foi homogeneizado em um misturador com capacidade de 800 litros e posteriormente levada à máquina vibro prensa industrial, conforme a NBR 6136 (ABNT, 2016) e Terra *et al.* (2023). Para moldagem dos blocos, além da vibração, foi aplicada uma carga unidirecional vertical durante a compressão do concreto fresco (Figura 1). Foram produzidos 15 blocos por tratamento, totalizando 60 blocos. O tempo de cura do bloco foi de 28 dias para realização das análises físicas, mecânicas, de permeabilidade e microestruturais.

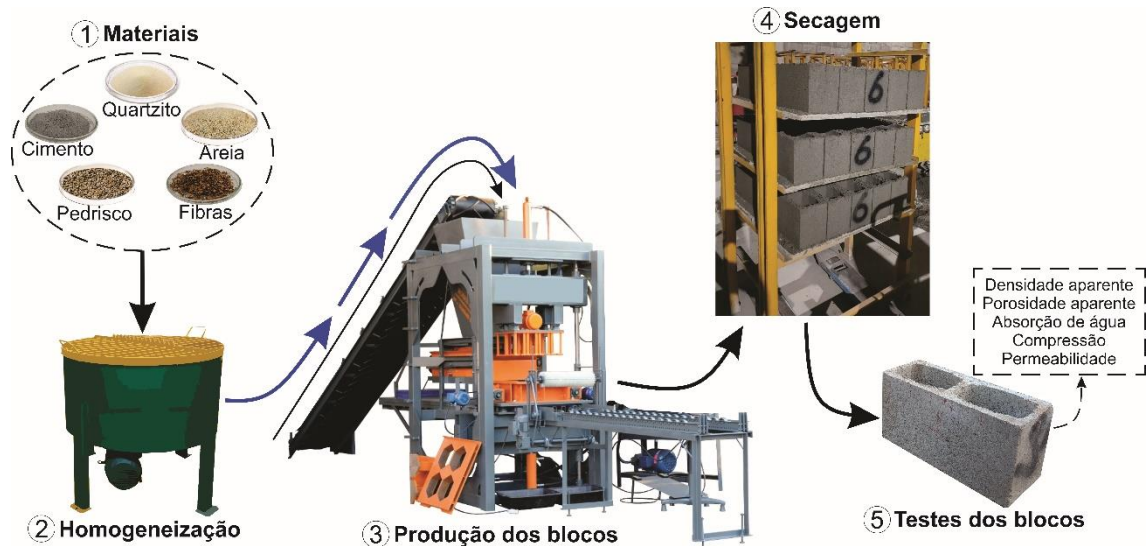


Figura 1. Fluxograma da produção dos blocos de concreto

## 2.5 Caracterização física e mecânica dos blocos

Os blocos foram avaliados após os 28 dias de cura, para a determinação da densidade aparente, absorção de água e resistência a compressão, foi seguida a norma NBR 12118 (ABNT, 2013), e porosidade foi determinada conforme a NBR 9778 (ABNT, 2009b). Para os ensaios foram utilizadas 3 amostras por tratamento.

## 2.6 Ensaio de permeabilidade ao ar dos blocos

Para análise de permeabilidade ao ar dos blocos, amostras foram cortadas em diâmetro de 50 mm e secas em estufa com ventilação de ar a 60°C durante 30 min. Em seguida, foi aplicado na borda das amostras cola de silicone para evitar que ocorresse vazamento lateral de ar e para que garantisse que o fluido (ar) permeasse pela amostra apenas na direção perpendicular à sua espessura.

O permeâmetro ao ar utilizado é constituído de um porta-amostra entre duas câmaras para avaliação das condições de pressão do fluido (ar). Uma das câmaras é a de entrada e recebe o ar proveniente de um compressor diante a um secador contendo sílica gel. Um regulador de pressão é ajustado para possibilitar a pressão de entrada desejada. Com isso, o fluido é forçado a permear pela amostra que fica preso entre anéis de borracha no porta-amostra. Assim, o fluido na câmara de saída tem sua pressão avaliada e a partir de uma mangueira de borracha é conduzida até o instrumento de medição de vazão. Diante o permeâmetro, um conjunto de tubos de vidro graduados (bolômetros) de 10 e 5 ml também fazem a função de medir a vazão. Uma bolha de sabão é produzida em sua base e o tempo para a bolha percorrida no tubo é medido, obtendo-se a vazão do fluido (Figura 2).

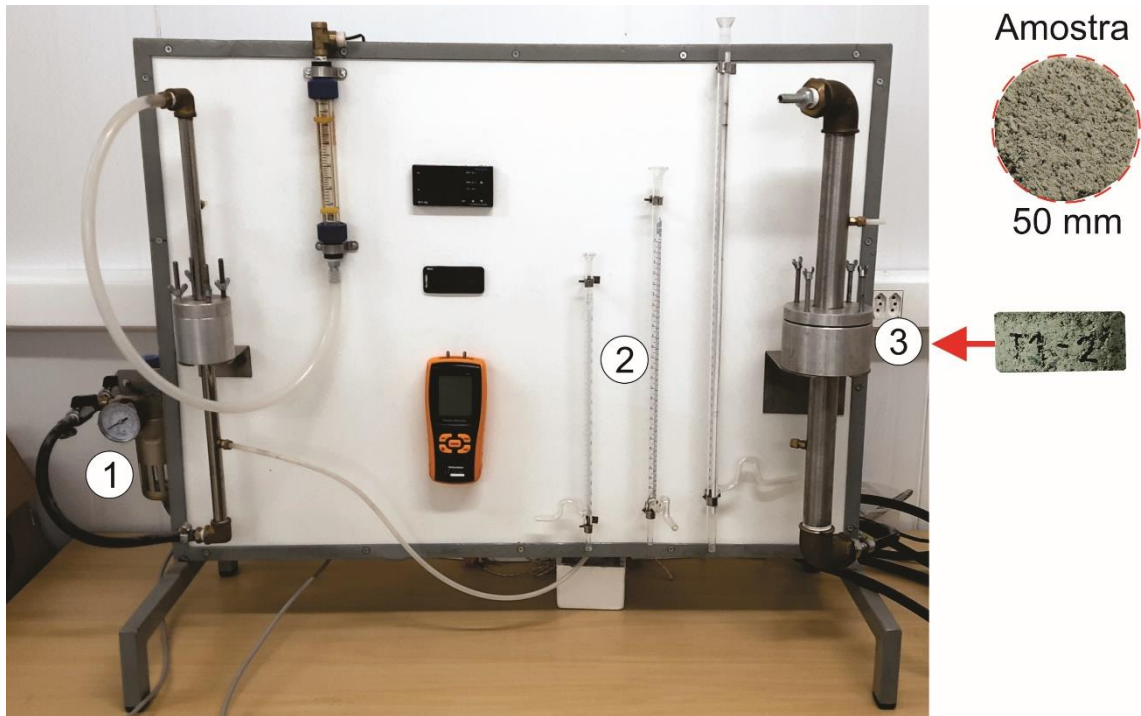


Figura 2. Permeômetro para o ensaio de permeabilidade. 1) Regulador de pressão; 2) Medidor de vazão; 3) Porta-amostra

Os dados provenientes do permeômetro de ar foram determinados ajustando a equação de Forchheimer (Equação 1), para fluidos compressíveis e assim obtidos os coeficientes de permeabilidade Darciano ( $k_1$ ) e não-Darciano ( $k_2$ ), conforme a literatura (Dey *et al.*, 2014; Innocentini *et al.*, 2019; Arantes *et al.*, 2024).

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu}{k_1} v_S + \frac{\rho}{k_2} v_S^2 \quad (1)$$

$\Delta P$  representa a queda de pressão;  $v_S$  a velocidade superficial do fluido;  $L$  é a espessura da amostra ao longo da direção do fluxo e  $\mu$  e  $\rho$  são respectivamente a viscosidade e a densidade do fluido. O  $k_1$  é expresso em dimensões de comprimento quadrado, enquanto  $k_2$  é expresso em dimensões de comprimento para manter a consistência dimensional da equação.

## 2.7 Análise microestrutural dos blocos

As imagens foram obtidas em microscópio de luz, do modelo Motic BA210E (Xiamen, China) acoplado a uma câmera Moticom X3 para melhor visualização das amostras na região da ruptura após o ensaio mecânico, com aumento de 10x.

## 2.8 Análise dos dados

Os dados analisados para cada parâmetro foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Quando houve indicação de diferenças em pelo menos um par de médias entre os

tratamentos, aplicou-se o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro. Posteriormente, os dados obtidos para absorção de água e resistência à compressão foram comparados com a norma NBR 6136 (ABNT, 2016).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização dos resíduos de polpação de celulose e pó de quartzito

O valor médio obtido para a densidade básica do resíduo da polpação de celulose foi de  $0,35 \text{ g/cm}^3$  (Figura 3), correspondendo como baixa densidade ( $< 0,50 \text{ g/cm}^3$ ) conforme a classificação do Laboratório de Produtos Florestais (LPF, 2023). Valores baixos dessa propriedade é de suma importância para produção de blocos de concreto, uma vez que pode facilitar a dispersão das fibras ao longo das amostras, além de resultar em blocos mais leves (Teixeira *et al.*, 2020).

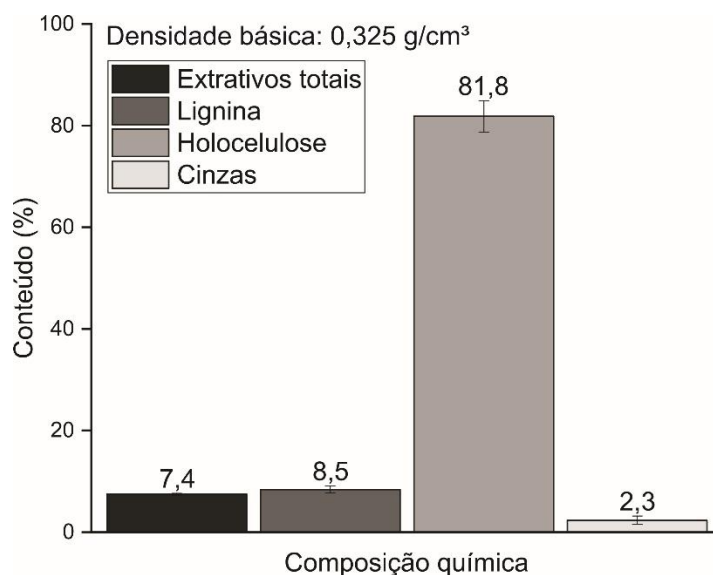


Figura 3. Densidade básica e composição química do resíduo de polpação de celulose

Na composição química é possível observar elevada proporção de holocelulose (celulose + hemiceluloses) com 81,8% e baixo teor de lignina (8,5%). No estudo de César, (2015), as fibras de UKP e a madeira de *Eucalyptus* sp. foram avaliados e observaram teores de lignina em 15,5% e 27,5%, respectivamente. Os mesmos autores, obtiveram para as fibras de UKP menor proporção de lignina e maior extrativos totais. Este fato esperado é devido o processo de cozimento da indústria de celulose que tem o objetivo de remover a lignina, que pode ter deixado pequenas quantidade nas fibras e possivelmente parte do licor presente possa ter sido quantificada como extrativos (Andrade *et al.*, 2018).

Diante a isso, os componentes que se devem ter o máximo de observação, principalmente na produção de blocos são os extrativos totais, uma vez que elevada quantidade pode interferir na cura do cimento, afetando na interação das fibras com a matriz cimentícia (Almeida *et al.*, 2013). Nesse caso, as fibras apresentaram valores de extrativos totais de 7,4%. Valores menores em relação ao estudo de Andrade *et al.*, (2019) que obtiveram 15,7% para o mesmo material.

Na Tabela 2 têm-se a composição química do quartzito, onde, o elemento de maior proporção foi o silício, correspondendo a 70,1%. A presença de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) em materiais cimentícios pode acarretar em melhor hidratação do cimento (Narciso, 2018), devido a reações entre este componente e o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), reações que resultam em melhor resistência dos blocos de concreto. Além disso, outros componentes observados no material foi o ferro com 9,8%, cálcio (7,2%) e magnésio (6,2%). Os demais elementos tiveram detecção baixa, entre eles o cobre, fósforo, manganês, enxofre, zinco e boro, não sendo observado o potássio e o sódio. De acordo com Torres *et al.*, (2009) a presença elevada de ferro é responsável pela coloração avermelhada da peça após a queima.

Tabela 2. Composição química do quartzito

Quartzito	
Composição química	Conteúdo (%)
Si	70,1
Fe	9,8
Ca	7,2
Mg	6,1
Cu	3,1
P	2,2
Mn	1,1
S	0,2
Zn	0,1
B	0,1
K	*
Na	*

Onde: Si – Silício; Fe – Ferro; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Cu – Cobre; P – Fósforo; Mn – Manganês; S – Enxofre; Zn – Zinco; B – Boro; K – Potássio; Na – Sódio. (\*) Não observado

Na figura 4 é apresentada as porcentagens de material retido nas peneiras, conforme a classificação para agregado miúdo (ABNT, 2009a). Assim, os materiais estudados (pó de quartzito, areia e pedrisco) podem ser considerados como agregado miúdo, devido os mesmos passarem pela peneira de 4,75 mm (Figura 4a).

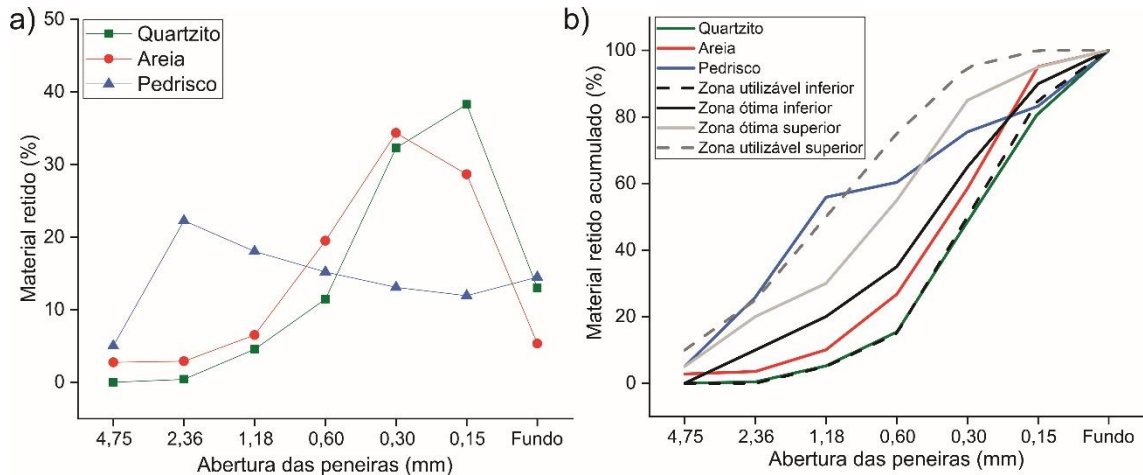


Figura 4 - Análise granulométrica do quartzito, areia e pedrisco.

A maior porcentagem retida de quartzito, areia e de pedrisco foi na peneira de 0,15 mm (38,3%), sendo que também foram retidos materiais nas peneiras de 0,30 mm (34,3%) e 2,36 mm (22,2%), respectivamente. A partir das quantidades retidas acumuladas apresentadas na curva granulométrica, é possível calcular o módulo de finura (Figura 4b). O pó de quartzito apresenta módulo de finura de 0,79, enquanto a areia de 0,95 e o pedrisco de 0,83. Com isso, os materiais utilizados possuem granulometrias dentro das zonas utilizáveis superior e inferior, apesar do pedrisco na abertura de 1,18 mm e o quartzito após 0,30 mm apresentarem pequenas quantidades de materiais fora das zonas.

### 3.2 Caracterização física e mecânica dos blocos

Verificou-se que houve diferenças estatísticas entre os tratamentos para as propriedades físicas dos blocos (Figura 5). A densidade aparente dos blocos variou de 1,52 a 1,71 g/cm<sup>3</sup> (Figura 5a). Considerando que a densidade influencia nas propriedades físicas e mecânicas, o maior valor densidade foi obtido no tratamento com sulfato de alumínio (T2). A mineralização das fibras pode ter melhorado a otimização da produção dos blocos, devido ao preenchimento de fissuras nas fases iniciais dos produtos de hidratação do cimento.

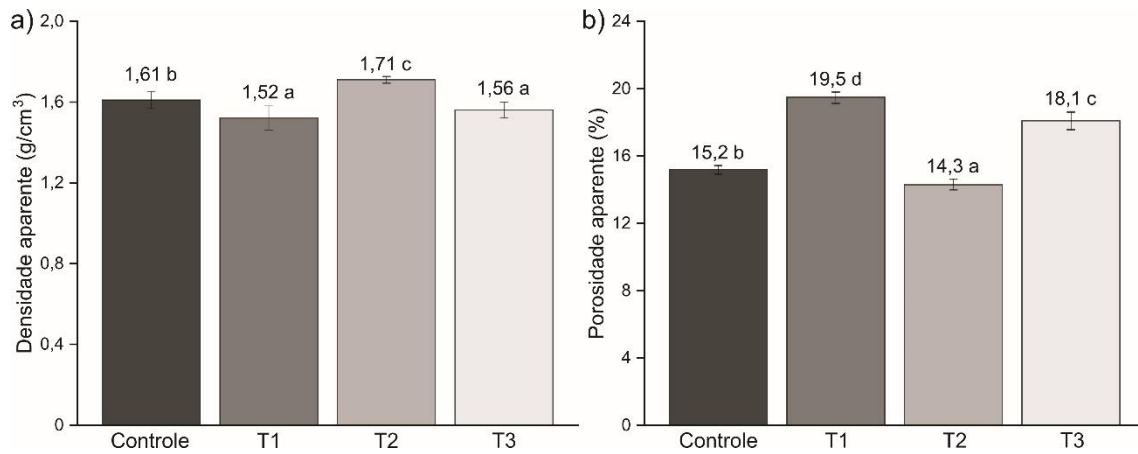


Figura 5. (a) Densidade aparente e (b) porosidade aparente dos blocos. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0.05$ ).

A mineralização pode ter levado à redução significativa dos espaços vazios apresentados pela redução da porosidade aparente (Figura 5b), que possivelmente pode contribuir na melhoria das propriedades mecânicas dos blocos. Além disso, esse comportamento também pode ser explicado pela menor relação água/cimento das amostras, reduzindo a volatilização da água livre, causando baixa porosidade dos blocos (Terra *et al.*, 2023).

Em relação absorção de água, estudos com sulfato de alumínio realizados por Balciunas *et al.* (2015) e Abed *et al.* (2021), a mineralização impede a liberação de açúcar dos agregados orgânicos, contribuindo na redução da higroscopicidade e absorção de água dos blocos. No presente estudo, os resultados mostram também o efeito positivo do tratamento com sulfato de alumínio das fibras, apesar de não apresentar diferença significativa com o tratamento controle (Figura 6).

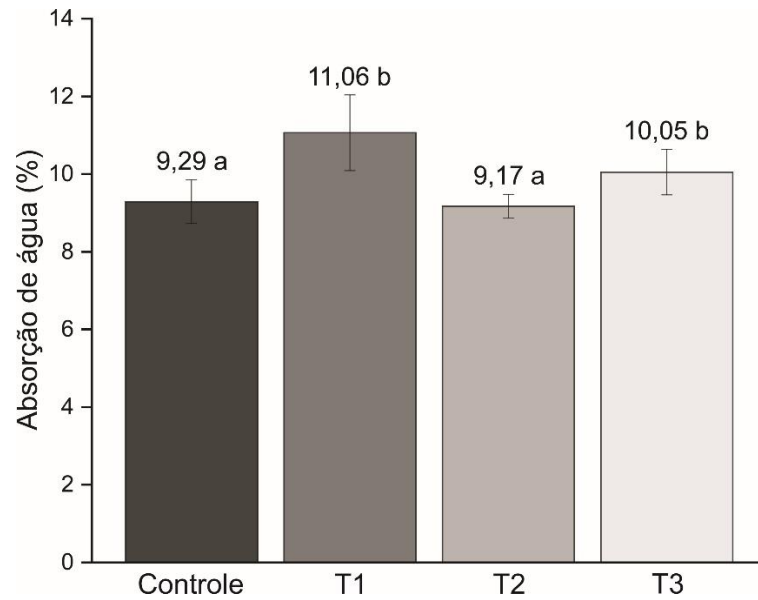


Figura 6. Absorção de água dos blocos. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0.05$ )

No geral, a absorção de água em blocos que possuem densidade aparente inferior a  $2,0 \text{ g/cm}^3$ , que é o caso de todos os tratamentos, deve ser no máximo de 13%, conforme a NBR 6136 (ABNT, 2016). Com isso, os blocos produzidos com agregados leves no presente estudo atenderam aos requisitos da normativa, mostrando que o quartzito não proporcionou danos significativos nos blocos, atendendo a norma de comercialização.

Na resistência à compressão dos blocos de concreto, os resultados mostraram maior resistência no tratamento sulfato de alumínio ( $4,39 \text{ MPa}$ ), que não diferiu significativamente com o controle (Figura 7).

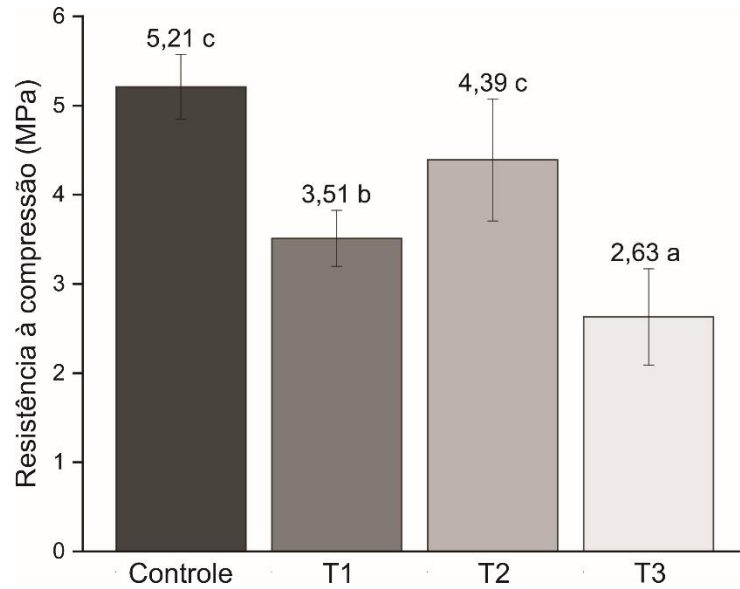


Figura 7. Resistência à compressão dos blocos. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0.05$ )

A redução da resistência dos blocos nos tratamentos água quente (T1) e baba de cupim sintética (T3), pode estar relacionada com a maior quantidade de fissuras e trincas contidas no interior dos blocos, que pode ter levado no aumento de espaços vazios, como mostrados nos resultados de porosidade (ver Figura 5). Ao observar as micrografias (Figura 8), pode-se constatar má distribuição dos materiais, principalmente no tratamento com baba de cupim sintética com bastante aglomeração de pedriscos ao redor das fibras de UKP, que pode ter causado a redução da sua resistência.

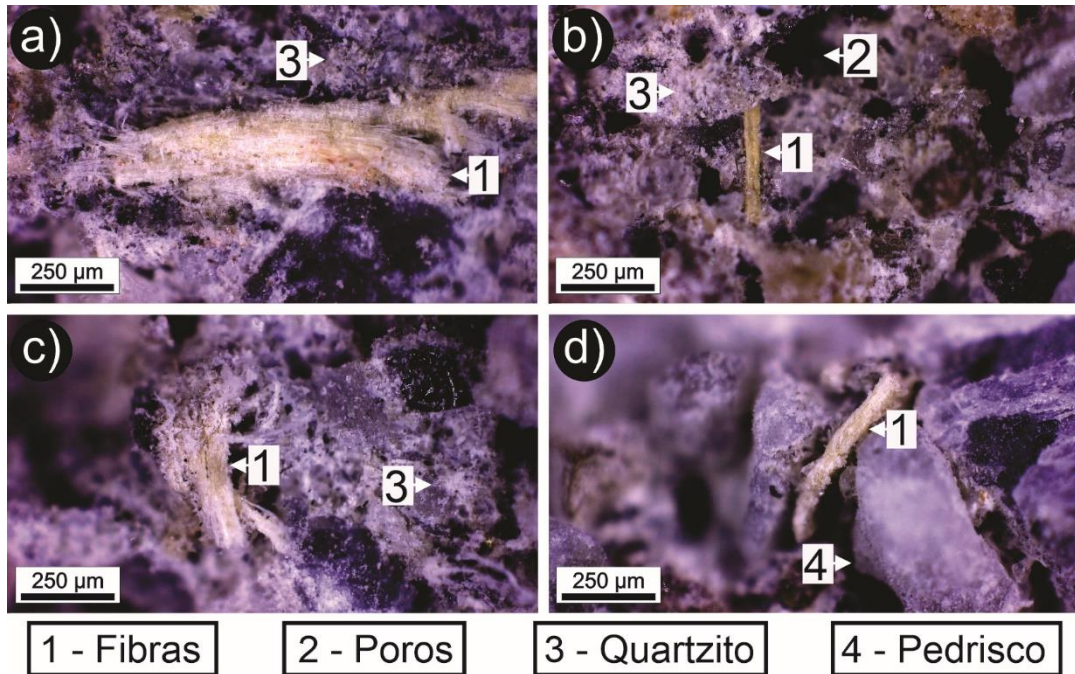


Figura 8. Micrografias da região da ruptura dos blocos. (a) Controle; (b) T1; (c) T2; (d) T3.

Apesar disso, no estudo de Terra *et al.*, (2023) foi analisado o efeito da incorporação de quartzito em diferentes proporções (0, 25, 50%, 75% e 100%) com adição de fibras de coco, e observaram resultados inferiores ao do presente estudo para resistência a compressão variando de 1,71 a 3,52 MPa. Conforme a NBR 6136 (ABNT, 2016) para blocos vazados de concreto aos 28 dias de cura, o tratamento controle e sulfato de alumínio podem ser classificados como blocos classe B (4,0 – 7,9 MPa), podendo ser utilizados com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo. O tratamento com água quente foi classificado como classe C (3,0 – 3,9 MPa) podendo ser utilizado com ou sem função estrutural e uso acima do nível do solo.

### 3.3 Permeabilidade dos blocos

Os resultados do ensaio de permeabilidade ao ar nos blocos são mostrados na figura 9. Observa-se que o  $k_1$  e  $k_2$  apresentaram comportamento similares de permeabilidade, a exceção do sulfato de alumínio (T2) que obteve baixos valores de não-Darciano ( $0,6 \times 10^{-10} \text{ m}^2$ ).

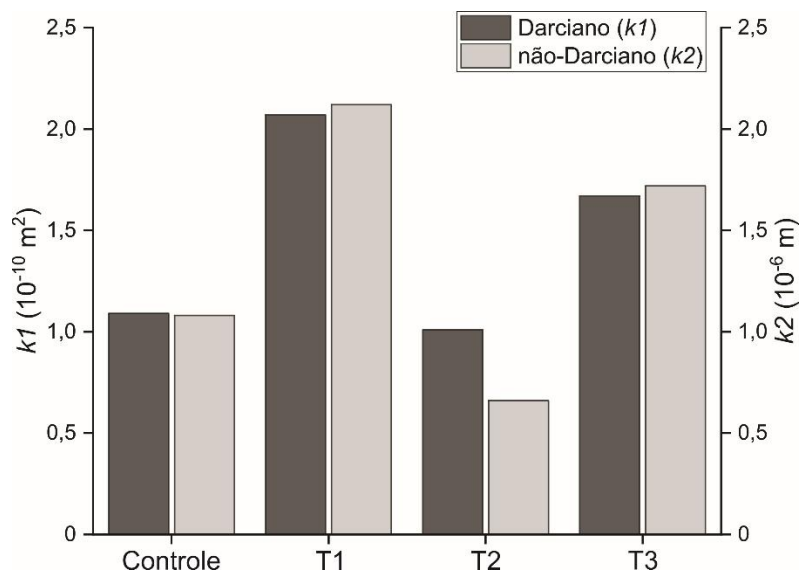


Figura 9. Permeabilidade dos blocos

O coeficiente de permeabilidade  $k2$  é responsável pela interação da cadeia dos poros e da queda pressão do fluido com a tortuosidade dos poros capilares da matriz, que pode ser explicado pelo perfil de poros permeáveis e capilares entre a morfologia das condições ensaiadas (Innocentini *et al.*, 2019). Em relação aos valores deste parâmetro de permeabilidade, é possível correlacionar com os resultados das propriedades físicas (densidade e porosidade) e consequentemente pela absorção de água dos blocos (ver figura 5 e 6), ou seja, quanto maior a porosidade, maior a permeabilidade.

Considerando que  $k1$  indica um material mais homogêneo e consequentemente de porosidade uniforme, e que  $k2$  indica que há variações de porosidade, o tratamento com sulfato de alumínio (T2), foi o melhor tratamento. Além de ter uma menor permeabilidade, o coeficiente  $k1$ , foi maior que  $k2$ , indicando, portanto, que o bloco é mais homogêneo que os demais.

#### 4 CONCLUSÃO

O pó de quartzito apresentou boa relação com o cimento, fato atribuído ao seu alto teor de dióxido de sílica (70,1%), podendo influenciar na durabilidade dos blocos cimentícios. A polpa celulósica apresentou potencial como reforço, principalmente quando tratada com sulfato de alumínio que proporcionou aos blocos maior densidade (1,71 g/cm<sup>3</sup>) e consequentemente redução da porosidade (14,3%), absorção de água (9,17%) e a permeabilidade ao ar, como também conferiu aos blocos melhor resultado de resistência à compressão (4,39%). Assim, a incorporação de polpa celulósica mostrou-se promissora como reforço em blocos cimentícios.

Com isso, essa pesquisa apresenta uma linha alternativa para produção de blocos de concreto que visa valorizar resíduos e incentivar a sustentabilidade no setor da construção civil, além de trazer alternativas viáveis para melhorar a permeabilidade das estruturas internas dos materiais compósitos, sendo este uma das grandes dificuldades relacionadas a esse tipo de material construtivo.

### **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e da Universidade Federal de Lavras.

### **REFERÊNCIAS**

Abed MJ, Khaleel OR, Fayyadh MM (2021) Effect of aluminium sulphate Al<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> treatment on paper waste as a fine aggregate partial replacement in lightweight cement mortar. *Materials Today: Proceedings* 42:1152-1159. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.529>

ABNT. Brazilian Association of Technical Standards (1991) NBR 5733: High early strength Portland cement – specification, Rio de Janeiro.

ABNT. Brazilian Association of Technical Standards (2009a) NBR 7211: Aggregates for concrete: Specification. 3 ed. Rio de Janeiro.

ABNT. Brazilian Association of Technical Standards (2009b) NBR 9778: Hardened Mortar and Concrete - Determination of Absorption, Void sand Specific Gravity, p. 4.

ABNT. Brazilian Association of Technical Standards (2013) NBR 12118: Hollow concrete blocks for concrete masonry - Test methods. 6 ed. Rio de Janeiro.

ABNT. Brazilian Association of Technical Standards (2016) NBR 6136: Plain concrete hollow blocks for masonry: requirements. 6p. Rio de Janeiro.

Almeida AEFS, Tonoli GHD, Santos SF, Savastano JRH (2013) Improved durability of vegetable fiber reinforced cement composite subject to accelerated carbonation at early age. *Cement and Concrete Composites* 42, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.05.001>

Alves ED, Pinheiro OS, Costa AOS, Costa Júnior EFC (2015) Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal. *Revista Liberato* 16(26): 101-220. <http://191.232.52.91/index.php/revista/article/view/368>

Andrade LMF, Scatolino MV, Faria DL, César AA, Mendes LM, Junior JBG (2018) Inclusão

do resíduo de polpação da celulose na produção de painéis aglomerados de média densidade  
Inclusion of cellulose pulping waste for production of medium density particleboards. *Scientia Forestalis* 46: 626-637. <http://doi.org/10.18671/scifor.v46n120.11>

Andrade NC, Freire Sabino TP, Carvalho Terra ICC, Mendes LM, Mendes RF (2019) Painéis MDP produzidos com resíduos de extração de celulose. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 14:3. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i3a6446>

Arantes LDS, Mascarenhas ARP, Borges IO, Lago RC, Silva CH, Mello Innocentini MD, Mendes LM, Tonoli GHD (2024) Use of carbonated cellulose micro/nanofibrils in the coating of sack kraft paper. *European Journal of Wood and Wood Products* 1-11. <https://doi.org/10.1007/s00107-024-02068-0>

ASTM. American Society for Testing and Materials, ASTM D2395-17 (2020) Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials.

Balčiūnas G, Pundienė I, Lekūnaitė-Lukošiūnė L, Vėjelis S, Korjakins A (2015) Impact of hemp shives aggregate mineralization on physical–mechanical properties and structure of composite with cementitious binding material. *Industrial Crops and Products* 77:724-734. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.011>

Barros SVA, Dantas GCB, Neves GA, Menezes RR. (2020) Imobilização de metais pesados presentes nos resíduos de quartzito por meio da incorporação em argamassas com substituição total do agregado natural. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 25:833-845. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180063>

Bhosale ANP, Zade NP, Sarkar P, Davis R. Mechanical and physical properties of cellular lightweight concrete block masonry. *Construction and Building Materials*. 248:118621. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118621

Cardoso MGS, Oliveira DNPS, Bufalino L, Souza TM. Tratamentos físicos e químicos de fibras residuais de *Cocos nucifera* L. visando aplicação em compósitos cimentícios. *Research, Society and Development*. 11(8). <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.31259>

César AAS. Tratamento do resíduo da depuração (UKP) da indústria de celulose para produção de chapas minerais. 2015. 103 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

Dey A, Kayal N, Chakrabarti O, Caldato RF, Innocentini MDDM, Guerra VG (2014) Investigations on Material and Mechanical Properties, Air-Permeation Behavior and Filtration Performance of Mullite-Bonded Porous SiC Ceramics. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 11(5):804-816. <https://doi.org/10.1111/ijac.12090>

Gandia RM, Corrêa AA, Gomes FC, Marin DB, Santana LS (2019) Physical, mechanical and thermal behavior of adobe stabilized with “synthetic termite saliva”. *Engenharia Agrícola*, 39: 139-149. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n2p139-149/2019>

Innocentini MD, Faria MAV, Crespi MR, Andrade VHB (2019) Air permeability assessment

of corrugated fiber-cement roofing sheets. *Cement and Concrete Composites*, 97, 259-267. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.01.004>

Iwakiri S, Trianoski R, Weber AM, Bonfatti Junior EA, Pereira GF, Bueno JA, Cechin L, Raia RZ (2017) Efeitos do tratamento de partículas e aceleradores de endurecimento na produção de painéis cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. *Floresta* 47(3): 289-296. <https://doi.org/10.5380/ufv.v47i1.51636>

LPF. Laboratório de Produtos Florestais (2023) Sistema Nacional de Informações Florestais. Serviço Florestal Brasileiro. Database of brazilian woods. Brasília. <https://snif.florestal.gov.br/>. 14 mai. 2023.

Narciso, C. R. P. Influência do resíduo de minério de ferro na produção de painéis cimento-madeira. 2018. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

Pantawee S, Sinsiri T, Jaturapitakkul C, Chindaprasirt P (2017) Utilization of hemp concrete using hemp shiv as coarse aggregate with aluminium sulfate [ $Al_2(SO_4)_3$ ] and hydrated lime [ $Ca(OH)_2$ ] treatment. *Construction and Building Materials* 156:435-442, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.181>

Roque RAL, Pierri AC (2019) Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. *Research, society and development* 8(2): e3482703. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i2.70>

Şahin HT Kaya Aİ, Yalçın ÖÜ, Kılınçarslan Ş, Şimşek Y, Mantanis GİA (2019) Study on the Production Process and Properties of Cement-Based Wood Composite Materials. *Makufebed*. 10(2): 2019-228. <https://doi.org/10.29048/makufebed.607377>

Santos DA; Gurgel MT, Mota AF, Paiva FIG (2014) Extração mineral de quartzito e sua aplicabilidade na construção civil na cidade de várzea – PB. *Holos* 4(4): 89-100. <https://doi.org/10.15628/holos.2014.1675>.

Smook GA (2016) Handbook For Pulp and Paper Technologists. Atlanta: TAPPI Press, 4. Ed. 438p.

Souza JPN (2024) Revisão do processo de obtenção da cellulose Kraft e suas tecnologias. *Ciências Agrárias*. 28(134). 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11352194>

Souza AB, Ferreira HS, Vilela AP, Viana QS, Mendes JF, Mendes RF (2021) Study on the feasibility of using agricultural waste in the production of concrete blocks. *Journal of Building Engineering* 42, 102491. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102491>

Syafri E, Sari NH, Mahardika M, Amanda P, Ilyas RA (2022) Isolation and characterization of cellulose nanofibers from *Agave gigantea* by chemical-mechanical treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 200: 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.12.111>

TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, (1997). T 204 om-97 solvent extractives of wood and pulp.

TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, (2002a). T 222 om-02 acid-insoluble lignin in wood pulp.

TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, (2002b). T 211 om-02 Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525 °C.

Teixeira JN, Silva DW, Vilela AP, Savastano Junior H, Siqueira BVLEV, Mendes, RF (2020) Lignocellulosic materials for fiber cement production. *Waste and Biomass Valorization* 11:2193-2200. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0536-y>

Terra ICDC, Batista FG, Silva DW, Scatolino MV, Alves Júnior FT, Martins MA, Mendes, LM (2023) Mining waste and coconut fibers as an eco-friendly reinforcement for the production of concrete blocks. *Environmental Science and Pollution Research* 30, 62641–62652. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26493-5>

Torres P, Fernandes HR, Olhero S, Ferreira JMF (2009) Incorporation of wastes from granite rock cutting and polishing industries to produce roof tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, 29, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.05.045>

Vazzoler JS, Vieira GL, Teles CR, Degen MK, Teixeira RA (2018) Investigation of the potential use of waste from ornamental stone processing after heat treatment for the production of cement-based paste. *Construction and Building Materials* 177: 314-321. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.098>

Villas-bôas, BT, Iwakiri S, Parchen CFA (2020) Produção e caracterização de blocos vazados de cimento-madeira de baixa densidade para construção civil. *Scientia Forestalis* 48(126): e3177. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.22>

Weber AM, Cechin L, Tokarski RB, Matoski A (2017) Análise da influência do traço nas propriedades do compósito cimento-madeira. *Revista Principia* 36:50-59. <http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n36p50-59>.

## ARTIGO 2 - BLOCOS DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DE RESÍDUOS DE QUARTZITO E ADIÇÃO DE PARTÍCULAS DE MADEIRA DE SERINGUEIRA

Giselle Larissa Rebouças Couto Silva, Felipe Gomes Batista, Dayane Targino de Medeiros, Danilo Wisky Silva, Mário Vanoli Scatolino, Antônio Claret de Matos, Júlia Naves Teixeira, Lourival Marin Mendes

**RESUMO:** A elevada quantidade de resíduos provenientes de mineração e atividades florestais, vêm se tornando um dos principais desafios da atualidade, devido aos seus impactos ambientais. Neste contexto, visando buscar alternativas sustentáveis de reaproveitamento e melhor destinação final, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da incorporação de pó de quartzito e partículas da madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*) nas propriedades físicas, mecânicas e permeabilidade ao ar de blocos de concreto. As partículas de *Hevea brasiliensis* foram submetidos à três tratamentos: imersão em água quente (T1), com sulfato de alumínio (T2) e baba de cupim sintética (T3). A formulação utilizada para produção dos blocos foi de 8,2% de cimento, 45,9% de pedrisco, 45,9% de areia, sendo substituída por pó de quartzito na proporção de 33% em relação a areia, com adição de 2,5% de partículas de madeira de *Hevea brasiliensis*. Após o processo de produção, os blocos foram secos em temperatura ambiente durante 28 dias de cura. Logo após, os blocos foram submetidos a análises das propriedades físicas, mecânicas e permeabilidade. Observou-se uma boa relação entre o pó de quartzito e o cimento, fato atribuído ao seu alto teor de sílica (70,1%), o que pode influenciar na durabilidade dos blocos cimentícios. Os tratamentos realizados nas partículas de *Hevea brasiliensis* não atribuíram bons resultados nas propriedades analisadas: densidade (variando de 1,45 g/cm<sup>3</sup> à 1,62 g/cm<sup>3</sup>), porosidade (variando de 18,5% a 22,8%) e resistência à compressão (variando de 1,63 MPa à 2,59 MPa). Apesar disso, todos os tratamentos atenderam os requisitos normativos da NBR 6136 (ABNT, 2016) para absorção de água (<13%) que variou entre 9,73% e 10,44%, sem diferença estatística. Assim, essa pesquisa trouxe traço alternativo para produção de blocos que visa valorizar resíduos de mineração e florestais, contribuindo na sustentabilidade do setor da construção civil.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de resíduos. Mineração. Material lignocelulósico. Construção civil.

## 1 INTRODUÇÃO

O quartzito é uma rocha ornamental amplamente explorada no país, produzindo uma quantidade significativa de resíduos durante sua extração, o que representa um passivo ambiental oneroso para a indústria (TERRA et al., 2023). Neste contexto, encontrar maneiras de reutilizar esses resíduos é crucial, tanto por razões econômicas quanto ambientais.

Devido à sua estrutura cristalina densa e organizada, o quartzito geralmente apresenta alta coesão. Quando combinado com cimento, isso contribui para uma resistência interna elevada entre as partículas (SANTOS *et al.*, 2014). Essas propriedades, junto com as preocupações relacionadas à sua exploração, fazem do quartzito um material promissor para a produção de blocos de matriz cimentícia. Essa abordagem não apenas aprimora as características dos blocos, mas também auxilia na mitigação dos impactos dos resíduos gerados (PEREIRA et al., 2020; TERRA et al., 2023).

A incorporação de material vegetal na matriz cimentícia tende a aprimorar diversas características do concreto, como rigidez, tenacidade, relação resistência-massa, propriedades térmicas e acústicas (ŞAHİN *et al.*, 2019; BHOSALE *et al.*, 2020; TERRA *et al.*, 2023). Além disso, apresenta vantagens como a ampla disponibilidade de espécies, baixa densidade, alta resistência à tração, custo reduzido e a capacidade de utilizar matérias-primas provenientes de fontes renováveis (ŞAHİN e SIMSEK, 2022).

Contudo, devido à tendência das fibras naturais de degradarem quando expostas ao ambiente alcalino do cimento (ŞAHİN e SIMSEK, 2022), é crucial realizar tratamentos nas fibras para melhorar a aderência fibra/matriz, aumentar a resistência à tração e promover a durabilidade tanto das fibras quanto do compósito cimentício (FONSECA, 2021).

A espécie *Hevea brasiliensis* é de grande importância por ser produtora de látex, matéria-prima fundamental na indústria automotiva para a produção de borracha natural. Após o ciclo de produção do látex, a árvore é cortada e sua madeira é aproveitada como fonte econômica de energia (EUFRADE JUNIOR et al., 2015). Tecnicamente, sua madeira está sendo avaliada para diversificar seu potencial de uso (RAIA et al., 2018; ŞAHİN et al., 2019), incluindo a aplicação como substituto das fibras sintéticas frequentemente utilizadas em associação ao concreto.

Para resolver a incompatibilidade entre material lignocelulósico e cimento, Castro (2021) propõe dois grupos de tratamentos: extração de componentes químicos e adição de aceleradores de pega do cimento. A extração em água quente, que remove os componentes prejudiciais ao processo de produção (ŞAHİN e SIMSEK, 2022), pode ser realizada através da imersão das partículas em água quente por seis horas, retirando substâncias químicas inibidoras

da cura (DE SÁ et al., 2012; IWAKIRI et al., 2017). A lavagem e fervura das fibras têm o objetivo de eliminar impurezas solúveis em água, como polissacarídeos, gorduras, resinas e fenóis presentes nas fibras, favorecendo uma melhor interação entre as fibras e a matriz.

A aplicação de sulfato de alumínio impede a liberação de açúcares dos agregados orgânicos, reduzindo a higroscopicidade e a absorção de água (BALČIŪNAS *et al.*, 2015), além de melhorar a compatibilidade entre o cimento e os agregados de origem vegetal (PANTAWEE *et al.*, 2017). Para atuar como estabilizante e impermeabilizante, a "baba de cupim", um produto natural derivado de óleos vegetais, pode ser utilizada (CORRÊA *et al.*, 2015). Em materiais lignocelulósicos, ela pode melhorar suas propriedades higroscópicas. Acredita-se que os tratamentos aplicados aos resíduos madeireiros, resultem em melhorias nas características físico-mecânicas aos blocos

O presente estudo objetivou avaliar blocos cimentícios produzidos com o uso de pó de quartzito e reforçados com partículas da madeira de seringueira.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Para a produção dos blocos de concreto, foram utilizados resíduos de mineração (Pedra "São Thomé") cedido da empresa Mosaico São Tomé Ltda, localizada na cidade de Luminárias, Minas Gerais, Brasil. O material é composto por maior proporção de silício (Si) com 70,1%, ferro (Fe) com 9,8%, cálcio (Ca) a 7,2%, magnésio (Mg) a 6,1 e cobre (Cu) com 3,1%. Além de pequenos elementos, como fósforo (P), manganês (Mn), enxofre (S), zinco (Zn) e boro (B).

A matriz cimentícia utilizada foi o cimento Portland CPV-ARI com alta resistência inicial (ABNT, 1991), além da areia e pedrisco, ambos, de origem brasileira. Como reforço, foi utilizado madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*) com densidade de  $0,568 \text{ g.cm}^{-3}$  proveniente de plantios experimentais da Universidade Federal de Lavras, Brasil. Após o abate de uma árvore, toretes de 58 cm de comprimento foram seccionadas e armazenadas em tanque de água durante 24 h a  $70^\circ\text{C}$  para laminação. Logo após, os toretes foram laminados, secos durante 24 horas a  $105^\circ\text{C}$  e moídos em moinho de martelo para geração de partículas. Para uniformização da granulometria, as partículas passaram por seleção em peneiras de 12 *mesh* e 40 *mesh*, superior e inferior, respectivamente. Este material é composto por 74,6% de holocelulose, além de 19,7% de lignina insolúvel, 4,3% de extrativos totais e 1,3% de minerais.

## 2.2 Tratamentos das partículas

As partículas de *H. brasiliensis* foram submetidos à tratamentos com imersão em água quente (T1), com sulfato de alumínio (T2) e baba de cupim sintética (T3). O tratamento com água quente nas partículas foi realizado em banho maria durante 3 h em aproximadamente 103°C. Para o tratamento com sulfato de alumínio, as partículas colocadas em uma betoneira giratória e despejados a solução a 9% diluído na proporção de 1,5 vezes de água deionizada em relação a massa seca das partículas de seringueira. O mesmo procedimento para o tratamento com baba de cupim sintética (BlindaSolo®), mas com a proporção de 1:750 diluído em 1L de água deionizada.

## 2.3 Produção dos blocos

Na produção dos blocos foram utilizados 8,2% de cimento CP V ARI, 45,9% de pedrisco e 45,9% de areia, sendo parte da areia substituída por pó de quartzito na proporção de 33% de areia, no total de 250 kg de material, além de 5,5% de água, conforme o estudo de Terra *et al.*, (2023). Para o reforço, foi adicionado 2,5% de partículas de *H. brasiliensis*. Cada tratamento foi misturado e homogeneizado com capacidade de 800 L e levados à máquina vibro prensa industrial vibratória para produção dos blocos conforme a NBR 6136 (ABNT, 2016). Para cada tratamento, foram produzidos 15 blocos, no total de 60 blocos. A cura dos blocos foi de 28 dias para realização das análises físicas, mecânicas, permeabilidade e microestrutural (Figura 1).

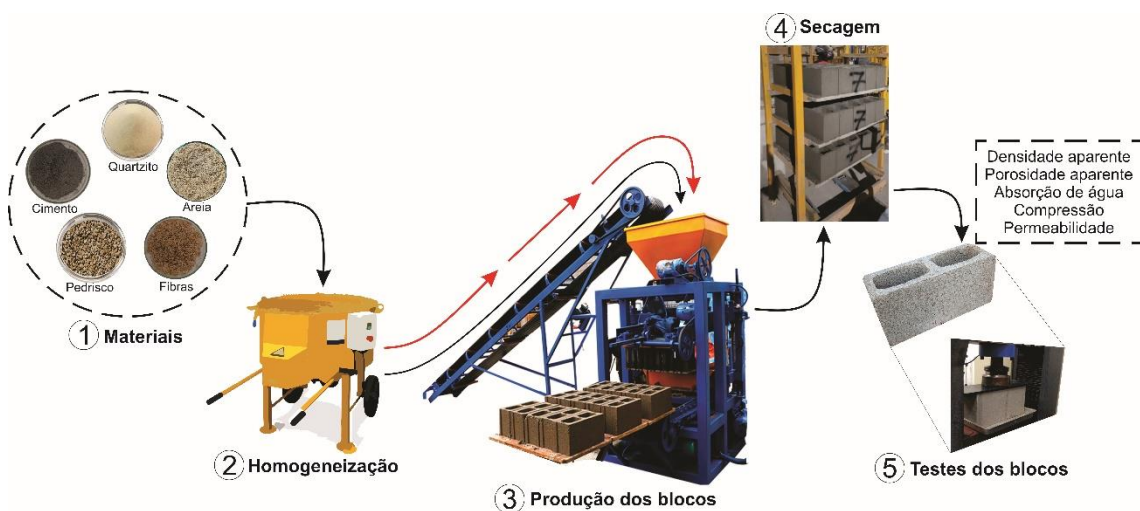


Figura 1. Fluxograma da produção dos blocos de concreto

## 2.4 Caracterização físicos e mecânicos dos blocos

Após os 28 dias de cura, os blocos de cada tratamento foram analisados quanto a densidade aparente, absorção de água e resistência a compressão, conforme a norma NBR 12118 (ABNT, 2013), e porosidade de acordo a NBR 9778 (ABNT, 2009). Para os ensaios, foram utilizadas 3 amostras por tratamento.

## 2.5 Ensaio de permeabilidade dos blocos

O ensaio de permeabilidade dos blocos foi realizado com permeâmetro de ar em laboratório. As amostras foram cortadas com diâmetro de 50 mm e previamente secas em estufa a 60°C por 30 min. Os coeficientes de permeabilidade das amostras foram determinados ajustando a equação de Forchheimer, relação empírica amplamente aceitável, conforme na literatura que expressa a dependência parabólica da queda de pressão através de meio plano com a velocidade superficial resultante do fluido (Dey *et al.*, 2014; Innocentini *et al.*, 2019; Arantes *et al.*, 2024). A equação de Forchheimer (Equação 1) é expressa da seguinte forma para o fluxo de fluidos compressíveis e assim obtidos os coeficientes de permeabilidade Darciano ( $k1$ ) e não-Darciano ( $k2$ ).

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu}{k1} vS + \frac{\rho}{k2} vS^2 \quad (1)$$

$\Delta P$  representa a queda de pressão;  $vS$  a velocidade superficial do fluido;  $L$  é a espessura da amostra ao longo da direção do fluxo e  $\mu$  e  $\rho$  são respectivamente a viscosidade e a densidade do fluido. O  $k1$  é expresso em dimensões de comprimento quadrado, enquanto  $k2$  é expresso em dimensões de comprimento para manter a consistência dimensional da equação.

## 2.6 Análise microestrutural dos blocos

Após os 28 dias de cura, para uma melhor visualização das amostras foram obtidas imagens das propriedades microestruturais da matriz cimentícia e da interface fibra/matriz em microscópio modelo Motic BA210E (Xiamen, China) acoplado a uma câmera Moticom X3 com zoom de 10x.

## 2.7 Análise dos dados

Os resultados foram submetidos à análise estatística por meio da ANOVA. Rejeitada a hipótese de nulidade, foi aplicada a comparação de médias por meio do teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Por fim, os dados obtidos para absorção de água e resistência à compressão foram comparados com a norma NBR 6136 (ABNT, 2016).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas propriedades físicas dos blocos, densidade e porosidade (Figura 2), os tratamentos realizados nas partículas não incrementaram melhorias aos blocos, obtendo-se como resultados no tratamento com água quente (T1) 1,57 g/cm<sup>3</sup>, sulfato de alumínio (T2) 1,45 g/cm<sup>3</sup> e baba de cupim (T3) 1,49 g/cm<sup>3</sup>. Esse efeito pode ser atribuído ao fato das partículas de *H. brasiliensis*, não terem alcançado a aderência almejada entre os materiais devido sua composição química e, ou pela dificuldade de homogeneização dos componentes, devido ao tamanho das partículas de seringueira.

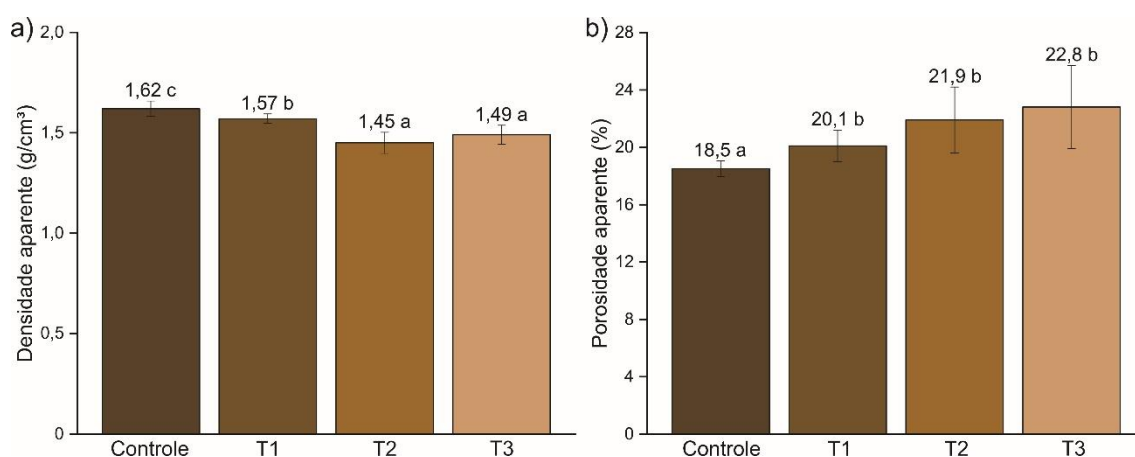


Figura 2. (a) Densidade aparente e (b) porosidade aparente dos blocos por tratamento. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0.05$ ).

Ao analisar a performance dos tratamentos, a água quente (T1) obteve o valor mais considerável para a densidade aparente, o que pode ser explicado pela remoção parcial dos extrativos durante o tratamento e a lavagem das partículas, enquanto na propriedade porosidade os tratamentos aplicados não diferiram estatisticamente. Torkaman *et al.*, (2014) produziram blocos com adição de diferentes materiais (madeira, cinza de casca de arroz e resíduos de pós de calcário) e alcançaram densidade variando de 1,4 a 1,9 g/cm<sup>3</sup>, corroborando com o presente estudo.

Na absorção de água os tratamentos foram semelhantes entre si, não havendo diferença estatística, possivelmente devido a presença do cimento nos blocos, que atua como um agente de barreira, reduzindo a interação da água e as fibras de *H. brasiliensis* (Figura 3). Segundo a normativa NBR 6136 (ABNT 2016), o valor de referência máxima para absorção de água em blocos é de 13%, especificamente quando apresentam agregados leves na composição e densidade inferior a 2.000 kg/m<sup>3</sup>. Com isso, os blocos atenderam aos requisitos de comercialização.

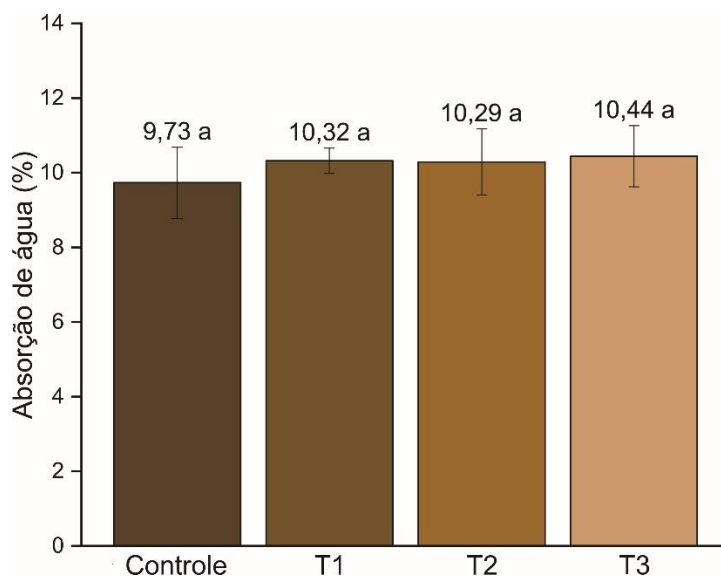


Figura 3. Absorção de água dos blocos em diferentes tratamentos. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0.05$ )

No estudo de Souza *et al.*, (2021), onde os blocos de concreto foram produzidos utilizando 2,5% de casca de café e bagaço de cana, a absorção de água, foi de 8,18% e 7,52%, respectivamente. Tais resultados são próximos ao presente estudo, demonstrando consistência com os valores relatados na literatura. Torkaman *et al.*, (2014) relatam que uma elevada absorção de água se deve não apenas à menor resistência de ligação material vegetal-cimento causada pela inibição da cura do cimento, mas também à alta natureza hidrofílica dos materiais lignocelulósicos.

No ensaio mecânico de resistência à compressão dos blocos, houve equivalência entre a maioria dos tratamentos, divergindo apenas o tratamento com as partículas tratadas por sulfato de alumínio, que resultou em valor significativamente reduzido (Figura 4). Contudo, Terra *et al.*, (2023) relata que a adição de fibras vegetais na confecção de blocos agrega maior capacidade de absorção e dissipação de cargas, auxiliando na resistência de materiais da construção civil, independente do tratamento aplicado as fibras.

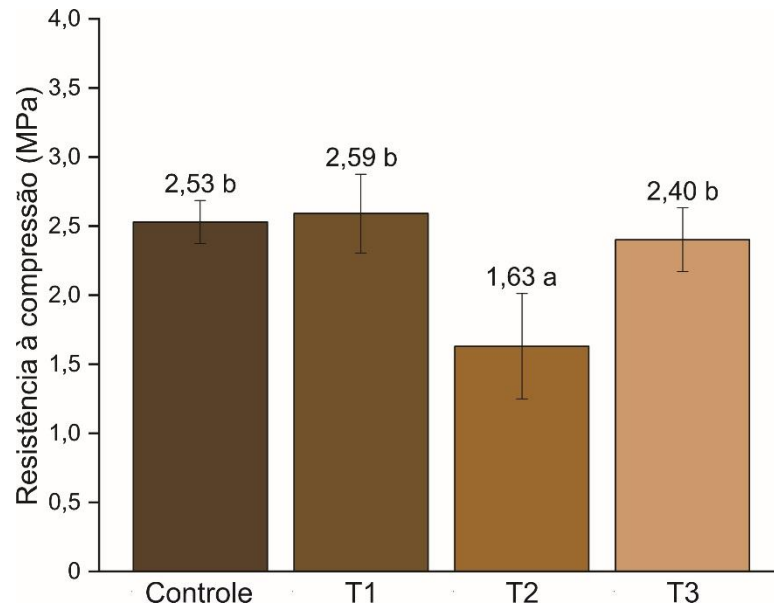


Figura 4. Resistência à compressão dos blocos. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0.05$ )

Conforme a classificação da normatização NBR 6136 (ABNT, 2016) para compressão de blocos de concreto, os tratamentos controle, água quente e baba de cupim sintética, não entram na classificação de blocos de concreto estrutural, ficando dentro da categoria blocos de vedação. Quanto ao tratamento com sulfato de alumínio (T2), não apresentou resistência para aplicações práticas. Dessa maneira, a avaliação de novos tratamentos e fibras para produção de blocos são recomendados, a fim de incrementar melhorias em suas propriedades.

Ao analisar as microestruturas dos blocos (Figura 5), pôde-se observar má distribuição dos materiais (quartzito, pedrisco e areia) ao redor das partículas de *H. brasiliensis*, o que pode ter contribuído na baixa resistência mecânica, devido a elevada quantidade de espaços vazios internos nos blocos.

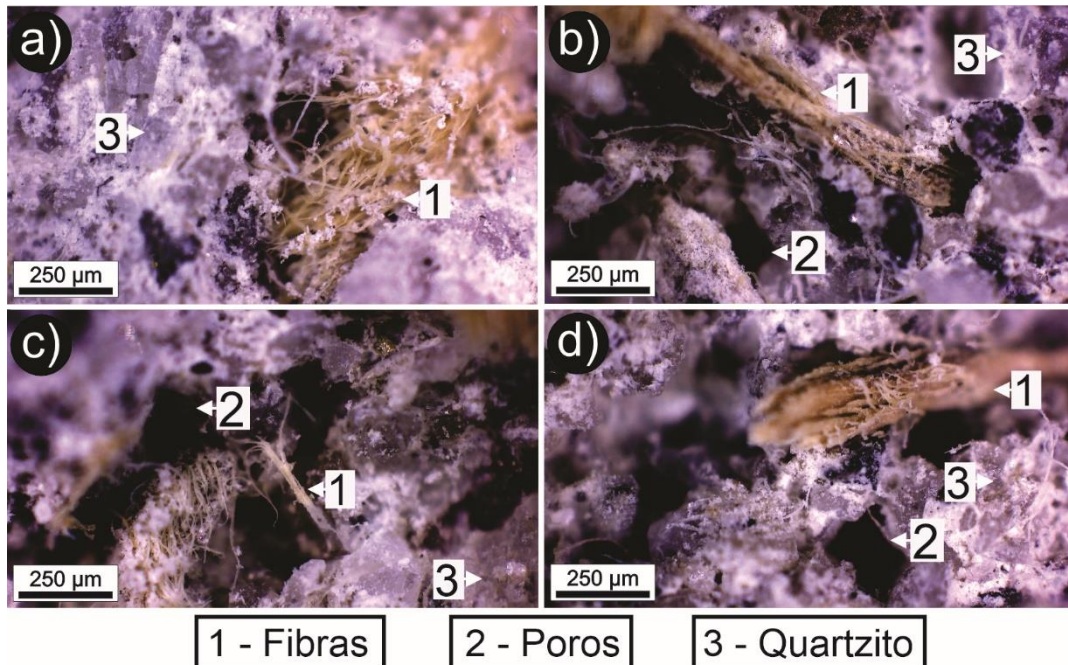


Figura 5. Micrografias da região da ruptura dos blocos. (a) Controle; (b) T1; (c) T2; (d) T3.

Na permeabilidade dos blocos foi observado o mesmo comportamento da resistência à compressão, em que o tratamento com sulfato de alumínio (T2) apresentou os resultados menos desejáveis, tanto para valores em Darciano, como para não-Darciano (Figura 6). A menor permeabilidade dos blocos foi detectada no tratamento controle, podendo ser associado a densidade aparente, que obteve o valor mais significativo, preenchendo então os poros do material e aumentando a reticulação entre as partículas. Segundo Arantes *et al.*, (2024), a permeabilidade é influenciada pela porosidade e, conseqüentemente pela densidade, sendo que quanto mais denso, menor a porosidade e os valores de  $k_1$  e  $k_2$ . Dessa maneira, os blocos, do tratamento controle, possuem propriedade de barreira superiores a ação de permeação do ar atmosférico.

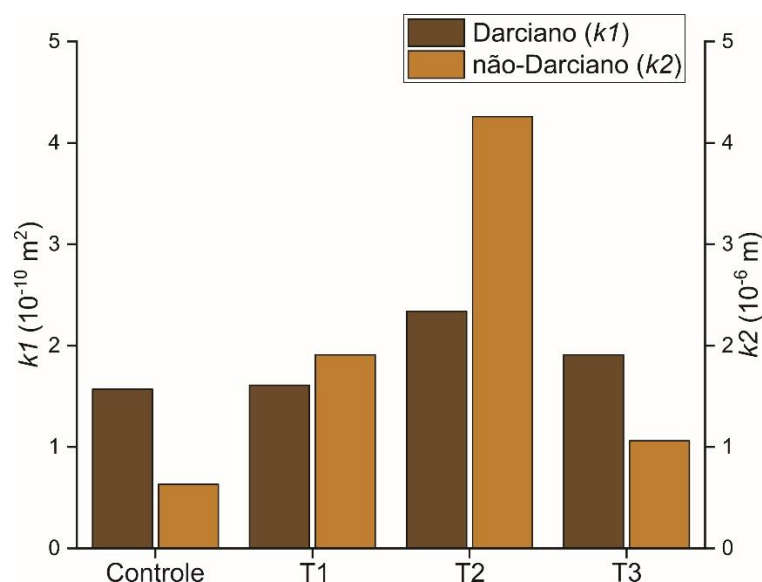


Figura 6. Permeabilidade dos blocos por tratamento.

Analisando a permeabilidade na condição Darciano, o tratamento controle e com adição de baba de cupim (T3) obtiveram valores mais elevados que a condição não-Darciano, enquanto o inverso foi observado para os tratamentos com água quente e sulfato de alumínio. Por mais que a porosidade dos tratamentos água quente, sulfato de alumínio e baba de cupim sintética sejam estatisticamente iguais, na permeação de gases, o comportamento entre os blocos, foram distintos, possivelmente devido a composição química de cada tratamento. Estudos sobre permeabilidade de blocos de concreto ainda é escasso, o que não viabilizou realizar comparações neste trabalho.

#### 4 CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos neste estudo, o pó de quartzito se comportou de forma coerente ao esperado, ou seja, pode ser substituído da areia na proporção de 33% da quantidade total de areia. Por sua vez, os tratamentos na madeira de seringueira, não atribuíram boas características às propriedades físicas, mecânicas e de permeabilidade em relação ao tratamento controle. Contudo, para absorção de água, todos os tratamentos atenderam os requisitos normativos da NBR 6136 (ABNT, 2016), que é de até 13%, sendo que os valores obtidos variaram de 9,73% a 10,44%. Diante disso, essa pesquisa trouxe traço alternativo para produção de compósitos que visa valorizar resíduos florestais e de mineração, contribuindo na sustentabilidade do setor da construção civil.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e da Universidade Federal de Lavras.

## Referências

ABNT. Brazilian Association of Technical Standards (1991) NBR 5733: High early strength Portland cement – specification, Rio de Janeiro.

ABNT. Brazilian Association of Technical Standards (2009) NBR 9778: Hardened Mortar and Concrete - Determination of Absorption, Void sand Specific Gravity, p. 4.

ABNT. Brazilian Association of Technical Standards (2013) NBR 12118: Hollow concrete blocks for concrete masonry - Test methods. 6 ed. Rio de Janeiro.

ABNT. Brazilian Association of Technical Standards (2016) NBR 6136: Plain concrete hollow blocks for masonry: requirements. 6p. Rio de Janeiro.

Balčiūnas G, Pundienė I, Lekūnaitė-Lukošiūnė L, Vėjelis S, Korjakins A (2015) Impact of hemp shives aggregate mineralization on physical–mechanical properties and structure of composite with cementitious binding material. *Industrial Crops and Products* 77:724–734. doi:10.1016/j.indcrop.2015.09.011

Bhosale ANP, Zade P (2020) Sarkar, and R. Davis. Mechanical and physical properties of cellular lightweight concrete block masonry. *Construction and Building Materials* 248:118621. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118621

Castro VG (2021) Pré-tratamentos. In: *Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro* [online]. Mossoró: EdUFERSA pp. 63-77. ISBN: 978-65-87108-26-1. <https://doi.org/10.7476/9786587108612.0005>

Corrêa AAR, Mendes LM, Barbosa NP, Protásio TP, Campos NA, Tonoli GHD (2015). Incorporation of bamboo particles and “synthetic termite saliva” in adobes. *Construction and Building Materials* 98, 250–256. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.06.009

Sá VA, Bufalino L, Albino VCS, Corrêa AA, Mendes LM, Almeida NA (2012) Mistura de três espécies de reflorestamento na produção de painéis cimento madeira. *Revista Árvore* 36(3): 549-557. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000300017>

Arantes LDS, Mascarenhas ARP, Borges IO, Lago RC, Silva CH, Mello Innocentini MD, Mendes LM, Tonoli GHD (2024) Use of carbonated cellulose micro/nanofibrils in the coating of sack kraft paper. *European Journal of Wood and Wood Products* 1-11. <https://doi.org/10.1007/s00107-024-02068-0>

Dey A, Kayal N, Chakrabarti O, Caldato RF, Innocentini MDDM, Guerra VG (2014) Investigations on Material and Mechanical Properties, Air-Permeation Behavior and Filtration Performance of Mullite-Bonded Porous SiC Ceramics. *International Journal of Applied Ceramic Technology* 11(5): 804-816.

Eufrade Junior HJ, Ohto JM, Silva LL, Palma HAL, Ballarin AW (2015) Potential of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) for structural use after the period of latex extraction: a case study in Brazil. *J Wood Sci* 61: 384–390. <https://doi.org/10.1007/s10086-015-1478-7>

Fonseca RP (2021) Influência de diferentes tipos de fibras vegetais amazônicas no desempenho de uma argamassa a base de cimento Portland e Metacaulim. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Trindade. Florianópolis.

Innocentini MD, Faria MAV, Crespi MR, Andrade VHB (2019) Air permeability assessment of corrugated fiber-cement roofing sheets. *Cement and Concrete Composites*, 97, 259-267. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.01.004>

Iwakiri S, Trianoski R, Weber AM, Bonfatti Junior EA, Pereira GF, Bueno JÁ, Cechin L, Raia RZ (2017) Efeitos do tratamento de partículas e aceleradores de endurecimento na produção de painéis cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. *Floresta* 47(3): 289-296. <https://doi.org/10.5380/ufv.v47i1.51636>

Pantawee S, Sinsiri T, Jaturapitakkul C, Chindapasirt P (2017). Utilization of hemp concrete using hemp shiv as coarse aggregate with aluminium sulfate [ $Al_2(SO_4)_3$ ] and hydrated lime [ $Ca(OH)_2$ ] treatment. *Construction and Building Materials* 156: 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08>

Pereira TGT, Silva DW, Eugênio TMC, Scatolino MV, Terra ICC, Fonseca CS, Bufalino L, Mendes RF, Mendes LM (2020). Coconut fibers and quartzite wastes for fiber-cement production by extrusion. *Mater Today: Proceedings* 31:309-314. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.394>

Raia RZ, Iwakiri S, Trianoski R, Andrade AS, Junior EAB (2018) Influência da extração de látex nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Hevea brasiliensis*. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, 9(3). <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v9n3p152-159>

Şahin HT, Kaya Aİ, Yalçın ÖÜ, Kılınçarslan Ş, Şimşek Y, Mantanis Gİ (2019) A study on the production process and properties of cement-based wood composite materials. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2): 219-228. <https://doi.org/10.29048/makufebd.607377>

Şahin HT, Simsek Y (2022) Mineral-Bonded Wood Composites: An Alternative Building Materials. *Engineered Wood Products for Construction*. IntechOpen 2022. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98988>

Santos DA, Gurgel MT, Mota AF, Paiva FIG (2014) Extração mineral de quartzito e sua aplicabilidade na construção civil na cidade de várzea – PB. *Holos* 4(4): 89-100. <https://doi.org/10.15628/holos.2014.1675>.

Silva RV, Cascudo O, Bacarji E (2022) Compósitos cimentícios com fibras de polipropileno: avaliações no estado fresco e endurecido. *Matéria* 27(2): e13190. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220002.1390>

Souza AB, Ferreira HS, Vilela AP, Viana QS, Mendes JF, Mendes RF (2021) Study on the feasibility of using agricultural waste in the production of concrete blocks. *Journal of Building Engineering*, 42, 102491. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102491>

Terra ICDC, Batista FG, Silva DW, Scatolino MV, Alves Júnior FT, Martins MA, Mendes, LM (2023) Mining waste and coconut fibers as an eco-friendly reinforcement for the production of concrete blocks. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 62641–62652. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26493-5>

Torkaman J, Ashori A, Momtazi AS (2014) Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. *Construction and building materials*, 50, 432-436. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.044>