



**Análise das características físicas e propriedades mecânicas de argamassas com substituição fracionária do agregado miúdo por resíduos de madeira e com adição de papel**

**Analysis of the physical characteristics and mechanical properties of mortars with fractional substitution of fine aggregate by wood residues and with the addition of paper**

**Análisis de las características físicas y propiedades mecánicas de morteros con sustitución fraccionada de árido fino por residuos de madera y con adición de papel**

DOI: 10.55905/rdelosv17.n55-007

Originals received: 03/28/2024

Acceptance for publication: 04/29/2024

**Tainá Ceron Arcaro**

Graduada em Engenharia Civil

Instituição: Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Endereço: Criciúma, Santa Catarina, Brasil

E-mail: tainaceron\_10@unesc.net

**Jorge Henrique Piva**

Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais

Instituição: Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Endereço: Criciúma, Santa Catarina, Brasil

E-mail: jhpiva@gmail.com

**Aline Eyng Savi**

Doutora em Arquitetura e Urbanismo

Instituição: Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Endereço: Criciúma, Santa Catarina, Brasil

E-mail: arquiteta.alinesavi@gmail.com

**Rafael de Paula Gurkewicz**

Especialista em Engenharia Diagnóstica

Instituição: Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Endereço: Criciúma, Santa Catarina, Brasil

E-mail: rafaelpgurkewicz@gmail.com



**Bruna Juvêncio Frasson**

Doutora em Engenharia Civil

Instituição: Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Endereço: Criciúma, Santa Catarina, Brasil

E-mail: bjfrasson@gmail.com

**Augusto Wanderlind**

Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais

Instituição: Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Endereço: Criciúma, Santa Catarina, Brasil

E-mail: acw@unesc.net

**Elaine Guglielmi Pavei Antunes**

Doutora em Arquitetura e Urbanismo

Instituição: Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Endereço: Criciúma, Santa Catarina, Brasil

E-mail: elainegpa@unesc.net

**RESUMO**

Este trabalho consiste em substituir o agregado miúdo por resíduo de madeira, juntamente com adição de papel em traço de argamassa e analisar suas características físicas e propriedades mecânicas. Nas misturas foram utilizados o traço 1:5 (cimento: areia) e adotado um percentual de substituição de 5 e 10% em volume para o resíduo de madeira e para a adição de papel foi fixada a porcentagem de 75% em relação a massa do resíduo de madeira substituído. O resíduo de madeira utilizado passou por um tratamento químico com NaOH a fim de estabilizar e neutralizar algumas características da madeira. Foram verificadas a influência da inserção dos resíduos nas argamassas através dos ensaios de determinação da retenção de água, densidade de massa, absorção de água por capilaridade, massa específica, resistência à tração na flexão, compressão axial, módulo de elasticidade e resistência à aderência à tração. Houve uma diminuição na retenção de água conforme a substituição do agregado pelo resíduo de madeira e um aumento com a adição de papel, verificou-se também diminuição na densidade de massa. Nos ensaios mecânicos não houve diferença significativa entre as amostras, apenas o traço com 5% de substituição de madeira apresentou resultado superior aos demais na resistência a compressão. A mistura com melhor resistência à aderência no bloco cerâmico foi o traço com 10% de substituição de madeira.

**Palavras-chave:** substituição, serragem, agregado miúdo, papel.

**ABSTRACT**

This work consists of replacing the fine aggregate with wood residue, added with the addition of paper in mortar trace and analyzing its physical characteristics and mechanical properties. In the mixtures, the mix 1: 5 (cement: sand) was used and a substitution percentage of 5 and 10% by volume was adopted for the wood residue and for the addition of paper, the percentage of 75% in relation to the mass of the product was fixed. wood residue replaced. The used wood residue has undergone a chemical treatment with NaOH to stabilize and neutralize some characteristics of the wood. The influence of the insertion of residues in mortars was verified through the tests of determination of water retention, mass density, water absorption by capillarity, specific mass,



tensile strength in flexion, axial compression, elasticity module and resistance to adhesion to traction grip traction. There was a decrease in water reduction as the aggregate was replaced by wood residue and an increase with the addition of paper, there was also a decrease in mass density. In the mechanical tests there was no difference between the retained ones, only the trace with 5% of wood substitution presented a result superior to the others in the compressive strength. The mixture with the best adhesion resistance in the ceramic block was the line with 10% wood substitution.

**Keywords:** replacement, sawdust, fine aggregate, paper.

### **RESUMEN**

Este trabajo consiste en sustituir el árido fino por residuos de madera junto con la adición de papel en una mezcla de mortero y analizar sus características físicas y propiedades mecánicas. En las mezclas se utilizó una mezcla 1:5 (cemento: arena) y se adoptó un porcentaje de sustitución del 5 y 10% en volumen para el residuo de madera y para la adición de papel se fijó un porcentaje del 75% en relación a la masa de residuo de madera sustituido. Los residuos de madera utilizados se trataron químicamente con NaOH para estabilizar y neutralizar algunas de las características de la madera. La influencia de la inserción de los residuos en el mortero se comprobó mediante ensayos para determinar la retención de agua, la densidad aparente, la absorción de agua por capilaridad, la masa específica, la resistencia a la tracción por flexión, la compresión axial, el módulo de elasticidad y la resistencia a la adherencia por tracción. Se observó una disminución de la retención de agua al sustituir el árido por residuos de madera y un aumento con la adición de papel, así como una disminución de la densidad aparente. En los ensayos mecánicos, no hubo diferencias significativas entre las muestras; sólo la mezcla con un 5% de sustitución por madera mostró una resistencia a la compresión superior a las demás. La mezcla con mejor resistencia a la adherencia al bloque cerámico fue la mezcla con un 10% de sustitución de madera.

**Palabras clave:** sustitución, serrín, árido fino, papel.

## **1 INTRODUÇÃO**

A construção civil é responsável por um alto consumo de matérias primas e recursos naturais, além de ser grande geradora de resíduos (Martinho, 2017). Segundo Corrêa (2009) o acúmulo de resíduos gerados pela construção, transforma-se em um grave problema nas grandes cidades brasileiras. Nesse contexto, deve-se então, tendo em vista os benefícios apresentados para o meio ambiente e para a sociedade sempre que possível, reutilizar resíduos.

Quando se elenca os materiais mais utilizados na construção civil, citam-se os componentes utilizados na fabricação de argamassas e concretos e, dentre estes, destaca-se a areia. Nos últimos anos, houve um aumento na extração desta matéria-prima que, por sua vez, é um recurso não renovável, ou seja, não é formada a uma proporção que possa sustentar a sua



quantidade consumida (Coelho, 2019). Com o propósito de auxiliar nesta demanda, tem-se realizado estudos para incorporação de resíduos em argamassas de revestimentos, a fim da substituição da areia, sendo que, menciona-se o uso de madeira e papel.

Segundo Corinaldesi, Mazzoli e Siddique (2016) e Silva *et al.* (2021), a serragem é gerada a partir do corte, moagem e das operações de perfuração da madeira. Quando uma parte da madeira é cortada, a partir de qualquer tora de madeira ou durante a preparação dos produtos, forma-se então um pó, que consiste nas partículas geradas durante o processo de lixamento ou outra operação de usinagem, que na maioria das vezes é recolhido em sacos ou coletores de poeira. No Brasil, conforme dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) em 2018 a produção de madeira serrada brasileira registrou 9,1 milhões de m<sup>3</sup>, sendo que, com isso, o Brasil ocupa o 8º lugar entre os principais países produtores de madeira serrada do mundo.

A madeira apresenta propriedades atrativas frente a outros materiais, tais como: alta resistência, baixa condutividade térmica e a característica de fácil maneabilidade (Zenid, 2011 e Silva *et al.*, 2021). Entretanto, a madeira interage continuamente com a água, que é o motivo mais comum de danos e falhas resultantes dos componentes do edifício (Ottens; Brischke; Meyer, 2017). Por esse motivo o tratamento da madeira, frente a presença de umidade, é necessário para que possa reduzir a sua absorção de água e preservar suas qualidades isolantes (Bederina *et al.* 2009).

Além das peças usuais de madeira, o papel e a celulose também são originados das árvores, mais especificamente da madeira (Dias e Simonelli, 2013). A primeira etapa no processo de transformação da madeira em papel dá-se pela cominuição dela em cavacos (pequenos pedaços de madeira). Após, esses cavacos são processados pelos digestores e é realizado um tratamento químico nos mesmos para que a polpa da celulose seja separada. Em seguida são realizados tratamentos de branqueamento, secagem e a transformação dessa polpa em uma folha contínua e lisa, para posterior distribuição ao mercado consumidor (Brasil, 2020). O papel produzido é utilizado em diversos setores da economia e aquele designado para impressão é denominado de “Offset” sulfite (Souza, 2018). Esse tipo de papel possui maior quantidade de cola, sua superfície é livre de felpas e penugem. (Margraf, 2020). O Brasil ocupa o 8º lugar no ranking mundial dos produtores do papel, produzindo cerca de 10,4 milhões de toneladas, do qual 66% de todo o papel produzido volta para a reciclagem. (Ibá, 2018).



A utilização de resíduos de papel em argamassa pode proporcionar uma solução para reduzir a geração de resíduos de madeira e papel e assim o efeito sobre o meio ambiente, promovendo deste modo uma prática ambiental sustentável e verde (Aigbomian, 2014 e Adili; Lachheb; Brayek; Guizani; Nasrallah, 2016). O papel adicionado na mistura de argamassas pode aprimorar as características leves e isolantes, melhorar a transferência de tensão de uma partícula para outra dentro do compósito, atuando como um elo (Aigbomian; Fan, 2014).

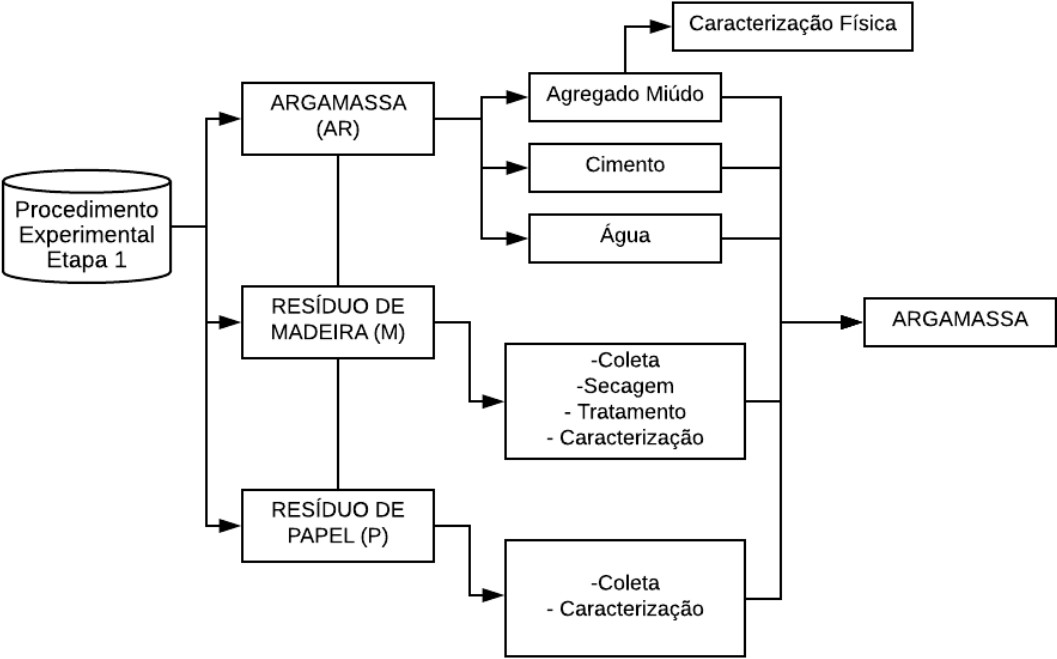
Os resíduos de madeira e papel quando adicionados à argamassa podem conferir, portanto, resistência a compressão atrativos com menores densidades (Aigbomian; Fan, 2014).

A presente pesquisa tem como objetivo analisar as características físicas e propriedades mecânicas de argamassa produzida com substituição parcial do agregado miúdo por resíduos de madeira e adição de papel.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

O procedimento experimental da pesquisa foi dividido em duas grandes etapas, sendo que a primeira se refere à definição do traço da argamassa e dos seus componentes, além da obtenção, caracterização e tratamentos dos resíduos. A Figura 1 apresenta o fluxograma da primeira etapa da pesquisa.

Figura 1 - Fluxograma da primeira etapa da pesquisa



Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

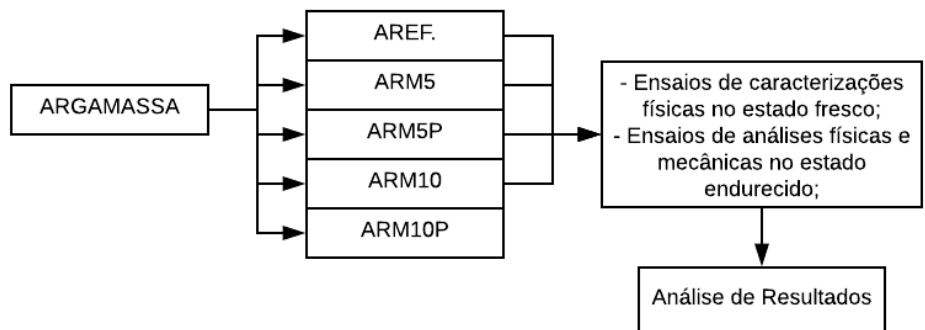
Para a segunda etapa da pesquisa, definiu-se o percentual de substituição do agregado miúdo pelo resíduo de madeira e o percentual de adição do papel, além da execução dos experimentos e análise dos resultados, conforme apresenta a Figura 2.

Para a substituição do resíduo da madeira utilizou-se a pesquisa de Silva *et al.* (2021) como referência e para a adição de papel a pesquisa de Aigbomian e Fan (2013 e 2014). Definiu-se para a substituição dos resíduos de madeira os percentuais de 5 e 10%, em relação ao volume do agregado miúdo, e para a adição do papel estabeleceu-se 75% da massa da serragem para todos os traços.

As amostras foram codificadas de acordo com seus percentuais de substituição, como por exemplo, ARM5 (argamassa com substituição do agregado miúdo pelo resíduo de madeira em 5,0%), e ARM5P (argamassa com substituição do agregado miúdo pelo resíduo de madeira em 5,0% e 75% de adição do resíduo de papel). A AREF refere-se a argamassa referência – sem adição de madeira ou papel. Após, realizaram-se ensaios de caracterização física da argamassa no estado fresco e no estado endurecido, além das propriedades mecânicas.



Figura 2- Fluxograma da segunda etapa da pesquisa



Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

Os resíduos de madeira utilizados na pesquisa foram coletados em uma madeireira localizada no extremo sul catarinense, após o processo de serragem de madeiras da espécie *Pinus Elliottii* e *Eucalyptus Grandis*. Após coletados, os resíduos foram submetidos a uma secagem em estufa com temperatura de 100°C por um período de 24 h para eliminação da umidade superficial. Posteriormente, os resíduos de madeira foram imersos em uma solução aquosa de 15% de hidróxido de sódio (NaOH), diluídos em 4 L de água para cada 1 kg de resíduo. Sequencialmente, os resíduos de madeira imersos na solução foram colocados em banho maria, a uma temperatura de 100°C durante um período de 90 min (Silva et al, 2021). Após, o resíduo foi lavado com água abundante e seco novamente em estufa. Esse tratamento, remove um percentual de lignina, ceras e óleos que estão presentes da superfície dos resíduos de madeira, resultando assim, no aumento da rugosidade e, por conseguinte, proporcionando uma melhor ligação entre os materiais, minimizando a porosidade e minorando a intervenção na hidratação da matriz cimentícia (Vilpert, 2018). A Figura 3 demonstra a madeira com e sem tratamento, respectivamente.

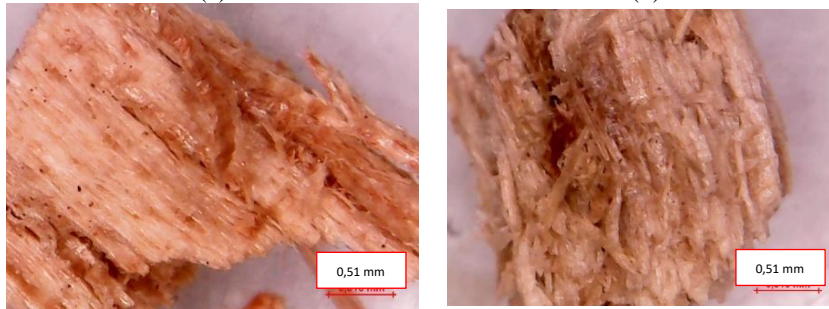
Figura 3- (a) Resíduo de madeira antes do tratamento (b) Resíduo de madeira após tratamento



Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

A Figura 4 apresenta imagens realizadas pelo microscópio digital portátil (Festnight) do resíduo de madeira antes e após o tratamento.

Figura 4- (a) Resíduo de madeira antes do tratamento (b) Resíduo de madeira após tratamento



Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

Os resíduos de papel utilizados na pesquisa foram coletados em um escritório de engenharia da região sul catarinense, após serviços de plotagens. O papel empregado é do tipo sulfite plotter (914x45m) contendo 75grs. Os papéis foram cortados em tiras com 65 cm de comprimento e 1 cm de largura, a fim de facilitar o processo de mistura na argamassa, conforme realizado por Aigbomian e Fan (2013 e 2014).

Os resíduos de madeira foram caracterizados através dos ensaios de composição granulométrica de acordo com a NBR NM 248:2003 no qual se obteve um módulo de finura de 2,37 e dimensão máxima característica de 2,4 mm. O ensaio de massa unitária no estado solto seguiu a NBR NM 45:2006 e obteve-se o resultado de 0,13 kg/dm<sup>3</sup>. Os mesmos ensaios de caracterização física foram realizados para o agregado miúdo - areia, em que se verificou um módulo de finura de 2,15, diâmetro máximo de 2,40 mm e massa unitária de 1,66 kg/dm<sup>3</sup>.

Gomes e Neves (2002) ressaltam que o uso mais frequente de traços para argamassa na construção civil são (1:5), (1:6) e (1:7), (cimento: areia), logo, para o caso em estudo foi estabelecido como traço referência o 1:5 em massa. A partir do traço unitário em massa, foi encontrado o traço unitário massa combinado com volume, através da massa unitária dos componentes. Para definição da relação água/cimento empregou-se como parâmetro o índice de consistência segundo a UNI EN 1015-3:2007, portanto fixou-se a relação água/cimento de 0,85, a partir do traço ARM10P, para todos os traços. A Tabela 1 apresenta os traços unitários para as misturas da argamassa com suas respectivas substituições realizadas a partir do volume do agregado miúdo.



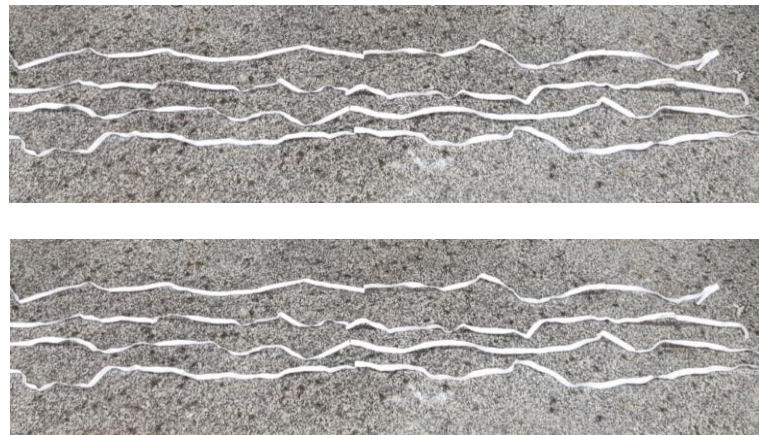
Tabela 1 - Traços unitários em massa e em volume

Amostra	Cimento (kg)	Areia (kg) – (dm <sup>3</sup> )	Resíduo de madeira (kg) – (dm <sup>3</sup> )	Papel (kg)
AREF	1	5 – 3,01	0 – 0	-
ARM5	1	4,75 – 2,86	0,020 – 0,1505	-
ARM5P	1	4,75 – 2,86	0,020 – 0,1505	0,015
ARM10	1	4,50 – 2,71	0,039 – 0,3010	-
ARM10P	1	4,50 – 2,71	0,039 – 0,3010	0,029

Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

A mistura da argamassa seguiu as diretrizes da NBR 16541:2016. Para a homogeneização dos componentes da argamassa, foi necessário seguir a seguinte ordem de adição dos componentes na argamassadeira: papel, cimento, areia e resíduo de madeira. Sem essa ordem o papel em tiras se enrolava na pá da argamassadeira e, por conseguinte, a argamassadeira não conseguia triturar o papel enquanto realizada a mistura. A Figura 5 (a) apresenta o recipiente com os componentes para realização da argamassa e a Figura 5 (b) os papéis cortados em tiras.

Figura 5 - (a) Resíduos no recipiente para a mistura, (b) Papéis cortados em tiras



Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

O ensaio de densidade de massa seguiu as diretrizes da NBR 13278:2005, já o ensaio de retenção de água foi executado conforme NBR 13277:2005 e o ensaio de determinação do índice de consistência foi realizado conforme a NBR 13276:2016.

Para os ensaios de resistência a tração na flexão e compressão e absorção de água por capilaridade foram moldados três corpos de prova prismáticos de 4 x 4 x 16 cm para cada ensaio, como preconiza a NBR 13279:2005 e NBR 15259:2005 e utilizou-se a prensa 200CS e a prensa Emic 200 I, respectivamente. A determinação do módulo de elasticidade seguiu a NBR 8522:2021. O ensaio de massa específica da argamassa foi realizado conforme a NBR 9778:2005,

com três corpos de prova cilíndricos de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro para cada mistura de traço definido. Para todos os corpos de provas moldados foi obedecido um tempo de cura de 28 dias.

O ensaio de resistência de aderência à tração seguiu a NBR 13528:2019, para o ensaio foram utilizados blocos cerâmicos como substrato, por estar dentre os mais usáveis na construção civil segundo Kazmierczak (2010). A espessura da camada de revestimento foi definida em 10mm que, segundo NBR 13749:2013 é indicada para revestimentos em paredes internas. Foram realizados 5 pontos para cada traço, sendo dois pontos em dois blocos e um ponto em um bloco cerâmico, conforme Figura 6 (a) O equipamento utilizado para o arrancamento foi o dinamômetro, conforme Figura 6 (b).

Figura 6 - (a) Substratos com pastilhas coladas, (b) Arrancamento com dinamômetro



Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

Com base nos resultados de ensaio de resistência de aderência à tração analisou-se as tensões de ruptura e os tipos de ruptura.

Todos os resultados de ensaios de argamassa no estado endurecido passaram por análise estatística, com 95% de confiabilidade, através da ANOVA e, para os resultados em que se verificaram diferenças entre as amostras foi executado o Teste Tukey.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A NBR 13276:2016 estabelece para a determinação do índice de consistência um espalhamento de  $260 \pm 5$  mm, já a norma europeia UNI EN 1015-3:2007 prescreve um espalhamento de  $175 \pm 10$  mm. A Tabela 2 apresenta os resultados do respectivo ensaio.

Tabela 2 - Determinação do índice de consistência

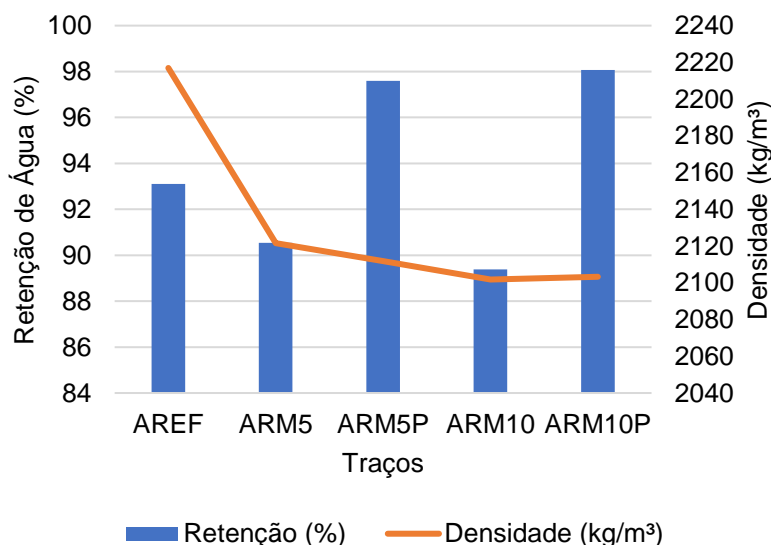
Amostra	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
AREF	332	330	335	332,33	2,52
ARM5	266	267	258	263,67	4,93
ARM5P	223	220	219	220,67	2,08
ARM10	231	223	228	227,33	4,04
ARM10P	178	176	175	176,33	1,53

Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

Os traços em que possuem resíduos de madeira em sua composição, tiveram perda de fluidez, isso se acentua nos traços onde tem-se a adição de papel. Esse resultado já era esperado pelo fato da madeira e o papel absorverem maior quantidade de água nos instantes iniciais da mistura.

O desempenho das argamassas em relação a retenção de água e densidade no seu estado fresco estão apresentados no gráfico da Figura 7.

Figura 7 - Representação gráfica de retenção de água e densidade de massa



Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)



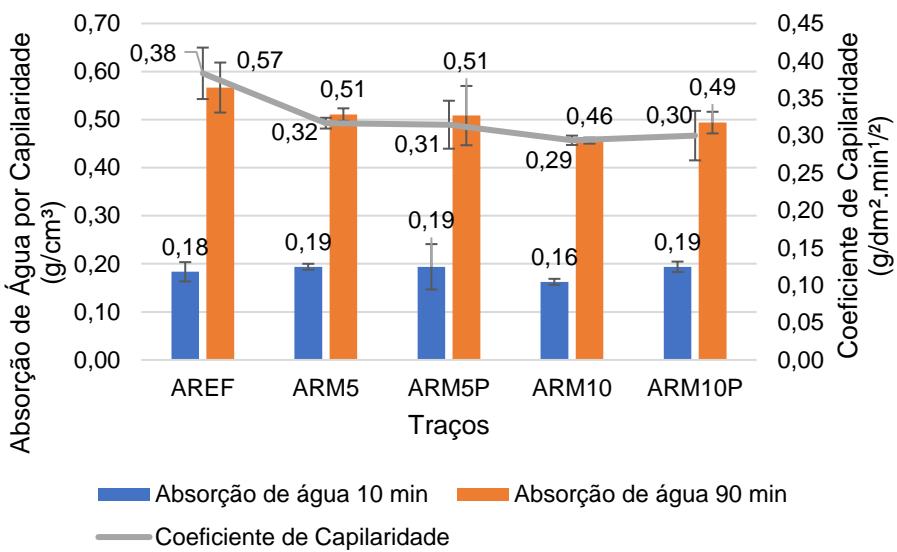
A retenção de água possibilita que as reações de endurecimento da argamassa se tornem progressivas, proporcionando a hidratação do cimento adequada e consecutivo ganho de resistência (Maciel, Barros e Sabbatini, 1998). Na determinação da retenção de água foi possível verificar que ao aumentar o percentual de substituição da areia por resíduo de madeira, diminuiu-se a retenção de água da argamassa. Tal fato pode ser justificado a maior porosidade da madeira em relação a areia, possibilitando assim maior facilidade para a fuga da água. Conforme observado pelos resultados do ensaio de consistência o resíduo de madeira absorveu água da mistura devido a sua maior porosidade e, pelos resultados de retenção, indica-se que essa água presente nos poros do resíduo foram succionadas com maior facilidade da argamassa. Esse fato ocorreu também na pesquisa de Brás et al. (2013) em que a cortiça absorvia água da argamassa nos instantes iniciais e a eliminava posteriormente. Já, para as misturas com substituição da areia e adição de papel, houve um aumento de 5,33% da ARM10P em relação a AREF para os valores de retenção de água. Pode-se inferir que uma possível justificativa se deve a absorção de água da mistura pelo papel, como pode-se relacionar com os resultados de consistência. A água da mistura foi absorvida pelo papel, no entanto foi empregada para a sua dissolução, portanto, não ficou livre em poros (como ocorreu com o resíduo de madeira) e, conseqüentemente, o aumento da retenção de água. Outro ponto a ser elencado é que o papel dissolvido em água pode ter preenchido poros da mistura de argamassa e poros do resíduo de madeira, criando assim, barreiras para a fuga da água e, por conseguinte, aumentando a retenção de água.

No ensaio de densidade de massa verificou-se uma diminuição nos valores, logo, a argamassa vai se tornando mais leve a proporção que se aumenta a porcentagem de substituição da areia por resíduos de madeira, especialmente. Esse resultado já era esperado, pelo fato de que fez-se a substituição de um material mais denso, sendo uma areia média quartzosa, com massa específica de aproximadamente  $2,49 \text{ g/cm}^3$ , por um material mais leve, com aproximadamente  $1,36 \text{ g/cm}^3$ . Ainda, em relação a densidade de massa, pode-se aferir também que a adição de papel não apresentou grande interferência quando comparado a influência do resíduo de madeira, tendo em vista os valores bem próximos as misturas que possuem a substituição da areia pelo resíduo de madeira.

A Figura 8 apresenta os valores obtidos para o ensaio de absorção de água por capilaridade e os coeficientes de capilaridade.



Figura 8 - Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade



Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

Realizou-se ANOVA de fator único com o intuito de analisar estatisticamente se houve diferença significativa entre os resultados obtidos nos respectivos ensaios. Pode-se afirmar com 95% de confiabilidade que não houve diferença significativa entre os traços de argamassa na absorção de água no tempo de 10 min. Verificou-se diferença na absorção de água somente no tempo de 90 min entre a ARM10 e AREF. Os resultados de coeficiente de capilaridade seguiram os de absorção de água. Segundo Rato (2006) e Silva *et al.* (2021) o coeficiente de absorção de água depende de fatores como a conectividade da rede porosa e a dimensão dos poros, e, que, quanto maior a porometria, menor serão as forças capilares de sucção. Segundo Martinho (2017) os poros dos resíduos de madeira são considerados macros poros. Essas dimensões dos poros, fazem com que se tenha uma redução na absorção capilar das argamassas, pelo fato de originar redes capilares de maiores dimensões e, assim, diminuindo o fluxo de água no interior da argamassa por minimizarem as forças de sucção (Bouguerra, 2002). Esperava-se também, que as misturas com adição de papel teriam uma absorção mais elevada, no entanto, este fato não ocorreu. A provável justificativa para tal resultado, segundo Aigbomian e Fan (2014) que obteve resultados similares em sua pesquisa, deve-se ao revestimento da matriz cimentícia que as fibras de papel ocasionam.

Os resultados de massa específica e o índice de vazios das argamassas no estado endurecido são apresentados na Tabela 03. Ao comparar-se os valores médios obtidos, foi possível observar que quanto maior a porcentagem de substituição da areia por resíduo de



madeira e, até mesmo com a adição de papel, menores os resultados de massa específica, mas, conseqüentemente, maiores os valores de índices de vazios das amostras.

Tabela 3 - Determinação de massa específica e índice de vazios

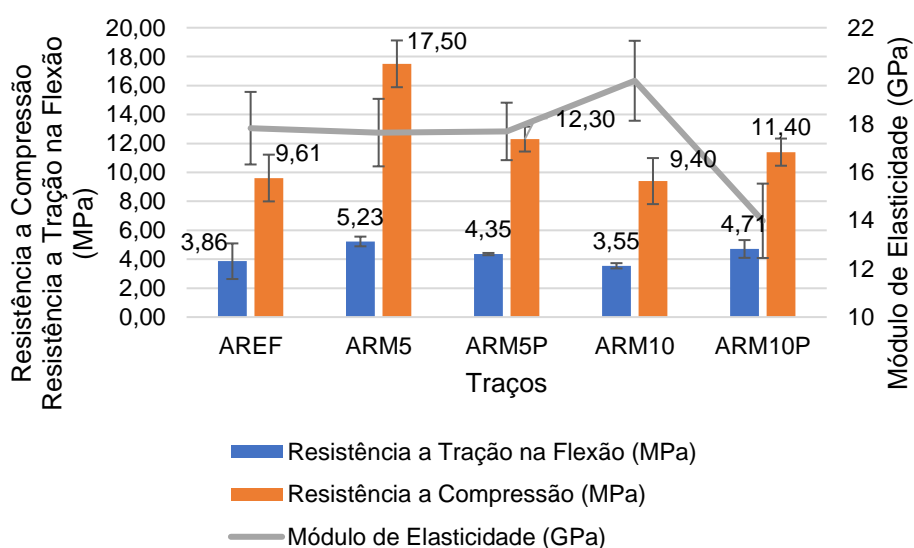
Amostra	Massa Específica Real (g/cm <sup>3</sup> )		Índice de Vazios	
	Média (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (g/cm <sup>3</sup> )	Média (%)	Desvio Padrão (%)
AREF	2,58	0,01	25,01	0,45
ARM5	2,54	0,00	23,15	0,88
ARM5P	2,55	0,00	24,97	0,22
ARM10	2,53	0,00	25,14	0,36
ARM10P	2,52	0,01	26,96	0,34

Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

Realizou-se a ANOVA de fator único e para os valores de massa específica e foi possível verificar diferença entre a AREF com os demais traços. E, para os resultados de índices de vazios verificou-se diferença da ARM10P em relação as demais misturas, havendo um aumento no índice de vazios de 7,80% em relação a AREF. A resposta para estes resultados está na distribuição dos resíduos na mistura e, por conseqüência, da porosidade ocasionada e, percebe-se que a maior adição de papel aumentou o índice de vazios.

Os resultados dos ensaios de tração na flexão, compressão e módulo de elasticidade estão expressos na Figura 9.

Figura 9- Resultado dos ensaios de tração na flexão, compressão e módulo de elasticidade



Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)



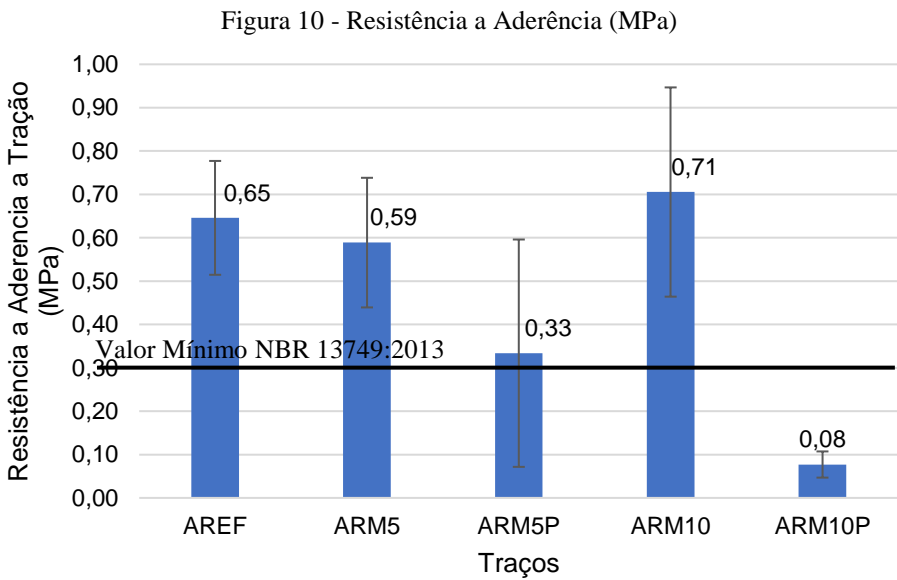
Para os resultados de resistência à tração na flexão não se verificou diferenças significativas entre os traços. Para análise estatística da resistência a compressão, foi possível verificar uma diferença significativa entre as misturas, sendo que a argamassa ARM5 difere-se das demais, pois apresenta resistência a compressão com aumento de 82,10% em relação a AREF. Segundo Silva (2018) uma possível resposta pode estar ligada ao tratamento químico realizado no resíduo de madeira, o tratamento não prejudicou as reações de hidratação do cimento, o que contribui no mantimento das resistências, o tratamento pode ter favorecido na aderência do resíduo à pasta cimentícia. O resíduo de madeira também pode ter auxiliado na distribuição de tensões, podendo ser outro fator na conservação das resistências (Silva 2018; Aigbomian; Fan, 2014). O valor mínimo de compressão da mistura ARM10, também foi encontrado nas pesquisas de Silva et al (2021) e Corinaldesi, Mazzoli e Siddique (2016). Pode-se inferir que na ARM10 o maior índice de vazios foi o fator preponderante, isto é, que se sobressaiu em relação à distribuição de tensões e, por isso a resistência diminuiu. Já, com a presença do papel, a ARM10P a adição de papel em 75% melhorou a resistência a compressão da argamassa, atuando como um elo na rede dos compósitos, conforme Aigbomian e Fan (2013 e 2014). Mas para a ARM5P a resistência diminuiu, o que não era esperado e, para tal, uma provável justificativa esteja relacionada a homogeneidade do papel na mistura da argamassa, ocasionando pontos de fraqueza.

Os resultados de módulo de elasticidade demonstram variância, segundo análise do Teste Tukey, da ARM10 em relação a ARM10P. De acordo com Schwantes (2012) nem sempre as argamassas com maior resistência a compressão são os que apresentam maior módulo de elasticidade e isso pôde ser verificado nos resultados obtidos, onde a ARM5 atingiu a maior resistência a compressão, mas a ARM10 obteve maior módulo de elasticidade. Tal fato, pode estar relacionado a distribuição dos poros no interior da argamassa, conectividade e porosimetria, além da distribuição dos resíduos de madeira na argamassa. Agregados leves são bem porosos, essa porosidade define a sua rigidez, que por sua vez, controla a capacidade do agregado de delimitar a deformação da matriz (Santos *et al.* 2013)

Foram realizados ensaios de aderência em blocos cerâmicos, onde pôde-se observar, conforme apresentado na Figura 10, que houve redução na resistência de aderência das argamassas que havia adição de papel. Uma possível resposta para esse resultado é que a decomposição do papel na água pode formar uma solução oleosa devido a composição do papel,



tendo em vista que o papel é derivado da madeira e, por tal, possui ceras, ligninas e óleos em sua constituição. Essa solução aquosa mais oleosa pode ter, por conseguinte, ocasionado menor aderência na interface argamassa e bloco.

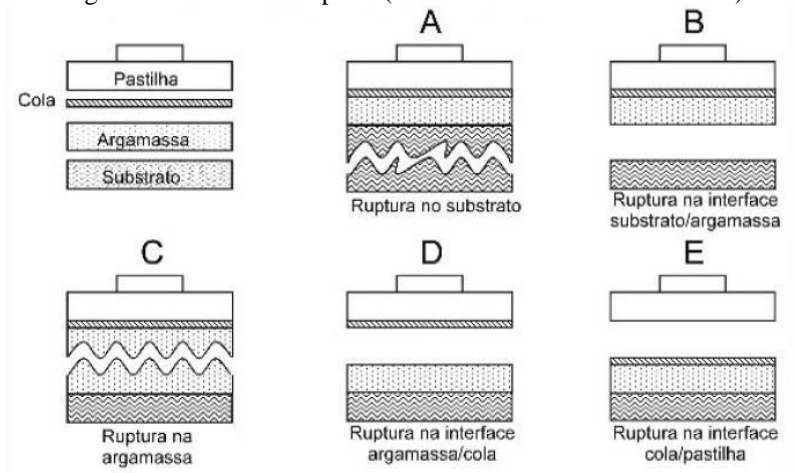


Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

Além da resistência de aderência à tração outro importante dado obtido neste ensaio é o tipo de ruptura, pois a forma de ruptura fornece informações do elo mais fraco do revestimento (ZANELATO *et al.*, 2018). Para a análise da forma da ruptura dos corpos de prova a NBR 13528:2019 repassa os tipos de ruptura que podem ocorrer e estas devem ser sinalizados e expressas em percentual, tendo em vista que um mesmo corpo de prova pode apresentar mais de um tipo de ruptura. A Figura 11 apresenta os tipos de ruptura que podem ocorrer para sistema sem chapisco.



Figura 11- Formas de ruptura (Fonte: ABNT NBR 13528:2019)



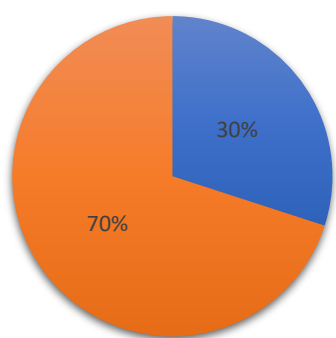
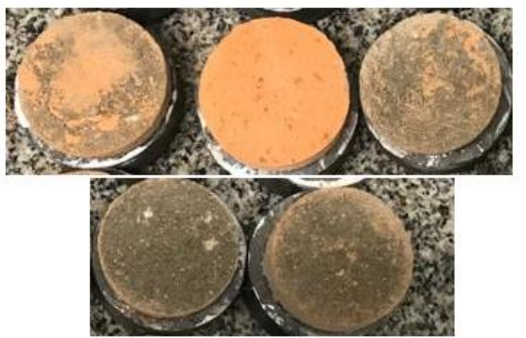
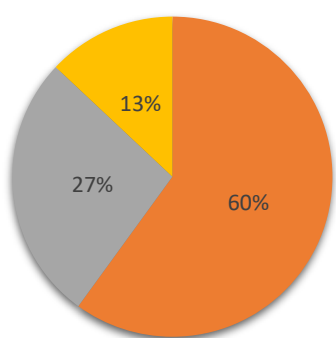

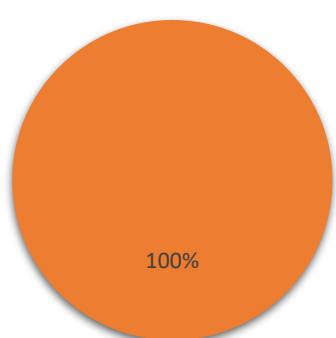
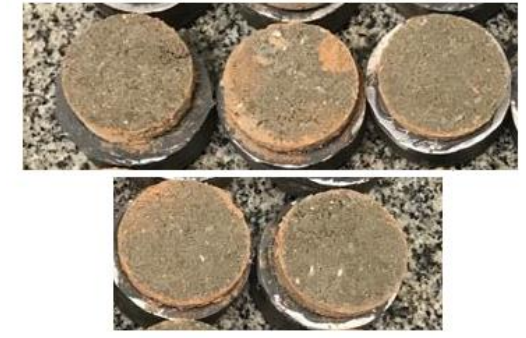
Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

O Quadro 01 demonstra os tipos de ruptura das argamassas no substrato.

Quadro 01 - Tipos de Rupturas encontradas nos ensaios.

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Ruptura no Substrato</li> <li><span style="color: orange;">■</span> Ruptura no Substrato/Argamassa</li> <li><span style="color: gray;">■</span> Ruptura na Argamassa</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> Ruptura na Argamassa/Cola</li> </ul>		
Traço	Forma de Ruptura	Ensaio
AREF		
ARM5		



ARM5P		
ARM10		
ARM10P		

Fonte: Elaborada pelos Autores (2023)

O maior percentual de rupturas em todas as misturas ocorreu na interface substrato/argamassa, que são rupturas do tipo adesiva. Rupturas adesivas ocorrem na ruptura do substrato/argamassa e argamassa/cola e rupturas coesivas ocorrem no interior do material do revestimento (Malagoni e Scartezini, 2013). Avaliando o tipo de ruptura e os valores de resistência de aderência média, apenas a ARM10P não ficou acima do limite mínimo repassado pela NBR 13749:2013, onde a mistura apresenta um valor médio de 0,08MPa, sendo o mínimo 0,30MPa. Para Carasek (2010), quando a ruptura é do tipo coesiva, os resultados não são tão preocupantes, a não ser que sejam muito baixos, mas, quando a ruptura é do tipo adesiva, os



valores precisam ser mais elevados, caso contrário, é possível uma maior ocorrência de manifestações patológicas, o que, de fato ocorreu na mistura ARM10P.

#### **4 CONCLUSÕES**

Diante dos resultados obtidos pode-se constatar que, em relação ao índice de consistência ocorreu uma diminuição à medida que se elevou a substituição de resíduos de madeira e acentuados para as misturas com adição de papel. Os resíduos de madeira e de papel são agregados mais leves quando comparados com a areia, mas, esses resíduos absorvem maior quantidade de água do período inicial da mistura. Foi possível verificar uma maior dificuldade de realizar as misturas nos traços em que foram adicionados os resíduos de papel em tiras, requerendo, portanto, padronização no processo de mistura para obter-se uma melhor homogeneização. Para a retenção de água, ocorreu também uma diminuição nos traços com substituição de areia, no entanto, em contrapartida, houve um aumento da retenção conforme foram adicionados papel. Para a densidade de massa, houve uma diminuição nas misturas a medida que se aumentava a porcentagem de substituição da areia pelo resíduo de madeira.

Através dos resultados dos ensaios mecânicos observa-se que não ocorreu diferença significativa entre os valores de resistência a tração na flexão, entretanto, verificou-se diminuição da ARM10 na resistência à compressão e aumento da ARM5. Os resultados de módulo de elasticidade tiveram variância entre os traços, possuindo aumento da ARM10 e diminuição da ARM10P. As argamassas não apresentaram relação direta entre resistência a compressão e módulo de elasticidade. Os ensaios de absorção de água e densidade tiveram diferenças a medida em que se elevava a porcentagem de substituição da área pelo resíduo de madeira.

As misturas em que foram adicionadas papel foram as que tiveram menores resultados em relação a aderência à tração em bloco cerâmico, a que possuiu melhor resultado entre as demais foi a ARM10.

Recomenda-se para trabalhos futuros avaliar a influência do hidróxido de sódio utilizado para tratamento do resíduo de madeira sobre as reações álcali-agregado; avaliar a influência de outros tipos de tratamento para o resíduo de madeira; estudar novos percentuais de substituição da areia por resíduo de madeira; estudar novos percentuais de adição do papel em argamassas;



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522:** Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação - Parte 1: Módulos estáticos à compressão. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528:** Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

AIGBOMIAN, E. P.; FAN, M. **Development of wood-crete from treated sawdust. Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 52, p. 353-360, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.025>.



AIGBOMIAN, E. P.; FAN, M. **Development of Wood-Crete building materials from sawdust and waste paper.** *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 40, p. 361-366, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.018>.

ADILI, A.; LACHHEB, M.; BRAYEK, A.; GUIZANI, A.; NASRALLAH, S. B. **Estimation of thermophysical properties of lightweight mortars made of wood shavings and expanded polystyrene beads using a hybrid algorithm.** *Energy And Buildings*, [S.L.], v. 118, p. 133-141, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.039>.

BRÁS, A., LEAL, M., FARIA, P. **Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPS mortars performance.** *Construction and Building Materials*, 49, 315–327. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.006>

BRASIL, C. **Da celulose ao papel: como funciona essa cadeia produtiva?** 2020. Disponível em: <http://croplifebrasil.org/noticias/da-celulose-ao-papel-como-funciona-essa-cadeia-produtiva/>. Acesso em: 08 dez. 2020.

BEDERINA, M.; LAIDOUDI, B.; GOULLIEUX, A.; KHENFER, M. M.; BALI, A.; QUÉNEUDEC, M. **Effect of the treatment of wood shavings on the physico-mechanical characteristics of wood sand concretes.** *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 1311-1315, mar. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.07.029>.

CARASEK, H.; Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2ª ed. São Paulo – SP, v 2, 2010.

COELHO, J. F. M. **Análise do ciclo de vida de argamassa com resíduos de madeira.** 2019. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil – Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Lisboa, Portugal, 2019.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; SIDDIQUE, R. **Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste.** *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 123, p. 281-289, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.011>.

CORRÊA, L. R. **SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** 2009. 70 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Ufmg, Belo Horizonte, 2009.

DIAS, O. A.; SIMONELLI, G. QUALIDADE DA MADEIRA PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 3632-3646, 01 dez. 2013. IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores (org.). **Relatório 2019.** São Paulo: Studio 113, 2019. 80 p. Disponível em: [www.iba.org](http://www.iba.org). Acesso em: 16 abr. 2020.

GOMES, A. de O.; NEVES, C. M. M. **Proposta de método de dosagem racional de argamassas contendo argilominerais.** *Ambiente Construído*, v. 2, n. 2, p. 19-30, 2002.



KAZMIERCZAK, C. S. Produtos de Cerâmica Vermelha. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais**. 2.ed. São Paulo: Ibracon, 2010

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo. 1998.

MALAGONI, M. A.; SCARTEZINI, V. **Análise dos resultados de resistência de aderência em revestimentos de argamassa**. 2013. 389 fls. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2013

MARGRAF. **TIPOS DE PAPEL E APLICAÇÕES**. 2020. Disponível em: <https://www.margraf.com.br/tipos-de-papel-e-aplicacoes/>. Acesso em: 07 dez. 2020

MARTINHO, P. A. G. **Análise do comportamento de argamassas com a incorporação de “pellets” de madeira**. 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Lisboa, Portugal, 2017.

OTTEN, K. A.; BRISCHKE, C.; MEYER, C. **Material moisture content of wood and cement mortars – Electrical resistance-based measurements in the high ohmic range**. Construction And Building Materials, [S.L.], v. 153, p. 640-646, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.090>.

RATO, V. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. Dissertação de Doutorado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. 2006.

SCHWANTES, C. G. G. **Concreto estrutural leve: resistência à compressão e módulo de elasticidade usando argila expandida como agregado graúdo**. 2012. 79 p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SILVA, J. A. da; PIVA, J. H.; WANDERLIND, A; SAVI, A. E.; ANTUNES, E. G. P. **Análise das características físicas e propriedades mecânicas de argamassa com inserção de resíduos de madeira**. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 26, n. 01, p. 1-11, jan. 2021

SANTOS, A. M. dos; CABRAL, L. M. C.; MONTEIRO, E. B.; HELENE, P. R. do L. ANALISE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO E DINÂMICO PARA DIFERENTES DOSAGENS DE CONCRETO. In: CONGRESSO BRASILEIRO O CONCRETO, 55., 2013, Florianópolis. *Anais [...]*. Florianópolis: Ibracon, 2013. p. 1-13.

SOUZA, R. P. de. **Uso de resíduos de papel em compostagem agrícola**. 2018. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2018. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/NCAP-AZXRLV/1/rejane\\_pereira\\_de\\_souza\\_disserta\\_\\_o\\_versao\\_final\\_4junho.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/NCAP-AZXRLV/1/rejane_pereira_de_souza_disserta__o_versao_final_4junho.pdf). Acesso em: 07 dez. 2020.

VILPERT, G. C. **Telha de Concreto: Adição de fibra derivada de bagaço de cana-de-açúcar**. 2018. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2018.

UNI EN 1015-3, **Metodi di prova per malte per opere murarie - Parte 3: Determinazione della consistenza della malta fresca (mediante tavola a scosse)**, 2007.

ZENID, J. G. **Madeira na Construção Civil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2011.

ZANELATO, E. B.; ALEXANDRE, J.; AZEVEDO, A. R. G. de. **AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA À TRAÇÃO DE ARGAMASSAS APLICADAS EM BLOCOS CERÂMICOS**. **73º Congresso Anual da Abm**, São Paulo, v. 1, n. 73, p. 1-7, 02 out. 2018.