



**FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE**

**CRISTIANO ESCORCE**

**CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ NA  
ARGAMASSA**

**ARIQUEMES - RO**

**2021**

**CRISTIANO ESCORCE**

**CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ NA  
ARGAMASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso para  
obtenção do Grau em Engenharia Civil  
apresentado a Faculdade de Educação  
e Meio Ambiente – FAEMA,

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Ms. Silênia Priscila  
da Silva Lemes

**ARIQUEMES – RO**

**2021**

**CRISTIANO ESCORCE**

**CARACTERIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ NA  
ARGAMASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso para  
obtenção do Grau em Engenharia Civil  
apresentado a Faculdade de Educação  
e Meio Ambiente – FAEMA.

**Banca examinadora**

---

Prof.<sup>a</sup> Ms. Silênia Priscila da Silva Lemes  
Faculdade de Educação e Meio Ambiente-FAEMA

---

Prof. Esp. Ruan Iuri de Oliveira Guedes  
Faculdade de Educação e Meio Ambiente-FAEMA

---

Prof. Esp. João Victor da Silva Costa  
Faculdade de Educação e Meio Ambiente-FAEMA

**ARIQUEMES – RO**

**2021**

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

E74c Escorce, Cristiano.  
Caracterização e utilização da cinza da casca de arroz na argamassa. / Cristiano Escorce. Ariquemes, RO: Faculdade de Educação e Meio Ambiente, 2021.  
89 f. ; il.  
Orientador: Prof. Ms. Silênia Priscila da Silva Lemes.  
Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil – Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes RO, 2021.

1. Desempenho Mecânico. 2. Porosidade. 3. Permeabilidade. 4. Casca de arroz. 5. Argamassa. I. Título. II. Lemes, Silênia Priscila da Silva.

CDD 624

**Bibliotecária Responsável**  
Herta Maria de Açucena do N. Soeiro  
CRB 1114/11

Dedico este trabalho a Deus; sem ele eu não teria capacidade para desenvolver este trabalho e a todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus por essa grande conquista, sem Ele eu não estaria realizando esse sonho. Sou muito grato a tudo que Ele tem me proporcionado e imensamente feliz por ser abençoado em seguir essa profissão. Mais uma vez agradeço a Deus por todas as coisas.

Aos meus pais, por me incentivarem em todos os momentos da graduação, serem os meus alicerces nos momentos mais difíceis, proporcionando financeiramente toda a minha graduação. Obrigado por tudo e por tanto. Amo vocês imensamente.

Aos meus professores que me proporcionaram todo o conhecimento nessa longa caminhada, levarei no coração com muita gratidão cada um que direta e indiretamente foram responsáveis pela bagagem científica que possuo hoje, em especial à minha orientadora e professora Ms. Silênia Priscila da Silva Leme, pela sua dedicação e insistência, por ser essa pessoa e profissional incrível que busco me inspirar e me tornar futuramente. Obrigado por toda a paciência e resiliência, por ter escolhido ser minha orientadora e me fortalecendo a todo o momento a não desistir dessa etapa da graduação, onde tudo parece ser impossível, obrigado por tudo.

De maneira alguma não esqueceria de citar meu namorado companheiro Marcus Vinícius Coronado Pereira, por me ajudar a ser paciente e me mostrar que sou capaz de alcançar os meus objetivos. Muito obrigado por me transmitir paz e harmonia em meio a correria de todo semestre, de me mostrar os caminhos a serem seguidos, você foi de suma importância para esta minha vitória, pois ao meu lado me tranquilizava e acreditava no meu potencial. Te amo.

Aos meus amigos e amigos de classe Luís, Suelen, Jéssica e Letícia e por sempre estarem ao meu lado me agregando conhecimento e pensamentos positivos. Esse grupo que no WhatsApp tem um grupo que leva o nome de "E lá vamos nós" me ajudou, me compreendeu e aturou os meus surtos e marcou a minha graduação, em meios a tantos altos e baixos nós vencemos, porque estávamos ali para apoiar e ajudar um ao outro sem medir esforços, essa foi a forma mais linda e genuína de companheirismo e amizade. Desejo muito sucesso a todos nós.

*"O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano".*

**Isaac Newton**

## RESUMO

Em termos de crescimento populacional associado ao progresso tecnológico é possível notar que o meio ambiente vem padecendo com determinadas consequências da poluição como: emissão de gases tóxicos e o descarte incorreto de grandes quantidades de detritos que são utilizados para a fabricação de materiais. Pesquisas mostram que a utilização da cinza da casca de arroz (CCA) se torna um método alternativo para a produção de argamassa é uma forma eficiente para diminuir os impactos na natureza, especialmente as CCA que possuem alto teor de sílica, podendo ser utilizada como pozolana. Em vista disso, a pesquisa tem por objetivo verificar a utilização da cinza da casca de arroz (CCA) avaliando a viabilidade de sua aplicação na produção de argamassa, como substituição parcial de 5%, 10%, 20% e 30% do cimento Portland. O método para desenvolver a pesquisa foi realizada através da caracterização da CCA, em qual o teste de perda ao fogo apresentou resultado de 8,80% e, em seguida, substituição parcial do cimento Portland por CCA na produção de argamassa, verificando o desempenho e qualidade do mesmo, posteriormente avaliando a resistência, onde o teste de resistência a compressão, a argamassa com 30% de substituição de cimento Portland por CCA alcançou 35,28 MPa aos 64 dias de idade, durabilidade e o teor de ar incorporado também foram avaliados. Conclui-se que com esta pesquisa os resultados visando a viabilidade técnica, o auxílio na redução do cimento e melhoria da qualidade da argamassa foram obtidos.

**Palavras-chave:** Desempenho mecânico no estado endurecido. Redução de porosidade e permeabilidade. Meio ambiente. Durabilidade e Resistência.



## ABSTRACT

In terms of population growth associated with technological progress, it is possible to notice that the environment has been suffering from certain consequences of pollution, such as: emission of toxic gases and the incorrect disposal of large amounts of waste that are used to manufacture materials. Research shows that the use of rice husk ash (CCA) becomes an alternative method for the production of mortar and is an efficient way to reduce impacts on nature, especially the CCA that have a high silica content, which can be used as pozzolan . In view of this, the research aims to verify the use of rice husk ash (CCA) evaluating the feasibility of its application in the production of mortar, as a partial replacement of 5%, 10%, 20% and 30% of Portland cement . The method to develop the research was carried out through the characterization of CCA, in which the loss to fire test showed a result of 8.80% and then partial replacement of Portland cement by CCA in the production of mortar, checking the performance and quality of the same, later evaluating the strength, where the compressive strength test, the mortar with 30% replacement of Portland cement by CCA reached 35.28 MPa at 64 days of age, durability and incorporated air content were also evaluated . It is concluded that with this research the results aimed at the technical feasibility, helped in the reduction of cement and improvement in the quality of the mortar were obtained.

**Keywords:** Mechanical performance in the hardened state. Reduction of porosity and permeability. Environment. Durability and Resistance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Cinza de casca de arroz (CCA) após moagem	25
Figura 02 - Programa Experimental	39
Figura 03 - CCA doada pela RICAL	42
Figura 04 - Caracterização granulométrica do agregado	43
Figura 05 - Determinação massa específica	44
Figura 06 - CAA após redução de granulometria	45
Figura 07 - Moinho de facas	46
Figura 08 - Pesagem material para teste de perda ao fogo	47
Figura 09 - CCA antes e depois do ensaio	48
Figura 10 - Ensaio de resistência a compressão	48
Figura 11 - Corpo de prova para determinação da atividade pozolânica	49
Figura 12 - Argamassadeira mecânica	50
Figura 13 - Argamassas com teor de substituição do cimento de 0 a 30% por CCA	52
Figura 14 - Pesagem argamassa de referência	53
Figura 15 - Mesa De Consistência Manual	55
Figura 16 - Molde corpo de prova após ser rasado	55
Figura 17 - Molde corpo de prova cilíndrico após se adensado e rasado.	56
Figura 18 - Ensaio de Resistência à tração na flexão e ensaio de compressão com o mesmo material	57
Figura 19 - Corpo de prova cilindro preparado para aquecimento em imersão	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Exigências Químicas da NBR 12653/2014.	22
Tabela 02 - Composição do Cimento CP IV - Norma: NBR 16697	41
Tabela 03 - Composição Granulométrica da Areia e Massa Específica	44

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Análise da CCA no DRX com diferentes temperaturas de queima.	26
Gráfico 02 - Correlação entre a temperatura de queima e o índice de amorfismo.	26
Gráfico 03 - Resultados ensaio perda ao fogo	59
Gráfico 04 - Índice de atividade pozolânica	60
Gráfico 05 - Índice de consistência	62
Gráfico 06 - Densidade de massa da argamassa	63
Gráfico 07 - Teor de ar incorporado	64
Gráfico 08 - Resistência a tração na flexão por idade	67
Gráfico 09 - Resistência a tração na flexão por traço	69
Gráfico 10 - Resistência a compressão por idade	71
Gráfico 11 - Resistência a compressão por traço	73
Gráfico 12 - Absorção de água por imersão	74
Gráfico 13 - Índice de vazios após imersão	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>A-C-H</b>	<b>Aluminatos de Cálcio Hidratados</b>
<b>CA(OH)2</b>	<b>Hidróxido de cálcio</b>
<b>CCA</b>	<b>Cinza de Casca de Arroz</b>
<b>C-S-H</b>	<b>Silicatos de Cálcio Hidratados</b>
<b>DRX</b>	<b>Difração de Raios-x</b>
<b>EDX</b>	<b>Espectrometria de Raio x</b>
<b>IAP</b>	<b>Índice de Atividade Pozolânica</b>
<b>S-A-C-H</b>	<b>Silicoaluminatos de Cálcio Hidratados</b>
<b>SIO2</b>	<b>Dióxido de silício</b>
<b>NBR</b>	<b>Norma Brasileira</b>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO PRIMÁRIO	19
2.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	19
3	REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	MATERIAIS POZOLÂNICOS	20
3.2	CLASSIFICAÇÃO DAS POZOLANAS	21
3.3	CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO DAS POZOLANAS EM MATRIZES DE CIMENTO PORTLAND	22
3.4	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA CINZA DA CASCA DE ARROZ	23
3.5	CCA SE ENQUADRA COMO MATERIAL POZOLÂNICO	24
3.6	INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE QUEIMA NAS CARACTERÍSTICAS DA CCA	25
3.7	INFLUÊNCIA DO GRAU DE MOAGEM NAS CARACTERÍSTICAS DA CCA	28
3.8	A INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE DIFERENTES TEORES DE SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO POR CCA	29
3.9	ARGAMASSA	30
3.10	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO	31
3.10.1	Trabalhabilidade e Aspectos Reológicos da Argamassa	31
3.10.2	Consistência e Plasticidade	32
3.10.3	Retenção de Água	32
3.10.4	Massa Específica e Teor de Ar Incorporado	33
3.10.5	Retração por Secagem	33
3.11	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	34
3.11.1	Aderência	34
3.11.2	Capacidade de Absorver Deformações	35
3.11.3	Resistência Mecânica	36
3.11.4	Permeabilidade e Durabilidade	36
4	MATERIAIS E MÉTODOS	38

4.1	MATERIAIS	40
4.1.1	Água de amassamento	40
4.1.2	Cimento Portland	40
4.1.3	Cinza Da Casca Do Arroz	41
4.1.4	Agregado Miúdo - Areia	42
4.2	METODOS	42
4.2.1	Recebimento materiais	42
4.2.2	Caracterização físicas do agregado miúdo	43
4.2.2.1	Granulometria	43
4.2.2.2	Massa específica	43
4.2.3	Caracterizações físicas da cinza de casca de arroz	44
4.2.3.1	Redução de Granulometria	45
4.2.3.2	Perda ao Fogo	46
4.2.3.3	Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland	48
4.2.4	Dosagem e produção da argamassa.	49
4.2.5	Caracterização das argamassas no estado fresco	51
4.2.5.1	Índice de consistência	51
4.2.5.2	Densidade de massa e teor de ar incorporado	53
4.2.6	Caracterização das argamassas no estado endurecido	54
4.2.6.1	Moldagem e cura dos corpos de prova	54
4.2.6.1.1	Moldagem e cura dos corpos de prova Prismáticos	54
4.2.6.1.2	Moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos	55
4.2.6.2	Resistência à tração na flexão e à compressão	56
4.2.6.3	Determinação da absorção de água, índice de vazios.	58
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	59
5.1	CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS DA CINZA DE CASCA DE ARROZ	59
5.1.1	Perda ao Fogo	59
5.1.2	Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland	60
5.2	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	61
5.2.1	Índice de consistência	61
5.2.2	Densidade de massa e teor de ar incorporado	63
5.3	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	64
5.3.1	Resistência à tração na flexão e à compressão	64

5.3.1.1	Resistencia à tração na flexão	65
5.3.1.2	Resistencia a compressão	70
5.3.2	Determinação da absorção de água, índice de vazios	74
6	CONCLUSÃO	76
6.1	CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS DA CINZA DE CASCA DE ARROZ	76
6.1.1	Perda ao Fogo	76
6.1.2	Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland	76
6.2	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	76
6.2.1	Índice de consistência	76
6.2.2	Densidade de massa e teor de ar incorporado	76
6.3	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	77
6.3.1	Resistência à tração na flexão e à compressão	77
6.3.1.1	Resistencia à tração na flexão	77
6.3.1.2	Resistencia a compressão	77
6.3.2	Determinação da absorção de água, índice de vazios	78
6.4	CONCLUSÃO FINAL	78
7	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	79



## 1 INTRODUÇÃO

Desde antiguidade o concreto é utilizado pelo homem e vem sendo aperfeiçoado no transcorrer de sua história devido a sua grande versatilidade de aplicação e durabilidade (MAZZA, 2015).

Segundo a IEA (Agência Internacional de Energia) em 2020, a necessidade por cimento na indústria de construção incentiva a produção e é, portanto, um importante determinante do consumo de energia do subsetor de cimento e de geração de CO<sub>2</sub>. As estimativas iniciais sugerem que 4,1 bilhões de toneladas de cimento foram produzidos globalmente em 2019. A produção atingiu um máximo de 4,2 bilhões de toneladas em 2014 e desde então se manteve em cerca de 4,1 bilhões de toneladas. No mundo a maior produtora de cimento é a China, respondendo por cerca de 55% da produção, seguida pela Índia com 8%.

De acordo com o IBGE (2017), com cultivo de 12,3 milhões de toneladas obtidas na safra 2016/2017, o Brasil encontra-se entre os maiores produtores globais de arroz. Depois da colheita, na etapa de beneficiamento do grão, são produzidos vários resíduos, mas a casca do arroz se sobressai, principalmente em função do amplo volume gerado (GONÇALVES, 2009).

Segundo a Secretária de Estado da Agricultura do Estado de Rondônia (2020) a cultivo de arroz em Rondônia (safra 2019/20) está por volta de 139 mil toneladas, em uma área cultivada de mais de 42 mil hectares, constituindo a maior da região Norte. A cultivo interno de arroz atende apenas 33% da necessidade estadual, portanto, há um carência de 67%, que são importados de outros locais.

O aumento exponencial na produção do arroz em função da demanda, durante o seu beneficiamento produz uma grande quantidade de resíduos e vem gerando grande preocupação, visto que seu rejeito vem provocando diversas complicações ambientais, como a poluição do solo, de mananciais e inclusive do ar e a incineração da CA para geração de energia, se mostra um meio praticável, ecológico, ético e economicamente rentável, produzindo CCA como rejeito final.

Segundo RIGHI (2012) a aplicabilidade da CCA, na construção civil, é importante para preservar o meio ambiente, já que muitas vezes, seu descarte pode ocorrer a céu aberto, provocando contaminação do ambiente local, por apresentar, em sua composição, certa quantidade de carbono residual. A cinza é considerada

prejudicial à saúde humana, devido ao grande quantidade de teor de sílica que pode conter, quando de sua exposição, uma afecção pulmonar conhecida como “silicose”.

A utilização de acréscimo de minerais em argamassas vem sendo uma das soluções encontrada para reduzir os impactos ambientais referentes aos rejeitos industriais, como, por exemplo, a cinza volante, escória de alto forno, metacaulim, sílica ativa e a CCA, essas estão sendo analisadas a fim de possibilitar seu emprego na construção civil (SILVA et al, 2006).

Tashima (2006) afirma que o emprego de materiais pozolânicos intervém nos atributos mecânicas de argamassas e concretos, colaborando, principalmente, com o acréscimo da resistência à compressão, com a diminuição da permeabilidade e com aumento da durabilidade.

Partindo da expectativa de crescimento da construção civil a qual gera uma demanda maior por concreto e conseqüentemente elevado o consumo de recursos naturais não recicláveis na produção de cimento Portland, como reduzir o consumo de cimento Portland no concreto visando minimizar o consumo de recursos naturais diante do contexto da civilização na atualidade, no qual os recursos naturais e energéticos estão se esvaindo e junto a isso, a demanda da humanidade por alimentos, gerando, automaticamente, o crescimento de resíduos da produtividade agrícola, se faz necessário a procura por alternativas que possam integrar variados benefícios, tendo como possibilidade substituir parcialmente o cimento Portland por CCA, reduzir emissão de gás carbônico CO<sub>2</sub> na atmosfera em razão da redução do consumo e produção de cimento Portland e possibilidade de produção em larga escala da CCA para construção civil, sendo assim o objetivo deste estudo é: avaliar a viabilidade da aplicação da CCA na produção de argamassa, como substituição parcial do cimento Portland; verificar as características físicas e químicas da CCA; analisar se a CCA se enquadra como material pozolânico; verificar a influência da incorporação de diferentes teores de substituição de cimento por CCA; analisar o comportamento da argamassa no estado fresco e analisar o comportamento da argamassa no estado endurecido

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO

Avaliar a viabilidade da aplicação da CCA na produção de argamassa, como substituição parcial do cimento Portland.

### 2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

- Verificar as características físicas e químicas da CCA;
- Analisar se a CCA se enquadra como material pozolânico;
- Verificar a influência da incorporação de diferentes teores de substituição de cimento por CCA;
- Analisar o comportamento da argamassa no estado fresco;
- Analisar o comportamento da argamassa no estado endurecido.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 MATERIAIS POZOLÂNICOS

Desde o surgimento da humanidade, a busca por abrigo fez-se uma necessidade vital, dessa forma desenvolvimento de materiais, apropriados para a construção transformou-se uma parte da história. Dentre os materiais apercebidos, a cal, a argila, o gesso e a pedra mostraram-se materiais com incríveis cenários construtivas (CORDEIRO, 2009).

Narrativas acerca das primeiras construções desenvolvidas pelos homens, de mais ou menos 10.000 anos, apontam que os egípcios foram os pioneiros na desenvolvimento de materiais ligantes. Posteriormente a cal surge, descoberta, ao que tudo indica, através da civilização grega e torna-se um dos ligantes mais difundido ao desenrolar da história das civilizações (ALVES, 2002; BARSOUM; GANGULY, 2006).

Sob diversos aspectos, a evolução das construções possibilidade de ser avaliada como cíclica, com rotinas que vêm com o decorrer dos anos. Babilônicos, egípcios, gregos, entre outros nações, utilizaram materiais com características pozolânicas em diferentes épocas e regiões. Com surgimento do cimento Portland, estes materiais deixaram de ser usado, mas atualmente a engenharia está em um novo ciclo quanto ao uso de pozolanas, especialmente visto que o mercado consumidor tem se interessado com relação à aplicação de materiais sustentáveis (CORDEIRO, 2009; SANTOS, 2008).

O nome Pozolana originou-se pelo fato de que as cinzas vulcânicas mais famosas foram encontradas próximo ao Monte Pozzuoli, Itália. Com o descobrimento de novos materiais naturais que ao ter reação com a cal, apresentavam atributos cimentícios, o termo pozolana tornou-se utilizado de forma mais ampla (TASHIMA, 2006).

De acordo com Abrão (2019), o termo pozolana pode ser entendido como resíduos industriais ou subprodutos oriundos de processos térmicos que tenham passado por um esfriamento abrupto, alguns exemplos são: escórias obtidas no sistema de produção de aço, ferro-ligas, cinzas volantes geradas em usinas termoelétricas, beneficiamento do cobre e sílica ativa obtida no processo de beneficiamento do silício.

Segundo Tashima (2006), as pozolanas conseguem ser utilizadas no processo de fabricação do cimento, na substituição de uma parte do clínquer, além disso, na fabricação de argamassas e concretos. É muito comum ocorrerem essas duas utilizações no Brasil, assim, reduzindo a extração das jazidas de calcário e argila, com intensão de resguardar os recursos naturais não-renováveis.

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS POZOLANAS

As pozolanas fragmentam em duas grandes classes: naturais e artificiais. Segundo Cordeiro (2009), as pozolanas naturais provem de rochas ou minerais vulcânicos, passando ao longo de vários procedimentos de britagem, moagem, classificação e comumente são ativados termicamente. A utilização das pozolanas naturais proporcionam reduções consideráveis na utilização de energia para a confecção do cimento Portland. Essa redução amplia quando a pozolana é utilizada numa porcentagem de substituição ao cimento Portland. As pozolanas artificiais tratase de lixo ou subprodutos agroindustriais, resultante de diversas fontes, nas quais contam com diferentes características, sendo que a atividade pozolânica é algo em comum.

As pozolanas artificiais mais empregadas na construção civil são as cinzas volantes, as escórias de alto forno e a sílica ativa. Contudo, diversas pesquisas vêm sendo realizadas, iguais às de Tashima (2006), Cordeiro (2009) e Pouey (2006), na intuição de introduzir outros resíduos como substituição ao cimento Portland que são o bagaço de cana-de-açúcar e a CCA (TASHIMA, 2006).

Já a NBR 12653/2014 qualifica os materiais pozolânicos em três conjuntos, de acordo como descrito na Tabela 1. Essa classificação baseia-se na procedência dos materiais e não delimita uma classe própria para pozolanas altamente reativas.

Tabela 01 - Exigências Químicas da NBR 12653/2014.

Valores em porcentagem (%)

Propriedades	Classe de material pozolânico			Método de ensaio(*)
	N	C	E	
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\geq 70$	$\geq 70$	$\geq 50$	ABNT NBR NM 22
$\text{SO}_3$	$\leq 4$	$\leq 5$	$\leq 5$	ABNT NBR NM 16
Teor de umidade	$\leq 3$	$\leq 3$	$\leq 3$	ABNT NBR NM 24
Perda ao fogo	$\leq 10$	$\leq 6$	$\leq 6$	ABNT NBR NM 18
Álcalis disponíveis em $\text{Na}_2\text{O}$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$	ABNT NBR NM 25

(\*) Os métodos de ensaios devem ser adaptados, substituindo-se o cimento Portland pelo material pozolânico.

Fonte: NBR 12653/2014 (p.7).

Tashima (2006) criticou a NBR 12653/2014, primeiro, o material pozolânico foi limitado apenas pela sua origem, sem falar na pozolana altamente reativa, bem como na sílica ativa, metacaulim e CCA. Outro fator indagado pelo autor é como verificar o índice de atividade das cinzas pozolânica mencionado na NBR 5752/1992. O procedimento de ensaio de trabalhabilidade deliberada e fixa faz com que as cinzas vulcânicas muito finas requeiram uma maior quantidade de água, de forma que a resistência da argamassa com cinzas pozolânica é reduzida em comparação com a mistura controle.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO DAS POZOLANAS EM MATRIZES DE CIMENTO PORTLAND

A apreensão quanto a durabilidade das estruturas, o aumento da produção de concretos de elevada resistência e o interesse no tratamento adequada de resíduos vêm tornando, mais e mais frequente o uso de pozolanas na base do cimento Portland.

Sabe-se que as pozolanas interagem com a portlandita, (CH) formada na hidratação do cimento, gerando produtos de hidratação resistentes (C-S-H, A-C-H e/ou S-A-C-H).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a alteração de parte do cimento Portland por pozolanas acelera o início das reações de hidratação dos compostos do cimento, especialmente dos aluminatos de cálcio. Isso faz com que se libere uma maior quantidade de cal, favorecendo, assim, a desenvolvimento demais produtos de hidratação que, no final, tem influência sobre as características das argamassas e dos

concretos no estado endurecido, tais como, resistência mecânica, ataques químicos e reações expansivas.

Nas argamassas e concreto pode-se separar a atuação das pozolanas em dois efeitos: efeito químico, comumente conhecido como atividade pozolânica, e efeito físico.

No que se refere ao efeito químico, à atividade pozolânica engloba todas as reações químicas que dão-se entre os elementos ativos das pozolanas, a cal e a água (METHA e MONTEIRO, 1994).

O processo de reação da pozolana com o hidróxido de cálcio contribui para a formação de silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), aluminatos de cálcio hidratados (A-CH) e/ou silicoaluminatos de cálcio hidratados (S-A-C-H) gerando, assim, um aumento de resistência mecânica, diminuição da permeabilidade e da mesma forma um aumento na durabilidade (CORDEIRO, 2009).

Sabe-se que essas melhorias nas propriedades de argamassas e concretos estão diretamente relacionadas com a relação a/c, pois, somente para relações menores a 0,5 a atividade pozolânica contribuirá de forma significativa. Para relações superiores a 0,5 a grande quantidade de poros na matriz irá sobressair sobre a atividade pozolânica, produzindo um efeito pozolânico mais fraco (TASHIMA, 2006).

O efeito físico da pozolana, conhecido como efeito filer, atua no preenchimento de lacunas de concretos e argamassas, refinando a coesão e decaindo a exsudação. Outra forma de efeito físico da pozolana, chamado de efeito de nucleação, nos primeiros dias de cura, atua acelerando a hidratação dos corpúsculos de cimento Portland. O efeito filer e o efeito de nucleação estão relacionados diretamente com a arranjo granulométrica das pozolanas (CORDEIRO, 2009).

### 3.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA CINZA DA CASCA DE ARROZ

O arroz é um dos mantimentos mais consumidos no mundo, e sua plantação só pode ser feita em locais que ofereçam condições adequadas de clima e solo, meios estas que podem ser encontradas em quase todas os locais do Brasil (KADAM et al., 2000).

A casca de arroz (CA) é um recobrimento ou capa protetora produzida durante o crescimento dos grãos de arroz. É formada por quatro camadas estruturais: epiderme externa, coberta com uma espessa cutícula de células silificadas;

esclerênquima ou fibra hipoderme, com parede lignificada; célula parênquima esponjosa e epiderme interna (SOUZA; MAGALHÃES; PERSEGIL, 2002).

Os elementos mais fundamentais da casca são celulose e hemicelulose (50%), além de lignina (26%) e componentes orgânicos (4%), como óleos e proteínas. O material restante inclui os itens inorgânicos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) (ANGEL et al., 2009).

A CCA é um resíduo obtido com a queima da casca do arroz em frágua, exposto ao tempo, ou em fornos especiais, à temperatura controlada (MILANI, 2008).

A queima completa da CA gera gases quentes com baixos teores de poluentes, contendo monóxido de carbono e elementos particulados (ANGEL et al., 2009).

Como produto físico, resultante da mudança termoquímica da CA, é obtida a CCA. Os diferentes meios de processos de conversão (pirólise, gaseificação e/ou combustão) geram as características físico-químicas do produto final. A CCA corresponde de 14 a 25% da massa da casca do arroz, dependendo da diversidade do arroz, do clima e do solo da região produtora (CHANDRASEKHAR et al., 2003).

Segundo Ferreira (2005), a formação da CA demonstra um teor de cinzas de 11,4% e, essas cinzas geralmente contêm 80-90% de  $\text{SiO}_2$ , 5% de  $\text{K}_2\text{O}$ , 4% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 1-2% de  $\text{CaO}$  e baixa porção de Mg, Fe e Na. Contudo, os componentes orgânicos principais são a celulose, a hemicelulose e a lignina.

### 3.5 CCA SE ENQUADRA COMO MATERIAL POZOLÂNICO

Por definição, as pozolanas são substâncias formadas de sílica e alumina que, em presença de água, estabelecem-se com o hidróxido de cálcio e com os diferentes componentes do cimento constituindo compostos estáveis à água e com características aglomerantes. As pozolanas estão definidas em naturais: rochas vulcânicas submetidas a meteorização; artificiais: argilas de qualquer tipo submetidas a altas temperaturas para desidratação, contudo, a temperatura abaixo do início da fusão; e, por fim, subprodutos industriais: cinzas volantes, CCA, sílica ativa, entre outros (LEITE; MOLIN, 2002).

Segundo Lemes (2013), a CCA apresenta propriedades químicas semelhantes à Sílica Ativa. A sílica é uma combinação de silício e oxigênio na forma  $\text{SiO}_2$  e na CCA aparece em abundância, em valores próximos a 90% de sua composição química. Junto à sílica pode ter até 15% em peso de carbono, dependendo do tipo de



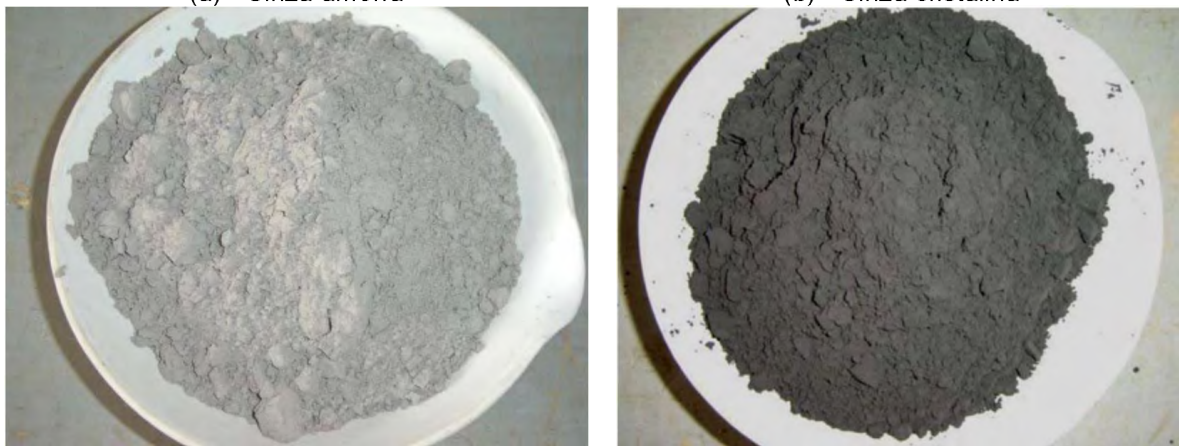
queima empregado em sua fabricação, o que pode acarretar a desvalorização comercial do produto (VASCONCELOS, 2009).

### 3.6 INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE QUEIMA NAS CARACTERÍSTICAS DA CCA

Dependendo da troca da faixa de temperatura e da duração da queima da casca de arroz, pode-se obter dióxido de silício na forma amorfa ou cristalina. Tem sido amplamente aceito que o disparo de CCA a uma temperatura abaixo de 800 ° C produzir SiO<sub>2</sub> com características amorfas, e sua fase cristalina aparece acima de 900 ° C. O tipo de sílica também é afetado pelo tempo de queima (ZAPARTE, 2020).

Barbosa et al. (2006) estudaram os efeitos do tempo e da temperatura na queima da casca de arroz. Como resultado, apresentar cinzas com controle de combustão, a temperatura é de cerca de 600°C, Figura 1 (a); e sem controle de combustão, este processo durou 36 horas, a temperatura chegou a 850°C, Figura 01 (b).

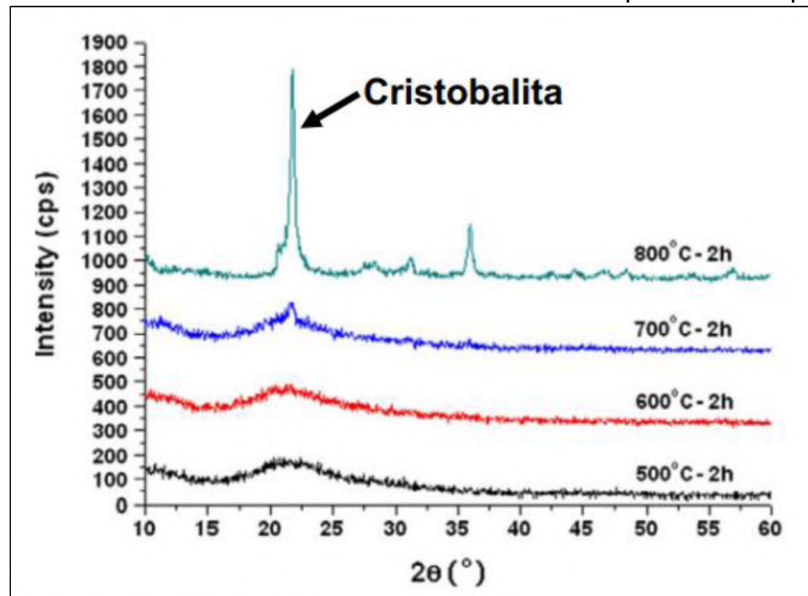
Figura 01 - Cinza de casca de arroz (CCA) após moagem  
(a) - Cinza amorfa (b) - Cinza cristalina



Fonte: Barbosa, et al. (2006, p. 6).

De acordo com Xu et al. (2012) A análise de XRD foi realizada em amostra CCA queimadas a uma temperatura de 500-800 ° C por 2 horas. Conforme avalia na Figura 1, o estudo descobriu que a amostra queimada entre 500-600 ° C permaneceu basicamente amorfa com quase nenhuma reflexão cristalina. Um pico mais agudo também pode ser identificado a partir de 700 ° C, indicando a formação de cristobalita, que é um polimorfo da sílica. A 800 ° C, uma amostra de CCA provou ser altamente cristalina e revelou o pico padrão do composto observado na Gráfico 01.

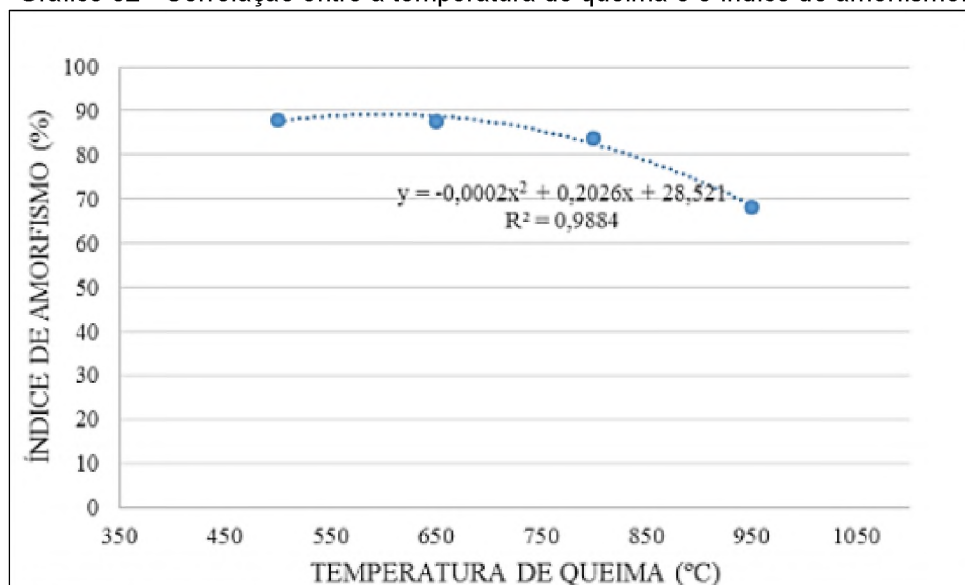
Gráfico 01 - Análise da CCA no DRX com diferentes temperaturas de queima.



Fonte: XU et.al. (2012).

A partir da utilização de métodos quantitativos para a análise da fase reacional de CCA, Rietveld, Cordeiro e outros. (2014) estabeleceram uma correlação entre diferentes temperaturas de queima da casca de arroz e índice amorfo. Os autores constataram que a partir de 650 ° C a quantidade de sílica ativa começou a diminuir, conforme mostra a Figura 02.

Gráfico 02 - Correlação entre a temperatura de queima e o índice de amorfismo.



Fonte: Cordeiro et. al. (2014).

Os resultados de Cordeiro et al. (2014) estão de acordo com outras pesquisas já realizadas (KRISHNARAO et al., 2001; FENG et al., 2004; CHANDRASEKHAR et al., 2006; NAIR et al., 2018), as quais mostraram que, a temperatura de calcinação deve estar preferencialmente inferior a 700°C, a fim de evitar transformação da SiO<sub>2</sub> de sua forma amorfa para a forma cristalina.

Outra variável que afeta a composição da sílica no CCA é a taxa de aquecimento do processo de combustão: quanto mais rápida, mais o carbono se oxidará antes da fusão, resultando em maior quantidade de partículas escuras. No entanto, se a taxa de aquecimento for pequena, a oxidação do carbono ocorrerá antes que a superfície da sílica se funda, e o número de partículas pretas será bastante reduzido (CHANDRASEKHAR et al., 2006).

De acordo com Krishnarao et al. (2001), as partículas na sílica da casca de arroz são causadas pelo carbono contido nela. Isso se deve à fusão da superfície da sílica na presença de impurezas de óxido de potássio (K<sub>2</sub>O).

O número de partículas escuras também aumenta com a temperatura de calcinação (até 700 ° C). A partir de 800 °C, o número destas partículas reduz, aumentando as claras. Esse processo se deve à oxidação do carbono, que é melhorada com o aumento da temperatura de combustão (XU et al. 2012).

No entanto, ao tentar remover o carbono não queimado por aquecimento a temperaturas mais altas (maiores que 700 ° C), a sílica amorfa cristaliza, formando cristobalita e tridimita. O carbono não queimado nas partículas escuras não pode ser tirado por oxidação a alta temperatura porque está fixado na sílica (KRISHNARAO et al., 2001).

Esses estudos indicam que a sílica mais reativa ocorre durante a combustão em baixas taxas de aquecimento e a temperatura abaixo de 700°C. Nesse caso, uma grande quantidade de carbono queima, dando ao CCA um índice de pureza mais alto e preservando o SiO<sub>2</sub> na forma amorfa (ZAPARTE, 2020).

Quanto ao teor de sílica no CCA, segundo Taku et al. (2016), quando uma casca de arroz é queimada a uma temperatura entre 400 ° C e 800 ° C, a temperatura de calcinação não tem efeito significativo. Segundo o autor Zaparte (2020), eles verificaram que a combustão em diferentes temperaturas (entre 500 ° C e 900 ° C) tem muito pouco efeito sobre a produção de sílica ativa, principalmente em temperaturas acima de 600 ° C.

### 3.7 INFLUÊNCIA DO GRAU DE MOAGEM NAS CARACTERÍSTICAS DA CCA

O grau de moagem, juntamente com as condições de queima, é uma das causas que influenciam nas propriedades das CCA. Trata-se de uma operação puxada, porém, necessária, que é capaz de modificar as características físicas da CCA, tais como a superfície específica e finura (RIGHI, 2012).

Conforme Cordeiro (2009), a moagem equivale a fragmentação de uma estrutura rígida, quando submetida a esforços mecânicos, empregados por elementos que levam a deformação das partículas, chegando a conferir maior compacidade à mistura. Dependendo do material a ser moído e do processo subsequente, essa moagem pode ser realizada a seco, ou a úmido.

A fim de atender a finura adequada para o uso como adição, as CCA precisam passar por um processo de beneficiamento após a queima, pois as dimensões são praticamente as mesmas de antes da queima (RIGHI, 2012).

Prudêncio Jr (2002) comprovou que, quanto mais tempo de moagem, a pozolanidade também aumenta devido ao tamanho da partícula que se torna menor. No entanto, em moagens prolongadas esse efeito não se mantém, atribuindo ao a dificuldade na dispersão dessas partículas muito finas na argamassa.

A finura da CCA influencia a sua reação com a água. Normalmente, quanto menor a granulometria do cimento, mais rapidamente ele reagirá. No entanto, existem limites para a redução da granulometria, devido ao calor de hidratação; com isso, partículas menores do que 45  $\mu\text{m}$  são difíceis de hidratar, e aquelas maiores do que 75  $\mu\text{m}$  nunca se hidratam completamente. A incorporação de CCA, ao concreto, provoca um aumento significativo na resistência à compressão, devido ao refinamento dos poros e dos grãos e pela melhoria na microestrutura da zona de transição (SILVA, 2007).

Prudêncio e Santos (1996) confirmaram que o índice de atividade pozolânica (PII) do CCA residual aumenta com o tempo de moagem (expansão da área superficial específica), até 4 horas. Depois disso, embora a área de superfície específica tenha continuado a aumentar, o índice diminuiu. Esta reação inesperada pode ser devido ao aumento da área superficial específica que torna mais difícil a dispersão das cinzas na argamassa. Os grupos finais formados pelas cinzas não podem reagir completamente com o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  liberado durante a hidratação do cimento.

Segundo Frizzo (2001), comparando as misturas com a mesma pozolana, cinza volante e cinza de casca de arroz, verifica-se que a finura aumenta, ao mesmo tempo que aumenta a resistência à compressão axial e reduz a permeabilidade média aos cloretos. Esse comportamento se deve ao aumento da finura dos aditivos minerais, que podem preencher melhor o grande espaço capilar, tornando a microestrutura da pasta e a impermeabilidade do concreto mais densa.

Pouey (2006) produziu diferentes cimentos com diferentes CCAs, que foram tratados fisicamente, termicamente e quimicamente. O autor afirma que em termos de resistência à compressão, o tratamento físico (redução do tamanho do grão) tem o maior benefício. O impacto do CCA no seu desempenho é óbvio, ou seja, dentro do limite testado de 4,55  $\mu\text{m}$ , quanto menor o tamanho da partícula, maior a pozolanidade do CCA e, portanto, maior a resistência à compressão do material compósito. Além disso, segundo o autor, parece haver padronização comportamental para cimentos menores que 50% 6  $\mu\text{m}$  obtidos no moinho Periquito. Quando o tipo de CCA e o tipo de tratamento utilizado não são considerados, o IAP de todos os CCA atingiu o limite mínimo estipulado pela norma brasileira e o cimento obteve bom desempenho.

Seguindo a mesma tendência, Cordeiro (2009) apontou que estudos de moagem de cinzas residuais de casca de arroz podem verificar que a moagem ultrafina é suficiente para fornecer ao material alta atividade pozolânica. No procedimento estudado pelo autor, na avaliação de métodos mecânicos e químicos, a moagem em moinho vibratório por 120 e 240 minutos resultou em cinzas com maior atividade pozolânica.

Portanto, o tempo de moagem afeta significativamente o cinza vulcânico do material, e há um tempo de moagem ideal para que o CCA alcance o cinza vulcânico máximo (RIGHI, 2012).

### 3.8 A INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE DIFERENTES TEORES DE SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO POR CCA

A crescente aceitação do CAA na construção civil tem estimulado a busca por novos materiais constituintes sob o critério de melhorar seu desempenho e / ou reduzir os elementos extraídos da natureza, com foco na adição de minerais. Muitas pesquisas brasileiras e estrangeiras demonstram a relevância do tema por integrar

suplementos já fornecidos ou por fornecer outras possibilidades decorrentes de resíduos de diferentes origens ou subprodutos gerados nas atividades industriais (FERRO, 2019).

Nesse sentido, um substituto potencial é a sílica da casca de arroz do CCA. É uma pozolana obtida pelo controle da combustão do carvão controlada da CA em leito fluidizado para produzir um material com alto grau de amorfo e qualidade homogênea (GOMES; MARTON, 2014). Ao demonstrar essas qualidades, além de uma maior área superficial específica (GOMES; BERTOLDO, 2016; Mendes et al., 2014), a utilização do CCA em concreto comum e de alto desempenho, como suplemento ou troca parcial por cimento Portland, alcançou resultados satisfatórios, melhorou a resistência à compressão e garantiu a durabilidade em ambientes agressivos. No entanto, existem poucos relatos sobre o efeito da presença deste material no desempenho do CAA no estado fresco e endurecido.

### 3.9 ARGAMASSA

Argamassas são materiais de construção constituídos por aglomerantes, agregados minerais e água, tendo como principais funções revestir e assentar elementos da construção em geral, como blocos de vedação, cerâmica, blocos estruturais (OLIVEIRA, 2009).

Segundo a ABNT NBR 12655 concreto fresco é o que está totalmente misturado e que ainda continua em situação plástica, capaz de ser adensado por um processo escolhido.

Há vários registros de uso de argamassas pelos egípcios, etruscos, gregos e romanos, mas acredita-se que as primeiras argamassas surgiram na Pérsia antiga, onde se usava alvenaria de tijolos secos, com assentamento de argamassas de cal (ROCHA, 2005). Vale destacar que durante o Império Romano, as argamassas se desenvolveram como sistema construtivo, sendo assim, utilizadas e aprimoradas.

Bezerra (2010) comenta que, no Brasil, as argamassas passaram a ser utilizadas no primeiro século de sua colonização, para assentamento de alvenaria de pedra. Este material é empregado no assentamento de alvenarias e na execução de revestimentos, logo, a argamassa deve ter as seguintes características: economia, poder de incorporação da areia, plasticidade, aderência, retenção de água, homogeneidade, compacidade, resistência à infiltração, à tração e à compressão e

durabilidade. Cada tipo de aplicação necessita diferentes características e propriedades correlacionadas aos materiais empregados.

As argamassas são ordenadas de acordo com sua finalidade em: argamassas para assentamento e argamassas para revestimento. Além disso, as argamassas possuem suas propriedades de acordo com o estado em que se apresenta, seja ele fresco ou endurecido (LEMES, 2013).

### 3.10 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

De acordo com Barros et al. Al. (2005) publicaram que no estado fresco e, portanto, no estado endurecido, o comportamento da argamassa pode mudar facilmente com uma proporção dos materiais constituintes. Na maior parte dos casos, suponha que o material constituinte é uma suspensão concentrada de partículas sólidas (agregados) e líquido viscoso (massa). De acordo com Turra (2016), essa concentração é geralmente considerada como um fluido e sua resistência ao fluxo é representada pela viscosidade.

No estado fresco, as principais características da argamassa são: consistência; trabalhabilidade; plasticidade; densidade de massa; capacidade de segurar água, quantidade de ar incorporado e adesão.

#### 3.10.1 Trabalhabilidade e Aspectos Reológicos da Argamassa

Barros et al. (1998), definiu processabilidade como um atributo da avaliação qualitativa. A argamassa utilizável deve permitir que a colher ou espátula penetre facilmente sem fluidez, mantenha a coesão durante o transporte, espalhe facilmente e não endureça rapidamente durante a aplicação na base.

Segundo o autor Carasek (2007), complementa esta definição, apontando que a trabalhabilidade é a característica das argamassas no estado fresco, podendo ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e completadas com as mesmas sem perder a uniformidade. Se a argamassa não tiver trabalhabilidade satisfatória e não puder ser garantida a sua correta aplicação, o desempenho do revestimento será prejudicado, pois a aplicação afetará diretamente várias propriedades do estado endurecido, como a aderência.

Esta é uma propriedade complexa que está interligada a combinação de várias outras características, que definem diretamente seus aspectos reológicos, como consistência e plasticidade. A importância de uma característica em relação a outra na descrição da trabalhabilidade de uma argamassa depende do seu tipo ou função (TURRA, 2016).

### **3.10.2 Consistência e Plasticidade**

A consistência é uma característica da argamassa interligada à trabalhabilidade, podendo ser quantificada por meio de índices. A norma NBR 13276 (2005) estabelece um método para determinação do índice de consistência da argamassa. A consistência tem relação proporcionalmente inversa com a deformação sob carga da, quanto maior a consistência menor é a deformação e vice-versa, sua influência é determinada pelas características da pasta aglomerante. Por exemplo, o uso de incorporadores de ar e cal pode aumentar esse desempenho até um certo limite.

Vários autores classificam as argamassas como secas de acordo com sua consistência, onde a pasta preenche as lacunas entre as partículas, de plástica, onde a pasta forma um filme e atua como lubrificante na superfície das partículas do agregado, e define como fluida, quando os grãos ficam aderidos a pasta (SILVA, 2006).

Por outro lado, a plasticidade é a característica que a argamassa tende a manter deformada após a retirada da tensão de deformação, sendo também afetada pelo tipo e quantidade de ligantes e agregados, pelo tempo e resistência da mistura e pela presença de aditivos (CARASEK, 2007 p. 874-877).

Segundo Bezerra (2010) em função da forma de aplicação e com a finalidade da argamassa, para alcançar a plasticidade adequada para cada situação, necessita de uma certa quantidade de água a fim de alcançar a plasticidade adequada para cada mistura, considerando a natureza dos materiais.

### **3.10.3 Retenção de Água**



A retenção de água é uma característica relacionada à capacidade da argamassa fresca em preservar a trabalhabilidade quando atende aos requisitos de perda de umidade por sucção da base e evaporação (CARASEK, 2007).

Após o endurecimento, a argamassa conta com retenção de água suficiente para que a reação química do endurecimento do ligante ocorra de maneira correta. Segundo Baía e Sabbatini (2008), assim como a consistência e a plasticidade, os fatores que afetam a retenção de água são as propriedades e proporções dos materiais que compõem a argamassa. A norma NBR 13277 (2005) estabeleceu método para determinação da retenção de água em argamassas

#### **3.10.4 Massa Específica e Teor de Ar Incorporado**

A massa específica tem conexão entre a massa de um material e seu volume. O teor de ar incorporado é a porção de ar presente em um determinado volume de argamassa (BAÍA; SABBATINI, 2008). Segundo Turra (2016), quanto mais leve a argamassa, mais prática ela é ao longo do prazo, o que minimiza o esforço dos trabalhadores em aplicá-la, aumenta a produtividade no final da jornada de trabalho. À medida que o conteúdo de ar aumenta, a massa específica relativa da argamassa reduz. Como resultado, a diminuição da resistência mecânica também é esperada. O teor de ar da argamassa pode ser aumentado por aditivos incorporadores de ar. A norma NBR 13278 (2005) constitui de métodos para determinação da densidade de massa e teor de argamassa fresca.

#### **3.10.5 Retração por Secagem**

Segundo Turra (2016), a retração ocorre porque parte da água de amassamento da argamassa evapora para o meio ambiente e na sucção é perdida para a camada de base, sendo consumida na reação de hidratação da argamassa cimentícia. A maior parte do encolhimento deve-se à secagem. Se secar lentamente, a argamassa tem tempo suficiente para atingir a resistência à tração necessária para suportar as tensões internas resultantes. No entanto, quando o clima está quente, seco e ventoso, a evaporação acelera e a perda de água causará rachaduras de retração.

A argamassa com alto teor de cimento é denominada argamassa “forte”. Além da possibilidade de descolamento no estado endurecido, a argamassa é mais suscetível a tensões e fissuras durante o processo de secagem. Por outro lado, as argamassas “mais fracas” apresentam menos fissuras (BAÍÁ; SABBATINI, 2008).

### 3.11 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Segundo a ABNT NBR 12655, concreto endurecido é que se situa no estado sólido e que criou resistência mecânica.

Tashima (2006) assegura que a utilização de elementos pozolânicos interfere nas características mecânicas de argamassas e concretos, auxiliando, principalmente, com o acréscimo da resistência à compressão, com a redução da permeabilidade e com aumento da durabilidade.

O desempenho da argamassa no estado endurecido é equivalente ao desempenho do próprio revestimento. A caracterização completa das propriedades da argamassa depende de sua interação com os materiais com os quais entrarão em contato (TURRA, 2016).

A seguir são mostradas algumas propriedades, dentre as mais importantes da argamassa no seu estado endurecido: aderência; capacidade de deformação; retração na secagem; módulo de elasticidade; permeabilidade; resistência mecânica e durabilidade.

#### 3.11.1 Aderência

Segundo Recena (2011, p. 49), adesão é a propriedade do revestimento de permanecer fixo no substrato, podendo resistir às tensões normais e tangenciais geradas na interface base-revestimento. Portanto, se não for especificado em qual material a argamassa será aplicada, a adesão da argamassa não pode ser considerada, pois a adesão é uma característica que depende da interação de dois materiais.

Além disso, segundo Carasek (2007), o mecanismo de aderência da argamassa ao substrato é essencialmente um fenômeno mecânico, principalmente

devido à penetração da argamassa nos poros ou entre a rugosidade da base de aplicação. Existem produtos da hidratação do cimento e da carbonatação da cal, que após um período de tempo ocorre precipitação no interior desses sedimentos capilares e irão ancorar a argamassa.

No Brasil, a norma NBR 13528 (1995) especifica a avaliação da resistência à tração de revestimentos de argamassas, também conhecida como resistência ao arrancamento, e o método permite a avaliação em laboratório e in loco.

A avaliação da aderência de revestimento pode ter finalidades diversas, que vão desde a comparação de diferentes composições ou traços de argamassas a trabalhos de campo, como por exemplo, diagnósticos de revestimentos com problemas patológicos (LEMES, 2013).

### **3.11.2 Capacidade de Absorver Deformações**

É a capacidade do revestimento de resistir ao estresse sem mostrar fissuras prejudiciais e sem perder a adesão. Segundo Baía e Sabbatini (2008), o revestimento é responsável por absorver pequenas deformações decorrentes de temperatura ou umidade.

A mesma argamassa cobre materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, como concreto armado e alvenaria de tijolo cerâmico, e deve absorver efetivamente as diferentes deformações produzidas por diferentes materiais em resposta às exigências causadas por constantes mudanças de calor e / ou umidade (Figura Pull, 2016).

Segundo Recena (2011), a habilidade de um material em concentrar esforços por deformações está relacionada ao seu módulo de elasticidade, podendo ser entendido como verificação de tração necessário para facilitar a comprovação da deformação da unidade de comprimento medida no corpo. Como todos lembramos, o módulo de elasticidade de um material corresponde à sua resistência à compressão. Portanto, materiais com alta deformabilidade, ou seja, baixo módulo de elasticidade, apresentam baixa resistência à compressão.

Segundo Baía e Sabbatini (2008), a capacidade da argamassa de absorver deformações também está relacionada às juntas de trabalho do revestimento. As juntas definem os painéis, dividindo-os em tamanhos menores, compatíveis com deformações. Isso ajuda a obter um revestimento livre de fissuras.

### 3.11.3 Resistência Mecânica

O desgaste superficial, o impacto e a retração por umidade térmica, a resistência mecânica, são características do revestimento, responsável por suportar a ação mecânica de diferentes propriedades (BARROS, 1998, p. 8). Esta característica aumenta à medida que diminui a proporção de agregado na argamassa, sendo inversamente proporcional à relação água / cimento e ao tipo de relação cimento / cal nas argamassas com dois ligantes.

As argamassas devem ter uma resistência mecânica compatível com o esforço que requerem. No assentamento de argamassas para alvenaria estrutural, a resistência à compressão é uma característica básica (SPRINGER, 2008).

A norma NBR 13279 (2005) explica o método para determinação da resistência à compressão da argamassa usada para assentamento e revestimento de paredes e tetos, no estado endurecido.

### 3.11.4 Permeabilidade e Durabilidade

Segundo Baía e Sabbatini (2008), a permeabilidade está relacionada à passagem da água por uma camada de argamassa, que é um material poroso que permite a penetração da água nos estados líquido e vapor. O revestimento deve evitar a penetração de água e ser impermeável ao vapor. Quando o revestimento racha, o caminho de penetração da água atingirá diretamente o fundo, o que afetará a estanqueidade da vedação.

A permeabilidade ocorre principalmente na zona de transição entre a pasta e o agregado. É bem sabido que devido aos diferentes efeitos entre a pasta de cimento e o agregado causado pela retração a seco, retração térmica e carga aplicada, acaba gerando uma zona de transição, sendo muito frágil e fácil de trincar (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A permeabilidade pode ser indicada pelo coeficiente de capilaridade, conforme ensaio da NBR 15259 (2005).

Durabilidade pode ser definida como capacidade de resistir a intempéries, ataque químico, abrasão ou qualquer outro mecanismo de degradação, mantendo sua

forma original, qualidade e usabilidade quando exposto ao meio ambiente (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Segundo Santos (2008), durabilidade é a característica que a argamassa tem de resistir ao ataque de meios e reagentes agressivos, mantendo suas propriedades físicas e mecânicas inalteradas ao longo do tempo e uso.

Segundo Lemes (2013), a durabilidade é uma característica do tempo de uso da argamassa no estado endurecido, que reflete a performance da argamassa em resistir aos efeitos do ambiente externo ao longo do tempo. Alguns fatores afetam a durabilidade da argamassa, tais como: fissuras, espessuras excessivas, cultivo e proliferação microbiana, qualidade da argamassa e falta de manutenção.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir dos propósitos definidos, foi preparado o programa experimental do trabalho onde, foram descritos os materiais, os equipamentos e os métodos experimentais usadas para o desenvolvimento da pesquisa.

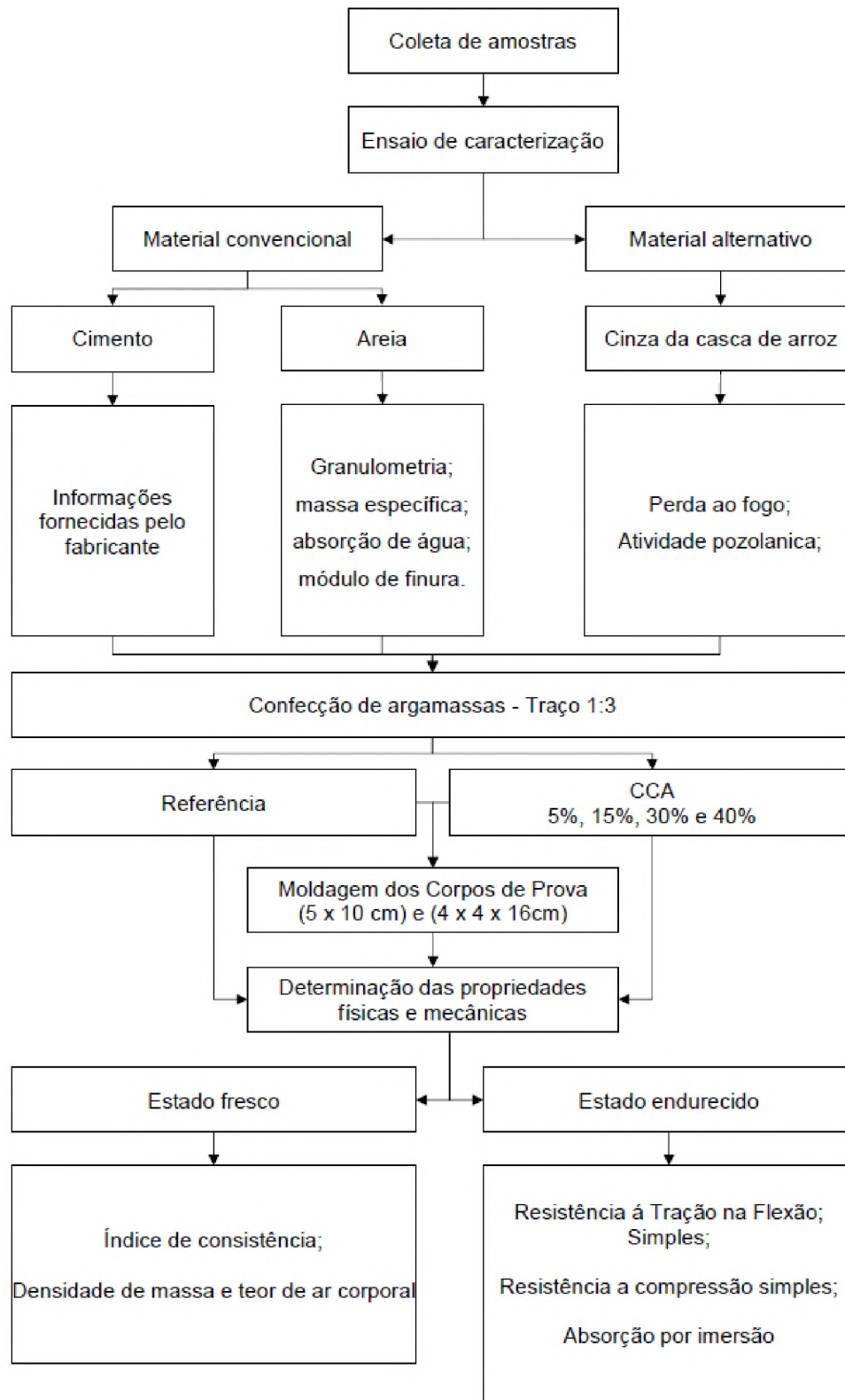
A pesquisa foi desenvolvida no período aproximando de um ano, sendo que o desenvolvimento em laboratório durou quase cinco meses, iniciando no dia 14/04/2021 e finalizando com o ultimo teste no dia 09/09/2021

O programa experimental foi realizado em cinco etapas, sendo elas:

- I. Descrever os materiais que foram utilizados no estudo.
- II. Caracterização da casca de arroz e agregado miúdo:
  - Mediante a determinação das propriedades físicas;
  - Verificar a atividade pozolânica.
- III. Implementação dos ensaios:
  - Dosagem dos traços;
  - Moldagem dos corpos de prova;
  - Cura dos traços.
- IV. Análise das características físicas da argamassa no seu estado fresco:
  - Ensaio de índice de consistência;
  - Densidade de massa;
  - Teor de ar incorporado.
- V. Análise das características físicas e mecânicas da argamassa no seu estado endurecido:
  - Análise do comportamento mecânico foi determinado resistência à tração e compressão simples;
  - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

Para promover a visualização da execução do programa experimental, a Figura 2 mostra esquematicamente todas as etapas para a realização deste.

Figura 02 - Programa Experimental



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

## 4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para confecção da argamassa foram:

### 4.1.1 Água de amassamento

A água empregada para a mistura da argamassa é originária da rede pública de distribuição de água da cidade de Ariquemes - RO, fornecida pela empresa Águas de Ariquemes.

### 4.1.2 Cimento Portland

O cimento Portland selecionado para confeccionar a argamassa foi CP IV da empresa Votorantim Cimentos, pois é um tipo de cimento Portland para uso geral. Seus atributos físicos químicas e mecânicas, são definidas pela NBR 16697 (ABNT, 2018). Na Tabela 2 estão as informações técnicas de acordo com informações fornecidas pelo fabricante. Assim, após adquirir o cimento, o mesmo foi devidamente acondicionado no laboratório de Engenharia Civil da Faculdade de Educação e Meio Ambiente, dentro de um saco plástico, para lacrá-lo melhor, tendo em vista à preservação de suas características durante o uso deste nos ensaios.



Tabela 02 - Composição do Cimento CP IV - Norma: NBR 16697

Ensaio			Limites de Norma	Análise do Cimento				
				Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	
Químicos	Teores (%)	Perda ao Fogo (PF)	≤ 6,5	3,2	0,3	2,9	4	
		Óxido de Magnésio (MgO)	N/E	2,5	0,2	2,3	2,7	
		Trióxido de Enxofre (SO <sub>3</sub> )	≤ 4,5	2,5	0,2	2,2	2,7	
		Resíduo Insolúvel (RI)	N/E	42	1,4	40,1	44,4	
Físicos e mecânicos	Finura(%)	#200	≤ 8,0	3,6	1,3	1,9	5,8	
		#325	N/E	12,9	2	7,6	16,1	
	Blaine	(cm <sup>2</sup> /g)	N/E	6756,2	486,9	6230	7670	
	Água de consist.(%)		N/E	33,8	0,1	33,5	33,9	
	Tempo Pega	Início (min)	≥ 60	145	5	140	155	
		Fim (min)	≤ 720	218,1	20,2	200	265	
	Expansib. a quente (mm)			≤ 5,0	0	0	0	0
	Resist. à Compr. (MPa)	1 Dia		N/E	0	0	0	0
		3 Dias		≥ 10,0	17,8	0,9	17	20,1
		7 Dias		≥ 20,0	25,7	1,7	24,1	29,8
28 Dias			≥ 32,0 ≤ 49,0	33,6	1,1	33	36,4	

Fonte: Empresa Votorantim.

#### 4.1.3 Cinza Da Casca Do Arroz

Para a pesquisa foi utilizada a CCA doada pela empresa Rical, e recolhida durante uma visita realizada em 14/04/2021 na cidade de Ji-Paraná-RO.

Toda a produção é beneficiada dentro do estado, produzindo uma enorme quantidade de resíduo de casca de arroz, não há estudo de impacto ambiental e nem o que é feito com o resíduo.

Existe algumas empresas como a Rical Industrial Em Beneficiamento E Armazenamento De Grãos, matriz situada na cidade de Ji-paraná-RO, a qual doou a CCA que utiliza como combustível para alimentar a Caldeira para produção de energia. A CA é queimada a uma temperatura média de 750 °C por aproximadamente

40 minutos, gerando resíduo da CCA com queima controlada Figura 3, e é doado para os mais diversos fins, sendo assim não tem um controle de destino final.

Figura 03 - CCA doada pela RICAL



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

#### **4.1.4 Agregado Miúdo - Areia**

Para a elaboração dos traços de argamassas foi utilizado como agregado miúdo areia do tipo média, de origem natural, proveniente mercado local do município de Ariquemes –RO a ser caracterizada em laboratório.

## **4.2 METODOS**

### **4.2.1 Recebimento materiais**

Após a obtenção, os materiais foram guardados no laboratório de Engenharia Civil da Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA, guardado dentro de sacos plásticos, para fechar melhor, pensando na manutenção de suas características durante o uso deste nos ensaios.

#### 4.2.2 Caracterização físicas do agregado miúdo

Foram realizados 2 ensaios para a caracterização do agregado miúdo.

##### 4.2.2.1 Granulometria

A caracterização granulométrica do agregado foi executada segundo o método recomendado pela NBR NM 248/2003: Agregados – Determinação da composição granulométrica como mostra a Figura 4.

Figura 04 - Caracterização granulométrica do agregado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

##### 4.2.2.2 Massa específica

Para o ensaio da massa específica empregou-se a recomendação da norma NBR NM 52/2009: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa

específica aparente. É de conhecimento que o frasco adequado para a execução correta do ensaio contém tampa, no entanto, a FAEMA não possui tal frasco com tampa, então optou-se pela substituição utilizando o frasco graduado que mais se aproximou do solicitado pela norma, Figura 5.

A Tabela 3 detalha a composição da areia.

Figura 05 - Determinação massa específica



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Tabela 03 - Composição Granulométrica da Areia e Massa Específica

Peneiras		Areia Média				Média de retirada (%)	% Retida acumulada
N°	mm	m1		m2			
		Peso retido (g)	% Retida	Peso retido (g)	% Retida		
8	2,36mm	88,76	17,70	90,65	18,14	17,92	17,92
16	1,8mm	117,31	23,39	123	24,62	24,01	41,93
28	600mm	130,42	25,99	133,14	26,65	26,32	68,25
35	425mm	47,44	9,46	46,82	9,37	9,42	77,66
48	300mm	79,08	15,77	73,89	14,79	15,28	92,94
100	150mm	34,77	6,93	29,72	5,95	6,44	99,38
Fundo	00mm	3,77	0,75	2,41	0,48	0,62	0,62
Total		501,45	100,00	499,63	100,00	100,00	398,70
Diâmetro máximo característico			1,18				
Módulo de finura			1,80				
Massa específica (g/cm³)			1,68				
Teor de umidade (%)			1,61				

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

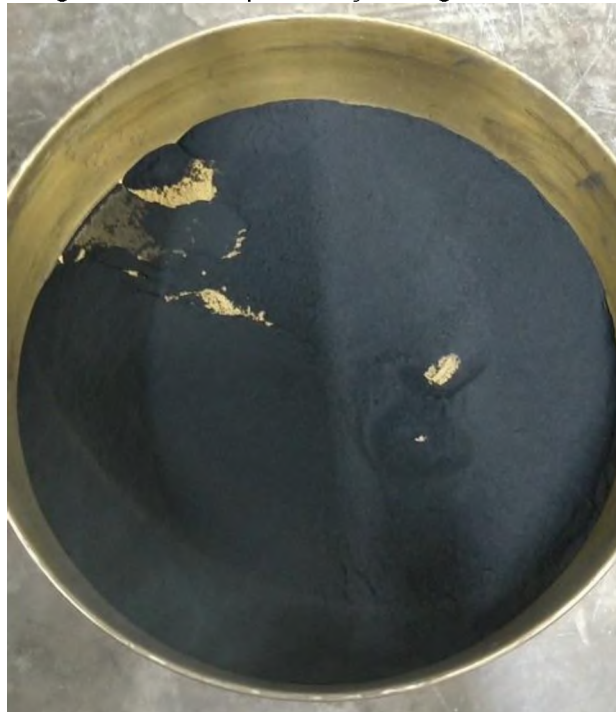
#### 4.2.3 Caracterizações físicas da cinza de casca de arroz

A CCA foi qualificada fisicamente através de análises conforme normas da ABNT, foram realizados 2 testes, sendo eles:

#### 4.2.3.1 Redução de Granulometria

Com o intuito de modificar o material in natura, heterogêneo, em cinzas finas de medidas mais homogêneas, foi feita a moagem do material. No laboratório de Engenharia Civil da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, a CCA foi seca em estufa em temperatura média de 105 °C por 24h, e esfriada à temperatura ambiente. Após a secagem do a CCA foi passada na peneira de malha ABNT #18, #35 e #50 para a retirada de prováveis impurezas, em seguida foi executada a redução de granulometria da CCA processando no Moinho de Facas tipo Willey (Macro), a uma rotação 1750 RPM (fixa), repetindo este processo por 3x consecutivas, por fim a CCA foi peneirada nas peneiras com abertura da malha de #0,600mm, #0,300mm, #0,150mm, e #0,075mm para chegar na granulometria adequada ao experimento.

Figura 06 - CAA após redução de granulometria



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Sabe-se que a adequada moagem da cinza até alcançar a granulometria desejada é feita utilizando-se de um moinho de bolas. No entanto, a FAEMA não

possui tal equipamento, então optou-se pela substituição utilizando o equipamento de moinho de facas Figura 7.

Figura 07 - Moinho de facas



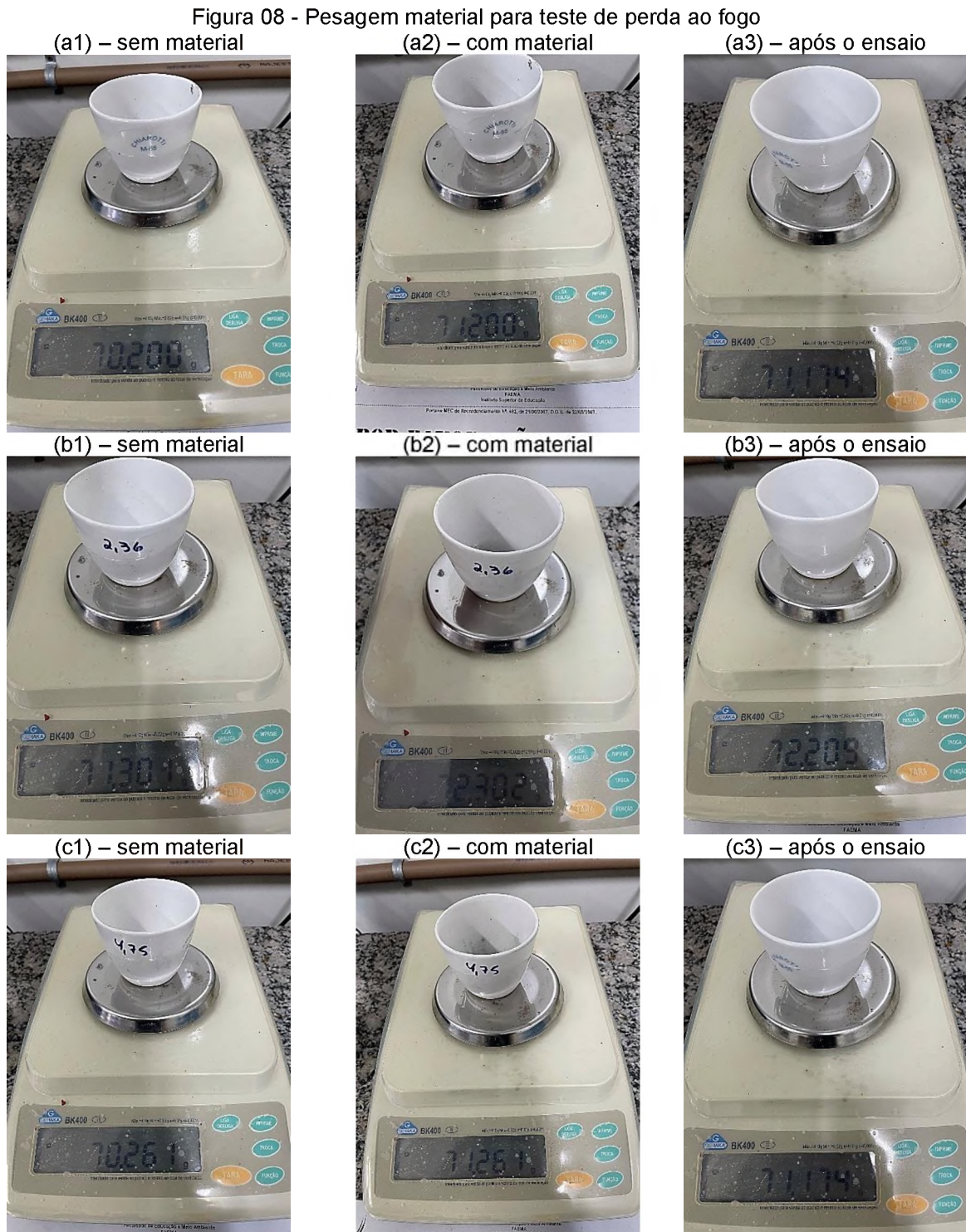
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

#### 4.2.3.2 Perda ao Fogo

Este teste mostra a quantidade de massa da amostra perdida ou decomposta quando a mesma é enviada a um ciclo térmico de aquecimento pré-determinado, em um forno ou mufla. Esta redução de massa está conexas com a água estrutural contida na amostra, e além disso com matéria orgânica que pode ser um contaminante da amostra (CCDM, 2021).

Segundo RIGH (2012) a perda ao fogo é definida pela variação gravimétrica pela queima à 1000°C em forno mufla por um tempo de 2 horas. Para a prática deste ensaio adotou-se as indicações da Norma NBR NM 18/2012: Cimento Portland – Análise Química – Determinação de perda ao fogo.

Inicialmente foram separadas três amostras da cinza de casca de arroz, com 1,0 (uma) grama em cada vasilha, conforme a Figura 8: (a1), (a2), (a3), (b1), (b2), (b3), (c1), (c2) e (c3).



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Após separação e pesagem, as amostras foram postas no forno Mufla por duas horas na temperatura de 1000°C, Figura 9. O ensaio foi efetivado no Laboratório de Engenharia Civil da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA.

Figura 09 - CCA antes e depois do ensaio  
 (a) – Antes do ensaio (b) – Após o ensaio

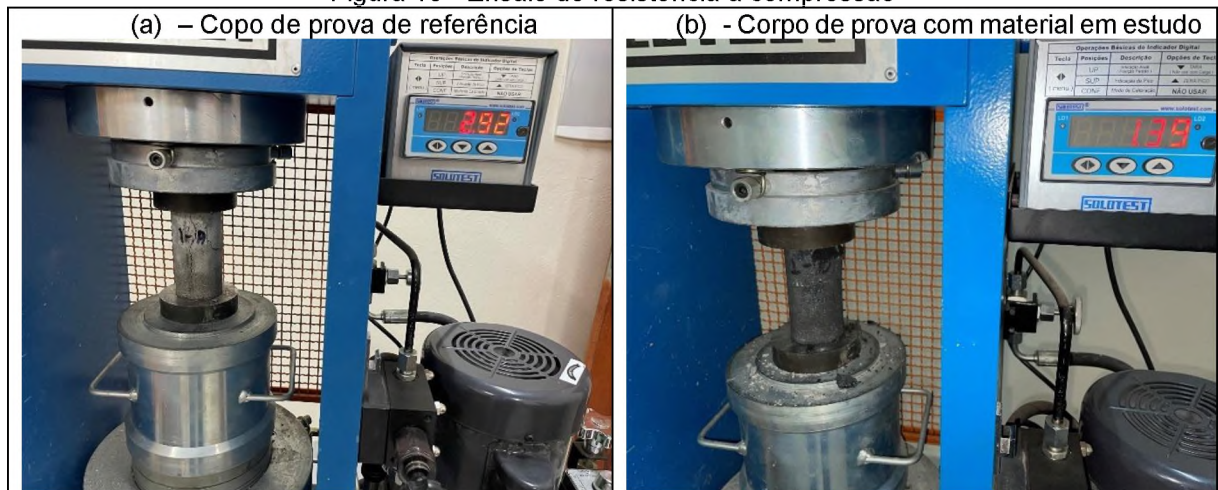


Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

#### 4.2.3.3 Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland

A atividade pozolânica é produzida pela semelhança entre a resistência à compressão da argamassa com o material em estudo e a resistência à compressão da argamassa de referência, Figura 10 (a) e (b).

Figura 10 - Ensaio de resistência a compressão



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

A atividade pozolânica da cinza de casca de arroz foi realizada de acordo os procedimentos estabelecidos na NBR 5752/1992: Materiais Pozolânicos – Determinação de Atividade Pozolânica com Cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com Cimento. Para essa prova foi empregado o cimento CP IV.



Após a produção da argamassa conforme as recomendações da NBR 5752/1992, foram realizadas as moldagens de 12 corpos-de-prova com dimensões de 5 x 10 cm conforme Figura 11, sendo 6 corpos de prova para cada traço, que ficaram por 24 horas dentro dessas formas. No dia seguinte, depois da desmoldagens dos corpos-de-prova estes foram postos dentro de recipientes com uma solução saturada de cal por 28 dias em temperatura ambiente.

Depois de 28 dias de cura, foram realizadas as rupturas dos mesmos durante a concretização dos ensaios de resistência à compressão axial utilizando-se uma prensa hidráulica marca SOLOTESTE. Este experimento foi alcançado no Laboratório de Engenharia Civil da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA.

Figura 11 - Corpo de prova para determinação da atividade pozolânica



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

#### 4.2.4 Dosagem e produção da argamassa.

Para o estudo foi idealizado a confecção de argamassa, e optou-se pelo traço de 1:3 (aglomerante:agregado), pois é o traço mais comumente utilizado na construção civil local, de maneira a reproduzir as obras, se for o caso, facilitar a prática das adições da CCA sem alterar o modo convencional ou tradicional já seguido e praticado no dia-a-dia pelos profissionais da região. Portanto, este traço foi adotado como padrão para executar as comparações de desempenho com a argamassa com substituições parciais do cimento pela CCA.

As substituições parciais de cimento pela CCA foram às proporções de 5%, 10%, 20% e 30%, foram trocadas na argamassa, designada nesta de argamassa de referência (sem adição).

A consistência dos traços das argamassas não foi fixada, e sim a relação de água cimento em 0,65, sendo essa a quantidade de água usada em todos os traços, independente da consistência final.

As argamassas foram produzidas no Laboratório de Engenharia Civil da FAEMA, seguindo-se as indicações da NBR 13276 (ABNT, 2005), na qual para a mistura (proporcionalmente), foi utilizada a argamassadeira mecânica, Figura 12. As etapas para a moldagem dos corpos-de-prova (CP's) iniciou ao pôr toda a quantidade de água na cuba de alumínio da argamassadeira, em seguida, foi acrescentado o cimento, a CCA (traços com substituições parciais do cimento pela CCA). A agilidade de mistura desses materiais no misturador foi baixa com duração de 30 segundos. Após, foi adicionado a areia no andamento de 30 segundos, aumentando a velocidade do misturador de baixa para alta, misturando-se todos os insumos por mais 30 segundos. Ao término do tempo, foi desligado o misturador por 1min e 30 segundos, retirando-se todo o material que ficou assentido à pá e às paredes da cuba. Prontamente, após este intervalo, o misturador foi ligado na velocidade alta por mais 1 minuto.

Figura 12 - Argamassadeira mecânica



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

## **4.2.5 Caracterização das argamassas no estado fresco**

### **4.2.5.1 Índice de consistência**

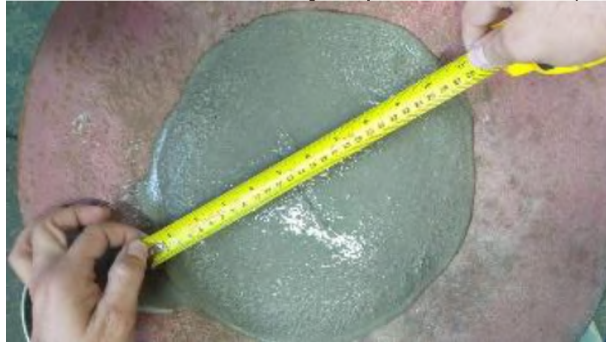
A quantidade de água necessária para as argamassas com a utilização de CCA, está inteiramente conexa com a percentagem de CCA empregado e conseqüentemente da superfície específica e configurações das partículas (DAL MOLIN et al., 2004 apud SOUZA, 2008).

De tal modo, primeiramente foi realizado ensaio para verificar o índice de consistência da argamassa de referência e comparar com as argamassas com substituição parcial do cimento por CCA, utilizando-se para isso o procedimento prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2005). Para este ensaio foi utilizada a mesa de consistência, além disso, conhecida como flow table, para obter o espalhamento da argamassa quando está disposta sobre o tampo através do movimento da manivela, de maneira que a mesa suba e caia 30 vezes, uma queda por segundo de modo uniforme.

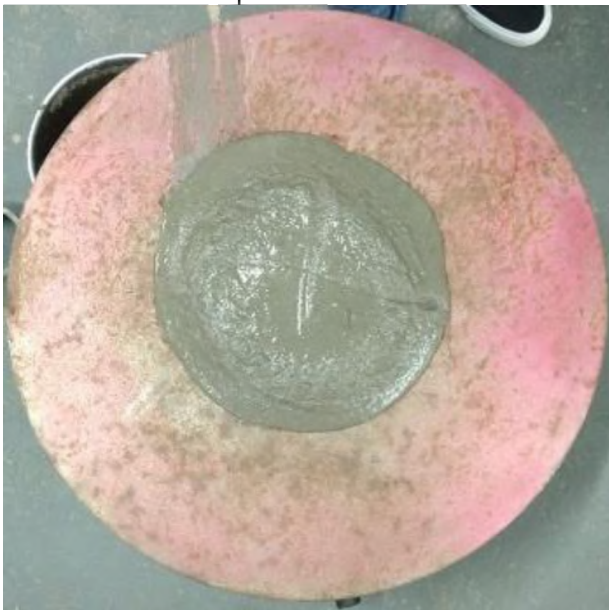
A consistência dos diferentes traços, foram medidas de modo a analisar a influência da CCA na consistência da argamassa, ou seja, fixou-se a relação de água cimento em 0,65 e não a de consistência da argamassa a ser atingida.

Para uma melhor visualização da influência da CCA na consistência na Figura 13 (a), (b), (c), (d) e (e), mostra a diferença de espalhamento entre a argamassa de referência e as argamassas com substituições parciais de 5, 10, 20 e 30% do cimento por CCA.

Figura 13 - Argamassas com teor de substituição do cimento de 0 a 30% por CCA  
(a) - Argamassa com substituição parcial de 0% (referencial)



(b)- Argamassa com substituição parcial de 5%



(c) - Argamassa com substituição parcial de 10%



(d) - Argamassa com substituição parcial de 20%



(e) - Argamassa com substituição parcial de 30%



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

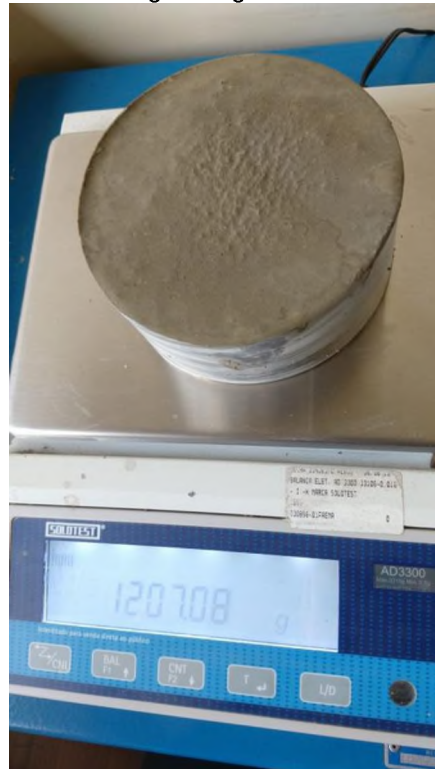
#### 4.2.5.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Para definir a densidade de massa e o teor de ar incorporado foi seguido os processos estabelecidos pela NBR 13278: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado (ABNT, 2005).

Executou-se este procedimento em todas as argamassas imediatamente após seu preparo, pondo em um recipiente cilíndrico rígido com volume aproximado de 400 cm<sup>3</sup> foi moldado em três camadas uniformes. Vinte golpes foram aplicados na argamassa ao longo de seu perímetro. Após o enchimento, o recipiente foi suspenso com uma altura de aproximadamente 3 cm e solto, repetindo este processo por 3 vezes para que não houvesse vazios entre a argamassa e a parede do recipiente. Por fim, a forma foi rasado com uma espátula, com movimentos de vaivém. Após este procedimento, a massa do molde foi pesada, Figura 14.

Tendo em presença que para encontrar o teor de ar agrupado, foi preciso calcular a densidade de massa da argamassa no seu estado fresco considerando o volume de vazios e a densidade de massa teórica da argamassa sem vácuos.

Figura 14 - Pesagem argamassa de referência



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

## **4.2.6 Caracterização das argamassas no estado endurecido**

Após ser feito a dosagem, produção e testes no estado fresco, as argamassas foram moldadas.

### **4.2.6.1 Moldagem e cura dos corpos de prova**

#### *4.2.6.1.1 Moldagem e cura dos corpos de prova Prismáticos*

Para que os testes mecânicos no estado endurecido pudessem ser executados, as argamassas foram moldadas de acordo com a norma NBR 13278 (ABNT, 2005): em formas metálicas prismáticas que contêm três subdivisões com dimensões de 4x4x16 cm, que possibilitou a moldagem de três corpos de amostra por vez.

Para cada tipo de traço foram moldados a quantidade de 12 corpos de prova prismáticos, que totalizou 60 corpos de prova.

Antes de pôr as argamassas nos moldes, os mesmos receberam uma leve camada de óleo mineral nas faces do interior para servir como desmoldante.

Prontamente após o preparo da argamassa, com o molde sobre à Mesa De Consistência Manual da marca Solotest como mostrado na Figura 15, foi colocado, diretamente, em cada compartimento do molde, uma quantidade de argamassa. Com a ajuda de uma espátula, realizou-se ao espalhamento da argamassa em cada cubículo, compondo uma camada uniforme. Em seguida, aplicou-se 30 quedas por meio da mesa de consistência. Após o adensamento da primeira camada, foi colocado a segunda camada de argamassa em cada compartimento do molde com o auxílio de uma espátula, realizou-se o espalhamento uniforme da argamassa, e aplicou-se novamente 30 quedas na mesa de consistência para adensar a argamassa nos moldes e por fim os corpos de provas foram rasados, ficando como mostra na Figura 16.

Figura 15 - Mesa De Consistência Manual



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Figura 16 - Molde corpo de prova após ser rasado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

#### 4.2.6.1.2 *Moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos*

Para o teste de Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, foram confeccionados 3 corpos de prova cilíndrico para cada traço, totalizando 15 corpos de prova.

Os corpos de prova são confeccionados em aço e tem as dimensões de 5x10cm.

Antes de pôr as argamassas nos moldes, foi passada uma fina camada de óleo mineral nas faces internas para servir como desmoldante, logo após foi colocado a argamassa nos recipientes com a ajuda da espátula, em quatro camadas de alturas

aproximadamente semelhantes, com cada camada dando 30 golpes uniformes e homogeneamente distribuídos com o soquete e por fim foram rasados, permanecendo como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Molde corpo de prova cilíndrico após se adensado e rasado.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Depois da moldagem dos corpos de prova, tanto os prismáticos quanto os cilíndricos, os mesmos ficaram por 24h em temperatura ambiente para a cura inicial, de modo a conseguir resistência o suficiente da argamassa para não os danificar na ocasião da desmoldagem no dia subsequente.

Após a desmoldagem os copos de prova foram identificados e submersos em solução saturada em cal e mantido até a data do ensaio.

#### 4.2.6.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

Este experimento foi executado de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005), para a execução do ensaio foram moldados 12 corpos de prova prismáticos de



cada traço, sendo utilizado 3 corpos de prova para cada idade, sendo elas 7, 14, 28 e 64 dias.

Sendo que primeiro foi feito o ensaio de Resistência à tração na flexão e em seguida, após o ensaio de compressão com o mesmo material como mostra as Figuras 18.

Figura 18 - Ensaio de Resistência à tração na flexão e ensaio de compressão com o mesmo material



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Para ensaio de resistência à tração na flexão inicialmente foi disposto o corpo de prova nos aparelhamentos de suporte do equipamento de ensaio de costume que a face rasada não ficasse em contato com os dispositivos de apoio e nem com o dispositivo de carga, logo após foi aplicado uma carga de  $(50 \pm 10)$  N/s até a ruptura do corpo de prova.

Para a execução do ensaio de resistência a compressão axial foram utilizados os meados dos corpos de prova do ensaio de flexão, foram posicionados no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio de modo que a face rasada não ficasse em contato com o dispositivo de apoio e nem com o dispositivo de carga e em seguida foi aplicado carga de  $(500 \pm 50)$  N/s até a ruptura do corpo de prova.

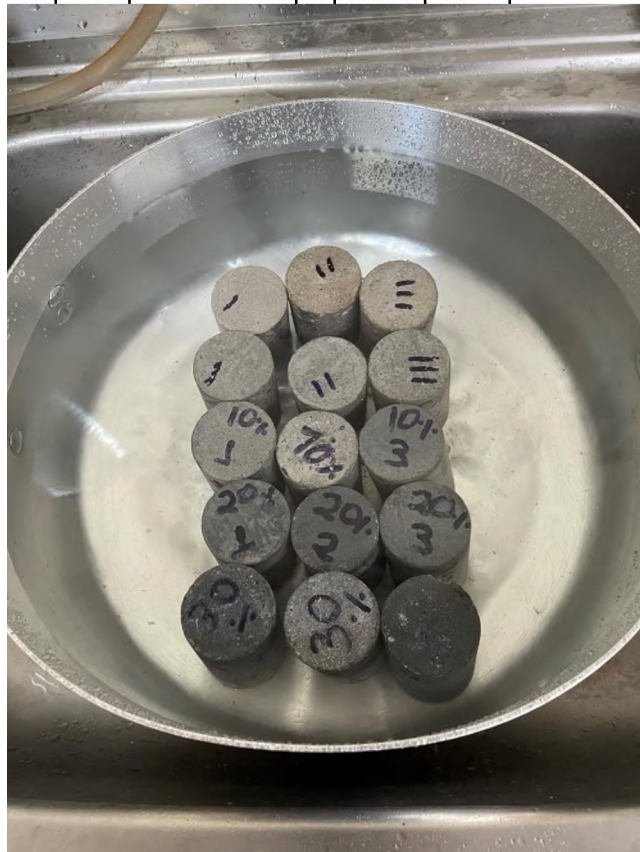
#### 4.2.6.3 Determinação da absorção de água, índice de vazios.

Este teste determina a absorção de água, dos índices vazios por imersão e fervura e foi feito conforme a norma NBR 9778 (ABNT, 2005).

Para a realização deste ensaio foram utilizados os corpos de provas cilíndricos, sendo 3 para cada traço e para todos os traços foi executado com a idade de 28 dias.

Completado 28 dias de idade os corpos de prova cilíndricos foram retirados da solução saturada em cal, secos com um pano e posto para secagem na estufa por 72h a uma temperatura de  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ , após as 72h foram determinadas e registrar a massa das amostras, logo após as amostras foram imergidas em água a temperatura ambiente e foram permanecidas por 72h nessa condição, depois deste momento foram depositadas em um recipiente cheio de água como mostra na Figura 19 e que foi levada a ebulição progressiva após 20min e foi conservada por um período de 5 h e com o volume de água sendo repostos toda vez que havia necessidade, após passado as 5 h, a água esfriou naturalmente até a temperatura ambiente, e por fim os corpos de prova foram retirados da água, enxugados com um pano úmido, determinado a massa pesando em uma balança.

Figura 19 - Corpo de prova cilindro preparado para aquecimento em imersão



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)..

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão exibidos os dados adquiridos nos ensaios experimentais descritos no capítulo 4, quanto à caracterização das cinzas de casca de arroz, como também ao comportamento de argamassas sem e com adições parciais de CCA, tanto no seu estado fresco, como no estado endurecido.

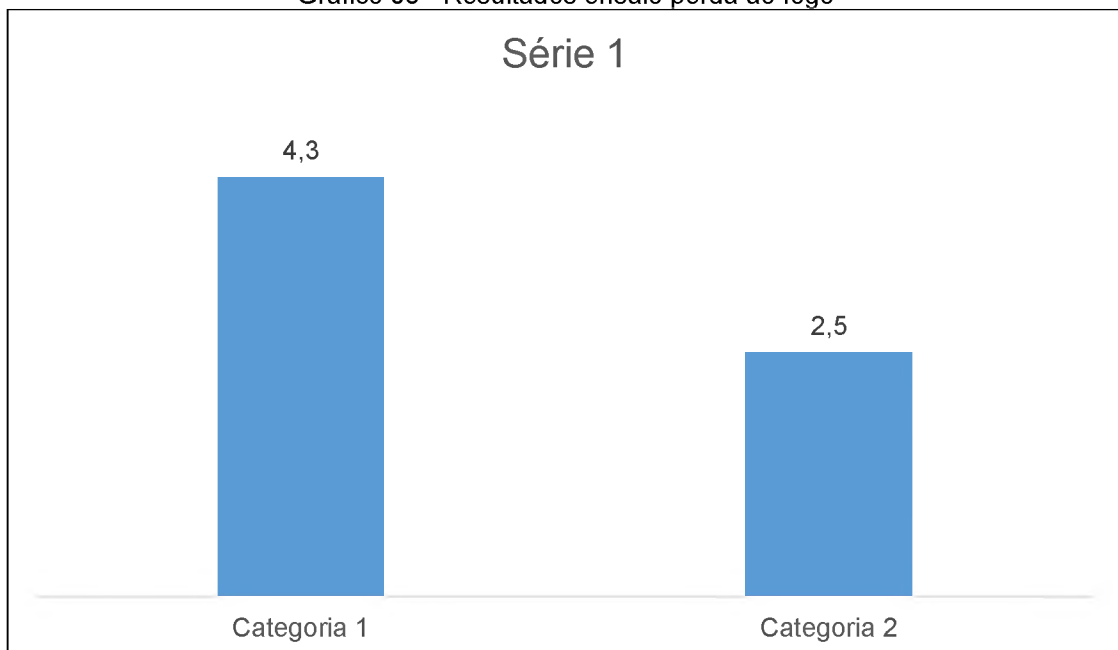
### 5.1 CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS DA CINZA DE CASCA DE ARROZ

#### 5.1.1 Perda ao Fogo

O Gráfico 3 exibe os resultados do ensaio para apuração da perda ao fogo, realizado de acordo com as recomendações da NBR NM 18/2012. Verifica-se que a CCA com queima controlada mesmo tendo um resultado de 8,80% de perda de material, que é próximo ao limite de 10%, permaneceu dentro do parâmetro aceitável estabelecido pela norma NBR 12653/2014.

Quantidades elevadas de perda ao fogo seja qual for tipo de amostra de material a ser utilizada em argamassas ou concretos pode comprometer reduzindo quantia de sílica e ainda em aumento de proporção de carbono contidos, e como consequência, diminuir a atividade pozolânica.

Gráfico 03 - Resultados ensaio perda ao fogo



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

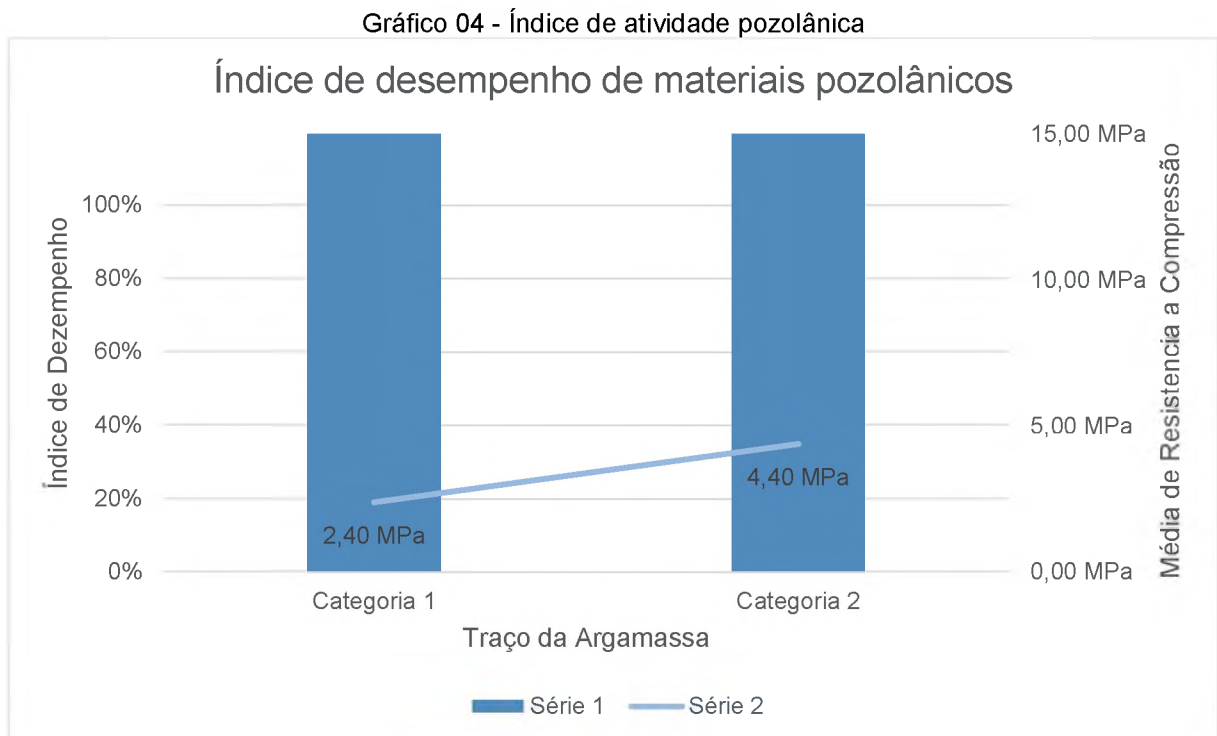
### 5.1.2 Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland

Os resultados dos testes de determinação da função pozolânica com o cimento Portland, adotando as orientações da norma NBR 5752/2014, os resultados encontram-se no Gráfico 4.

A argamassa de referência produzida para comparação com a CCA obteve resistência média, aos 28 dias, de 12,58 MPa.

Observa-se a partir desses resultados (Gráfico 4) que os índices de atividade pozolânica da CCA encontra-se em desacordo com a Norma NBR 12653/2014: Materiais Pozolânicos, sendo assim, a CCA obteve valor abaixo dos 90% estipulado pela norma, alcançando somente 6,95 Mpa de resistência.

Verifica-se que a CCA não ultrapassou a resistência da argamassa referência, ou seja, ficando com 55,22% da resistência necessária em relação a argamassa de referência, portanto, a cinza não é pozolânica ou é em baixa quantidade.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

### 5.2.1 Índice de consistência

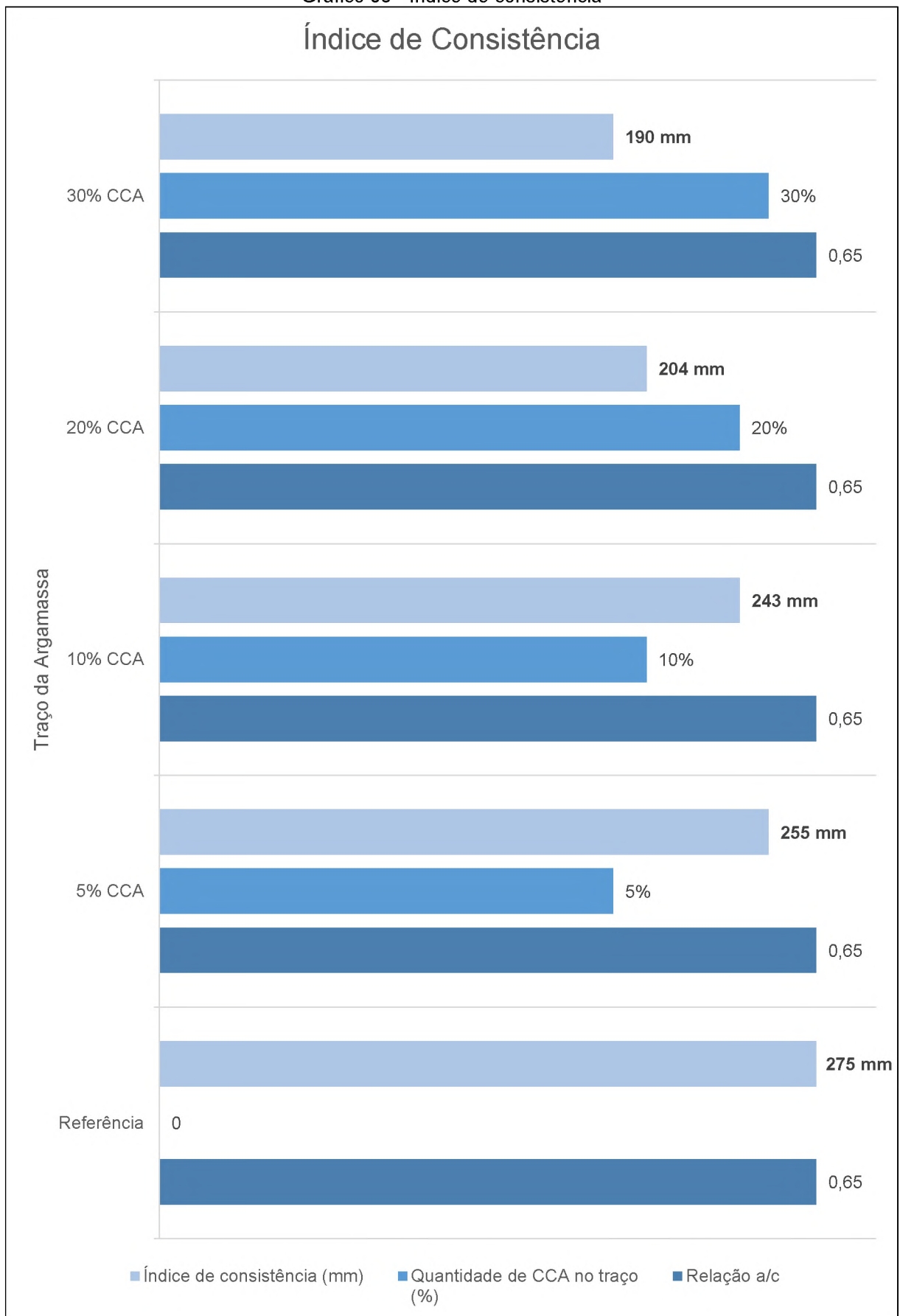
A fim verificar como a argamassa com CCA se comportaria utilizando a mesma relação de água/cimento que a argamassa convencional utiliza, foi fixado a relação água/cimento em 0,65, a fim de título experimental, sendo esta realizada de acordo com o ensaio de índice de consistência prescrita pela NBR 13276 (ABNT, 2002).

Após a realização do ensaio obteve-se a relação de consistência das argamassas para cada tipo de traço. Sendo assim, o Gráfico 5 apresenta a relação água/cimento e o índice de consistência de cada traço de argamassa.

Observado os resultados obtidos, no Gráfico 5 nota-se que a perda de consistência, conforme aumenta a porcentagem de substituição parcial do cimento por CCA, ocorrendo como previsto.

É de conhecimento que a granulometria da CCA é inferior aos grãos do cimento, sendo assim tem maior superfície específica que dos materiais aglomerante, ocasionando consumo maior de quantidade de água, indispensável para sustentar um abatimento específico.

Gráfico 05 - Índice de consistência



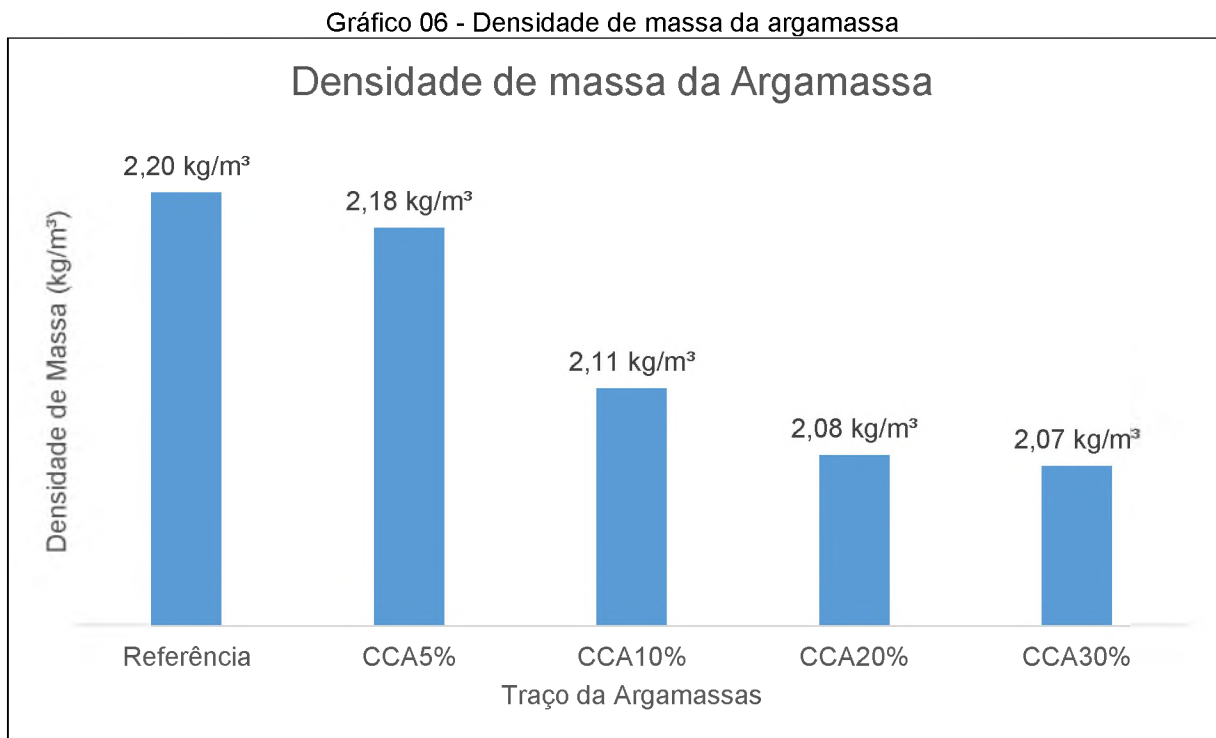
Fonte: Elaborado pelo Autor (2021)

### 5.2.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

No Gráfico 6 e 7, respectivamente, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios densidade de massa e do teor de ar incorporado para cada traço de argamassa obtidos no estado fresco.

O Gráfico 6 compara os dados da densidade das massas das argamassas com os diferentes traços, distribuídos em colunas, para melhor ilustrar os resultados.

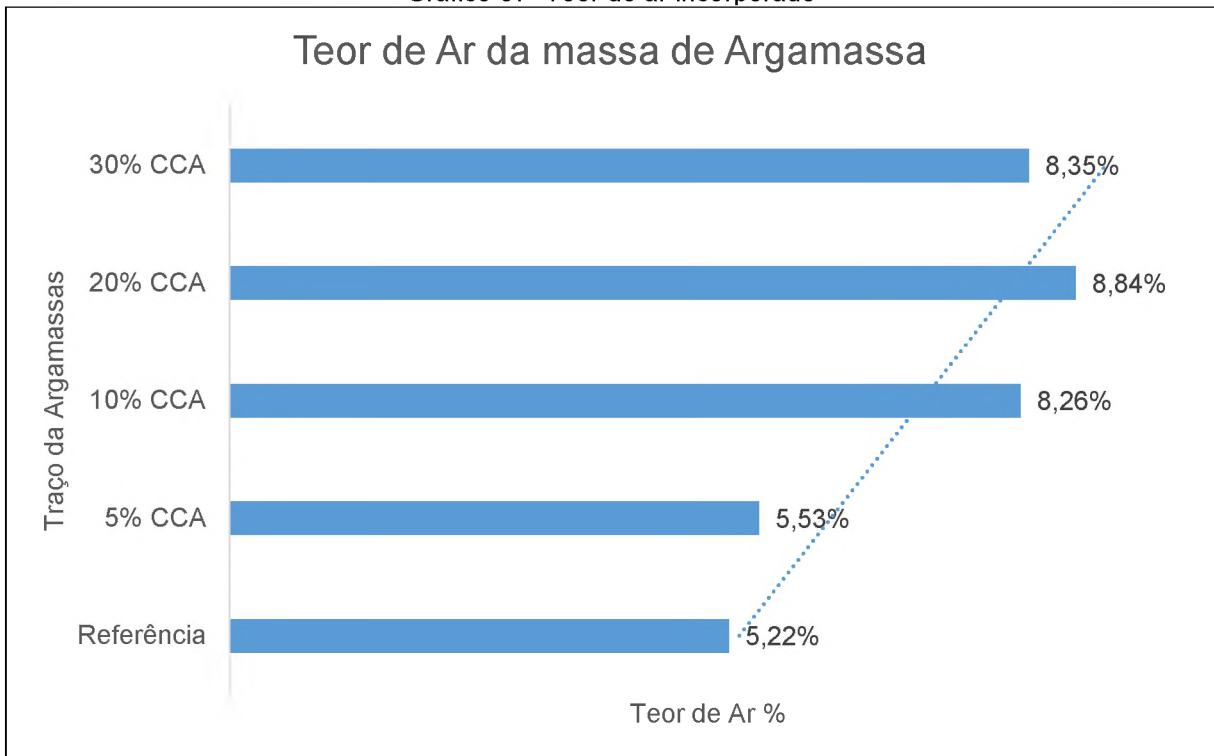
Analisando o Gráfico 6 nota-se que ocorre uma redução no valor da densidade da massa de argamassa. O traço das argamassas é 1:3 (cimento:areia), como a CCA tem a granulometria mais fina que a do cimento, levando assim a ser preenchido os vazios deixados pelo cimento.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

De acordo com resultados obtidos, no Gráfico 7, nota-se ao incorporar maior quantidade de CCA na troca com o cimento, maiores foram quantidades de teor de ar incorporado, ou seja, quanto maior a quantidade de CCA na massa da argamassa, maiores quantidade de ar que se incorpora.

Gráfico 07 - Teor de ar incorporado



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Os resultados obtidos por meio dos ensaios com as argamassas, tanto de referência quanto a com substituição parcial de cimento por CCA, validam que a densidade de massa e o teor de ar incorporado são duas características da argamassa que existe uma relação inversamente proporcional, pois, quanto mais reduz a densidade da argamassa, mais aumenta o teor de ar incorporado.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), que classifica as argamassas conforme o valor do teor de ar incorporado está classificado entre do tipo A e B, ou seja, apresentam teor de ar incorporado < 18.

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Vale destacar que para a eliminação de resultados fora do desvio padrão, os ensaios mecânicos no estado endurecido passaram por um tratamento de espúrio estatístico. Recordando mais uma vez que as results foram obtidas por meio de uma média aritmética de três corpos-de-prova.

#### 5.3.1 Resistência à tração na flexão e à compressão



### 5.3.1.1 Resistência à tração na flexão

Os resultados obtidos com os testes de resistência à tração na flexão da argamassa (1:3) de referência (sem acréscimo de CCA) e com acréscimo parcial de CCA, nas proporções de 5%, 10%, 20 e 30%, estão descritos no Gráfico 8 e 9, sendo que no Gráfico 8 os dados estão dispostos por idade de rompimento e no Gráfico 9 os dados estão dispostos por traço da argamassa.

No Gráfico 8 em que os resultados estão dispostos por idade de rompimento, é possível comparar a evolução de resistência à tração na flexão entre as argamassas tanto a de referência (sem acréscimo de CCA) e com acréscimo parcial de CCA, já no Gráfico 9 é possível comparar o desempenho da argamassa no decorrer dos 64 dias de idade, para os traços de argamassa de referência (sem acréscimo de CCA) e com acréscimo parcial de CCA, os rompimentos foram executados aos 7, 14, 28 e 64 dias de idade.

Ao analisarmos o Gráfico 8, verifica-se que no rompimento com idade de 7 dias da argamassa com traço de referência, obteve melhor resultado chegando a 11,88 MPa e opostamente os traços da argamassa que teve substituição parcial de 5, 10, 20 e 30%, teve o menor desempenho em comparação a argamassa de referência, sendo que a argamassa com substituição parcial de 30% teve uma performance de 4,52 MPa, que é equivalente a 38% de resistência à tração na flexão e à compressão,

Nos ensaios com idade de 14 dias, os teve uma alteração, onde o traço da argamassa com substituição parcial de cimento por CCA 5%, 10% e 20% teve desempenho melhor que a de referência, no entanto o traço de argamassa com CCA30% teve um desempenho um pouco menor em relação as demais.

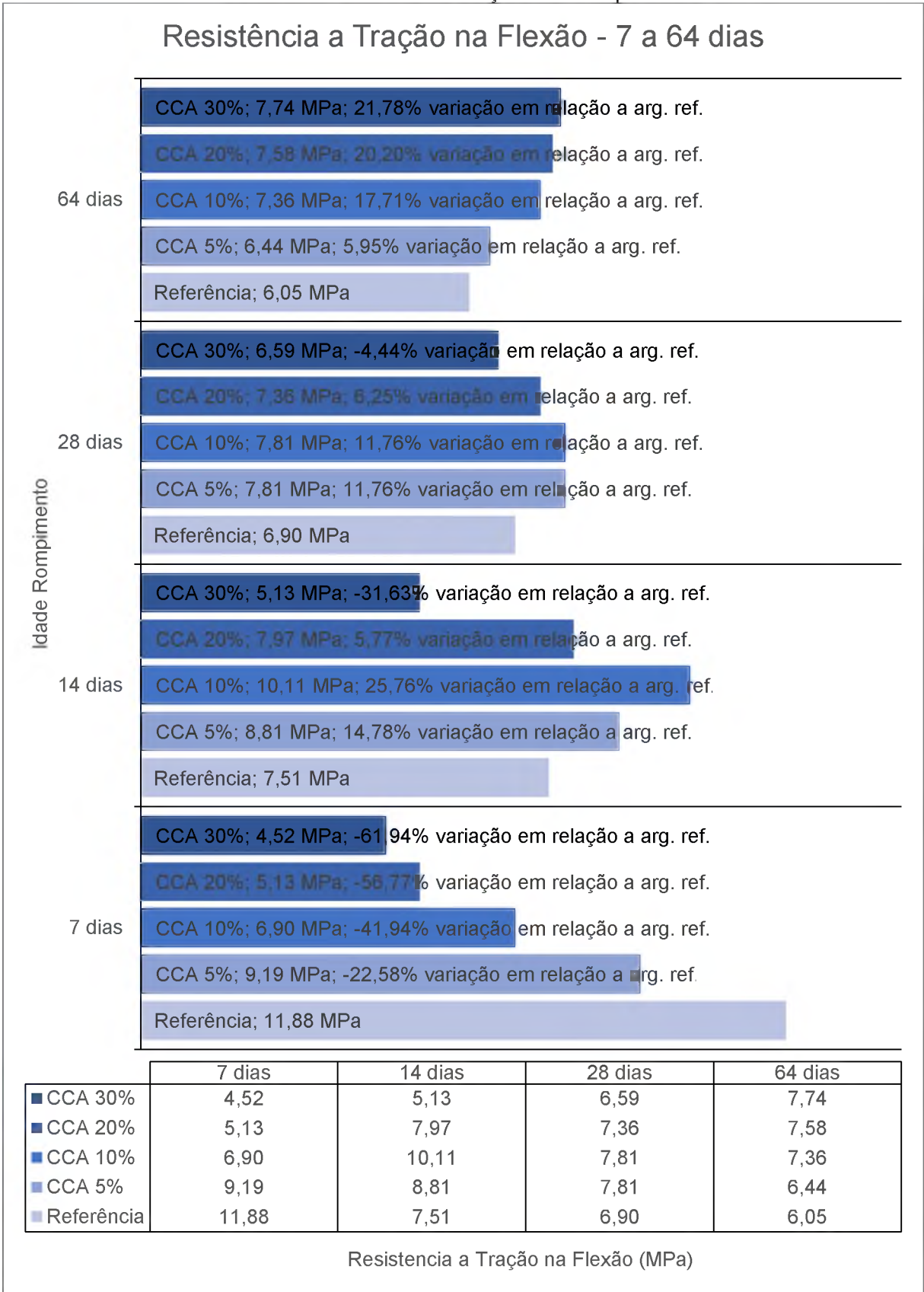
As resultantes dos ensaios com idade de 28 dias começam apresentar um nivelamento nas resistências, mesmo assim se repete o perfil de resistência dos ensaios com idade de 14 dias, no entanto com menores disparidades entre todos os traços de argamassa.

Por fim o rompimento com idade de 64 dias, o Gráfico 8 mostra claramente as alterações através das barras do gráfico, o traço que obteve melhor desempenho foi o com substituição parcial do cimento por 30% CCA, chegando a alcançar a média de 7,74 MPa, já no rompimento da argamassa com traço de referência a média de resistência à tração na flexão alcançou 6,05 MPa, ou seja, a argamassa com substituição parcial do cimento por 30% CCA obteve valor superior aos 27%.

Este comportamento, em relação a idade, está conforme dados da bibliografia Pouey (2006), pois em seus experimentos ela afirma que o fator idade é significativo e constata-se o crescimento da resistência com a idade, o que era esperado, quando comparadas as curvas de comportamento do fator Idade da argamassa com substituição e com a de referência, fica evidente a influência da presença da CCA e de sua atividade pozolânica.

Aos 28 dias, as resistências são praticamente iguais, mas aos 63 dias, na média, as argamassas com CCA superariam a referência isto se deve, principalmente, à reação pozolânica que só vai ocorrer após a hidratação do cimento, pois a CCA vai reagir com o CaOH (Hidróxido de cálcio) resultante desta hidratação. Enquanto isto não ocorre nas primeiras idades e como há menos cimento devido a substituição, é natural que nestas idades, a resistência da argamassa seja inferior à de referência.

Gráfico 08 - Resistencia a tração na flexão por idade



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

No Gráfico 9, ao ser analisado separadamente cada tipo de traço e a evolução de resistência, pode-se notar que a argamassa de referência teve pico de desempenho no rompimento com idade de 7 dias, no entanto com o passar dos dias, no ultimo rompimento, com idade de 64 dias o desempenho declinou praticamente pela metade, chegando a de 50,92% do desempenho do início.

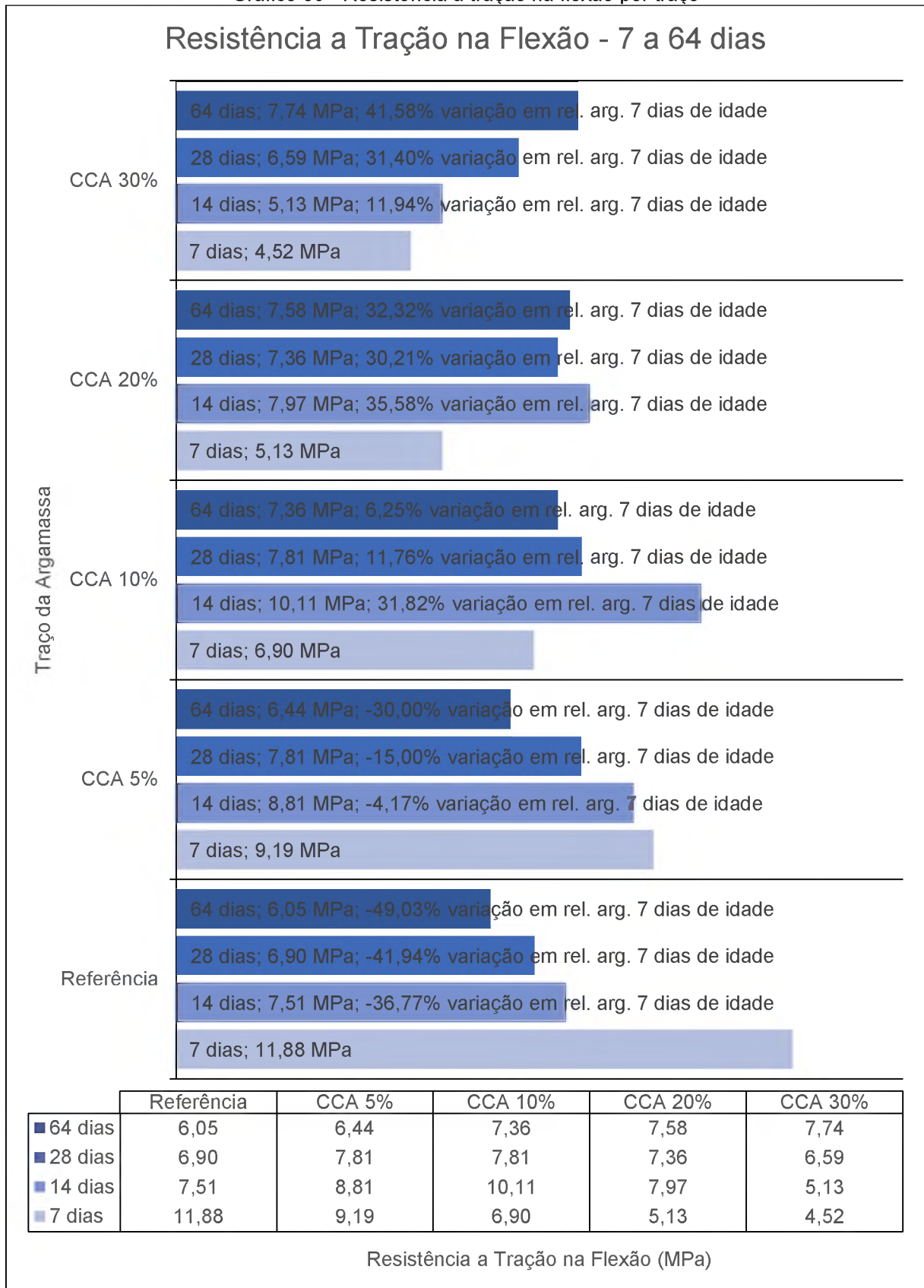
A argamassa com troca parcial de 5% do cimento por CCA, acompanhou do mesmo modo, um pico de desempenho inicial aos 7 dias de idade e declinando para 70,07% da resistência no rompimento de 64 dias de idade.

Já a argamassa com troca parcial de 10% do cimento por CCA, teve um desempenho baixo no rompimento com idade de 7 dias, um pico de resistência no rompimento com idade de 14 dias, chegando a 10,11MPa de resistência à tração na flexão, mas no rompimento de 64 dias declinou para 7,36MPa de resistência final, mesmo assim ficou 6,66% mais resistente que no que no rompimento com idade de 7 dias.

Ao analisarmos o desempenho da argamassa com troca parcial de 20% do cimento por CCA, começou com uma resistência inicial de 5,13MPa no rompimento com 7 dias de idade, no rompimento de 14 dias de idade teve um pico de 7,97MPa de resistência, más declinou no rompimento com idade de 64 dias, ficando com uma resistência de 7,58MPa, entretanto se comparar com a resistência inicial, obteve um ganho de 47,75% de resistência.

Por fim ao analisarmos o desempenho da argamassa com troca parcial de 30% do cimento por CCA, verificamos que resistência inicial de 4,52MPa aos 7 dias de idade é a mais baixa de todos os traços de argamassa, no entanto teve um ganho de resistência gradual e uniforme com o avanço da idade, no rompimento com idade de 14 dias a resistência aumentou 13,49% ficando com 5,13MPa de resistência, com 28 dias de idade a resistência aumentou para 6,59MPa, em relação ao rompimento de 14 dias de idade tem um ganho de 28,46% de resistência, no rompimento final que é com 64 dias de idade, alcançou 7,74MPa de resistência, comparando com a resistência inicial de 7 dias, aumentou 71,23% de desempenho final.

Gráfico 09 - Resistência a tração na flexão por traço



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

### 5.3.1.2 Resistência a compressão

Os resultados obtidos com os testes de resistência compressão da argamassa (1:3) de referência (sem acréscimo de CCA) e com acréscimo parcial de CCA, nas proporções de 5%, 10%, 20 e 30%, estão descritos no Gráfico 10 e 11, sendo que no Gráfico 10 os dados estão dispostos por idade de rompimento e no Gráfico 11 os dados estão dispostos por traço da argamassa.

No Gráfico 10 em que os resultados estão dispostos por idade de rompimento, é possível comparar a evolução de resistência à compressão entre as argamassas tanto a de referência (sem acréscimo de CCA) e com acréscimo parcial de CCA, já no Gráfico 11 é possível comparar o desempenho da argamassa no decorrer dos 64 dias de idade, para os traços de argamassa de referência (sem acréscimo de CCA) e com acréscimo parcial de CCA, os rompimentos foram executados aos 7, 14, 28 e 64 dias de idade.

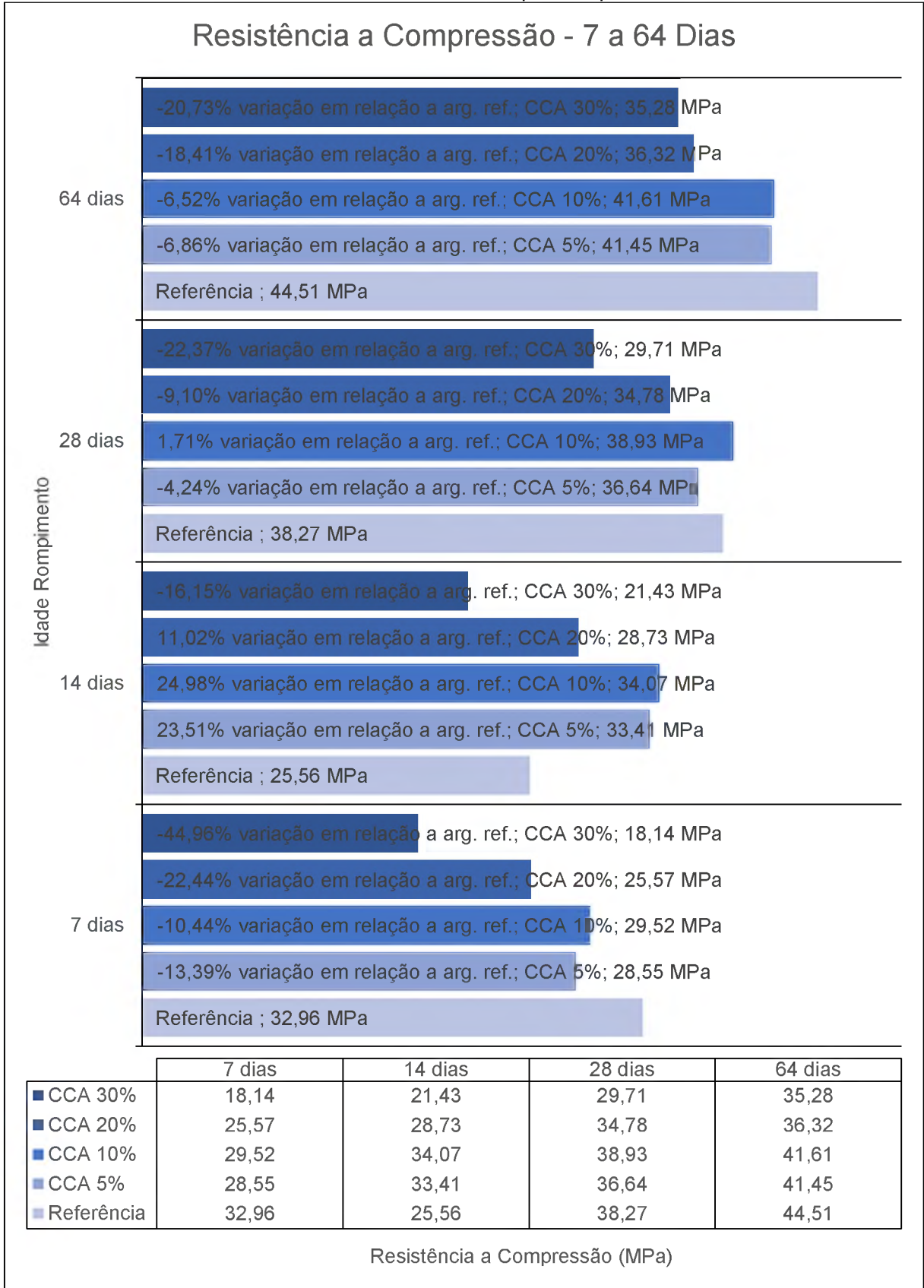
Ao analisarmos o Gráfico 10, verifica-se que no rompimento com idade de 7 dias da argamassa com traço de referência, obteve melhor resultado chegando a 32,96 MPa e opostamente os traços da argamassa que teve substituição parcial de 5, 10, 20 e 30%, teve o menor desempenho em comparação a argamassa de referência, sendo que a argamassa com substituição parcial de 30% teve uma performance de 18,14 MPa, que é equivalente a 55,03% de resistência à compressão.

Nos ensaios com idade de 14 dias, os teve uma alteração, onde o traço da argamassa com substituição parcial de cimento por CCA 5%, 10% e 20% teve desempenho melhor que a de referência, no entanto o traço de argamassa com CCA30% teve um desempenho um pouco menor em relação a todas.

As resultantes dos ensaios com idade de 28 dias começam apresentar um nivelamento nas resistências, mesmo assim se repete o perfil de resistência dos ensaios com idade de 14 dias, no entanto com menores disparidades entre todos os traços de argamassa.

Por fim o rompimento com idade de 64 dias, o Gráfico 10 mostra claramente as alterações através das barras do gráfico, o traço que obteve melhor desempenho foi o de referência, chegando a alcançar a média de 44,51 MPa, já no rompimento da argamassa com traço de substituição parcial do cimento por CCA com as proporções de 5, 10, 20 e 30% obteve desempenho pouco a menor que a argamassa de referência ficando com 41,45 MPa, 41,61 Mpa, 36,32 MPa e 35,28MPa nas respectivas ordens.

Gráfico 10 - Resistencia a compressão por idade



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

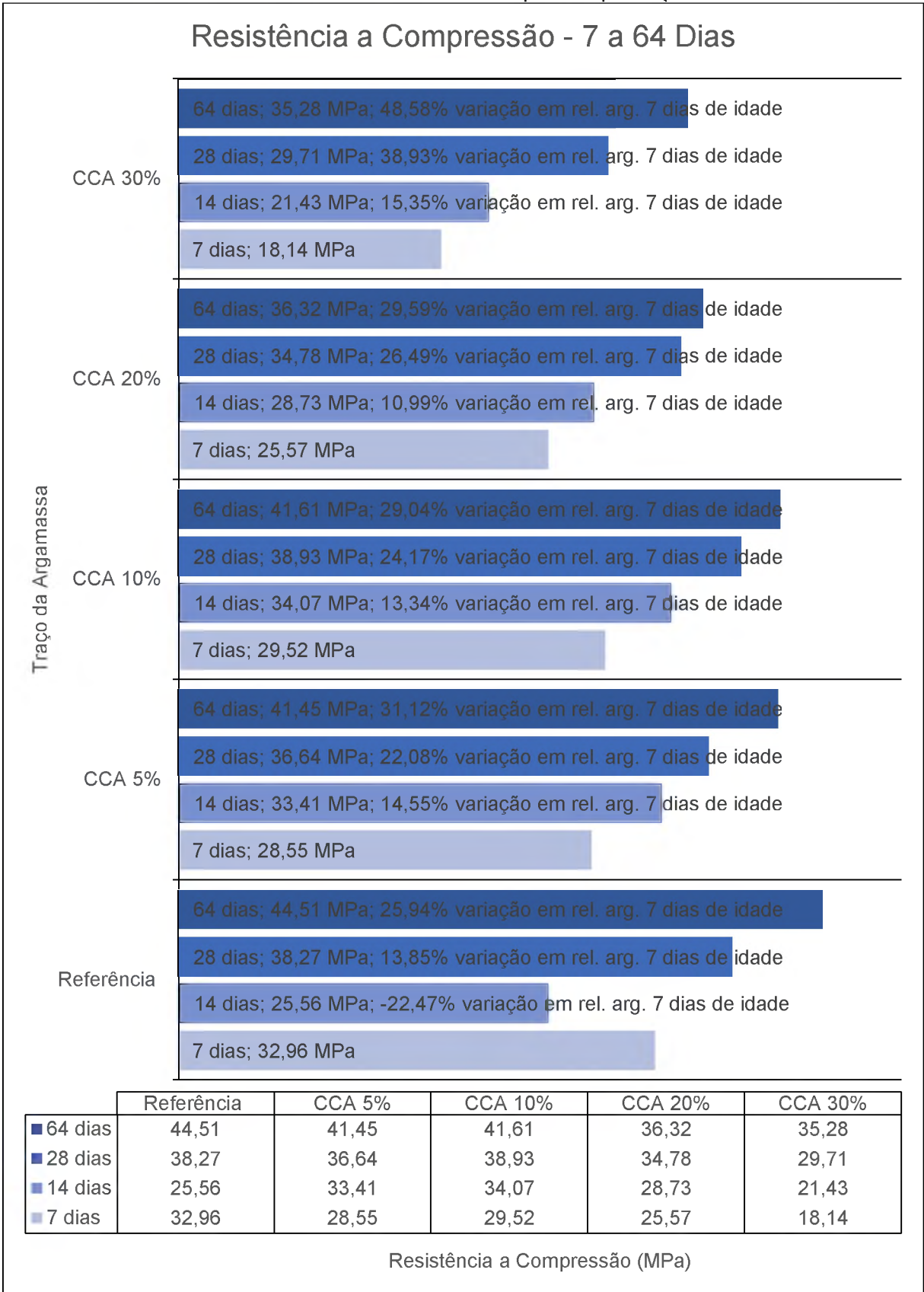
No Gráfico 11, ao analisarmos separadamente cada tipo de traço e analisarmos a evolução de resistência, podemos notar que tanto o traço de argamassa de referência (sem acréscimo de CCA) e com acréscimo parcial de CCA, nas proporções de 5%, 10%, 20 e 30% teve aumento de resistência gradual.

A argamassa de referência (sem acréscimo de CCA) obteve um aumento de 35,01% de resistência do rompimento com 7 dias de idade para o de 64 dias de idade, os traços com acréscimo parcial de CCA 5, 10, 20 e 30% obteve um aumento de 45,18%, 40,09%, 42,02% e 94,48% de resistência do rompimento com 7 dias de idade para o de 64 dias de idade.

Ao analisarmos as evoluções de resistência dos 5 traços de argamassa, o traço de argamassa com CCA30% é o que teve menor resistência final entre os 5 traços, ficando com 35,28 MPa com 64 dias de idade, mas em comparação ao valor inicial de resistência e o valor final, foi o que mais teve aumento de resistência final, chegando a 94,48%.



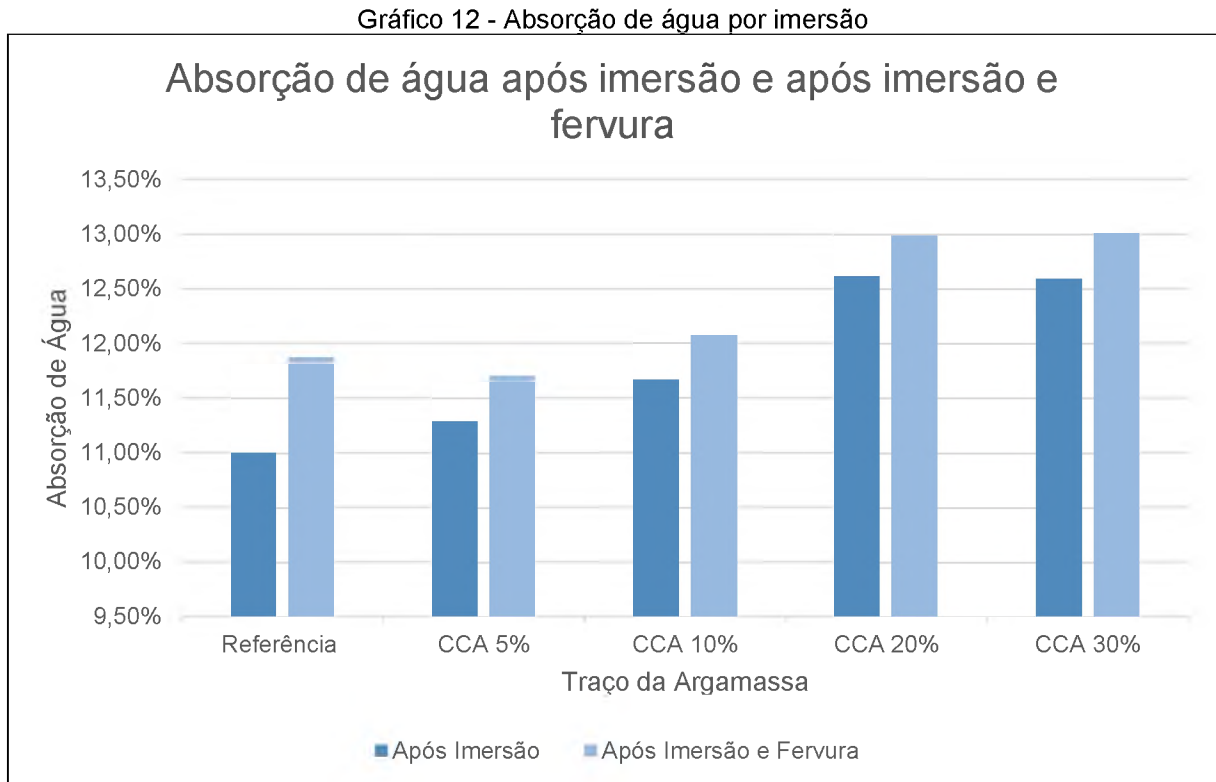
Gráfico 11 - Resistencia a compressão por traço



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

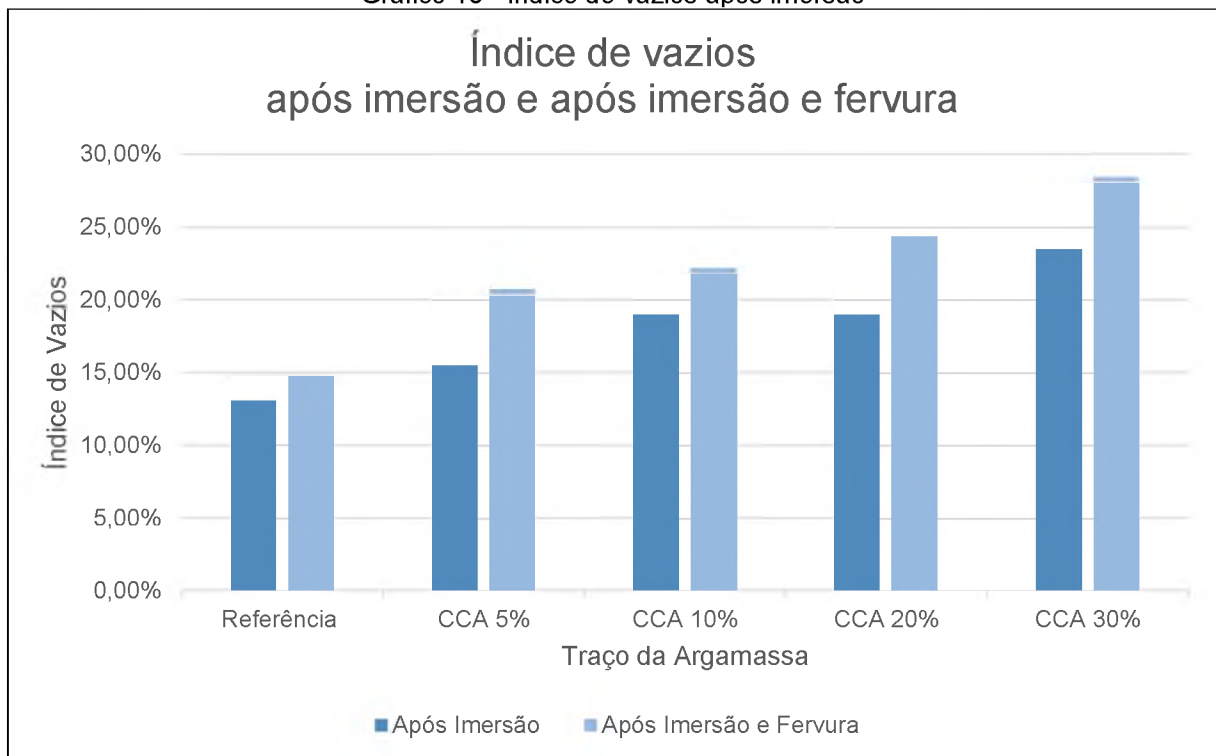
### 5.3.2 Determinação da absorção de água, índice de vazios

Os Gráficos 12 e 13 exibem os valores médios das determinações da absorção de água e índice de vazios, respectivamente, após imersão em água e após imersão e fervura, para cada traço de argamassa.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Gráfico 13 - Índice de vazios após imersão



Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

De modo geral, os valores de absorção de água e de índice de vazios mostram pouca dispersão, antes e depois da fervura. Analisando o Gráfico 12, verifica-se que houve uma semelhança entre todos os traços estudados, pois todos os traços obtiveram um acréscimo de absorção conforme se aumentou o teor de troca, de acordo com RIGHI (2012) possível que essa maior absorção é por não ter tido idade suficiente para que ocorram todas as hidratações necessárias dessas argamassas com materiais pozolânicos.

No Gráfico 13, nota-se que com a adição maior da porcentagem de CCA, resultou em um crescimento do índice de vazios. Suponha-se que essa reação é em função a este ensaio ter sido executado aos 28 dias de idade, pouco tempo hábil para total preenchimento dos vazios, é conhecido que as reações a cinza de casca de arroz têm um processo mais demorado.

## **6 CONCLUSÃO**

Será apresentado neste capítulo as conclusões obtidas através da incorporação por substituição parcial da cinza da casca de arroz nas proporções de 5, 10, 20 e 30% na argamassa.

### **6.1 CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS DA CINZA DE CASCA DE ARROZ**

#### **6.1.1 Perda ao Fogo**

Em relação à perda ao fogo, analisou-se que o valor encontrado para a CCA com controle de queima apesar da perda de material próximo ao limite a mesma permaneceu dentro do limite estabelecido pela NBR 12653/92 que é de 10% máximo de perda ao fogo, ficando com uma perda de 8,80%.

#### **6.1.2 Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland**

O índice de atividade pozolânica demonstrou que a CCA com controle de queima não possui atividade pozolânica, pois não atendeu a todos os requisitos da norma NBR 12653/1992. A CCA apresentou um índice de atividade pozolânica menor que 90% em relação a argamassa de referência, ficando com 55,22% da resistência necessária.

### **6.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO**

#### **6.2.1 Índice de consistência**

Para o índice de consistência notou-se perda de trabalhabilidade com o aumento do teor de substituição do cimento por CCA. Isso ocorreu porque se manteve fixa a relação água/cimento e ou cinza,

#### **6.2.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado**

Para a densidade de massa observou-se que as argamassas com CCA apresentaram desempenho menor que a argamassa de referência, pelo motivo da relação água-cimento e ou cinza. De acordo com a NBR 13281 (NBR, 2005) a classe da argamassa em função da densidade da argamassa no estado fresco varia de D1 a D6 com variação da densidade entre  $\leq 1400 \text{ kg/m}^3 > 2000 \text{ kg/m}^3$ , sendo assim as argamassas, incluindo a de referência, classificou-se entre D5 e D6.

Com relação ao teor de ar incorporado observou que quanto maior a taxa de substituição de cimento por CCA, maior é a taxa de ar incorporado na argamassa, pois quanto menor a densidade de massa, maior o teor de ar incorporado na argamassa.

### 6.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

#### 6.3.1 Resistência à tração na flexão e à compressão

##### 6.3.1.1 Resistência à tração na flexão

Para os testes de resistência a tração na flexão, observou-se que no final, o rompimento com 64 dias de idade, quanto maior a substituição de cimento por CCA, maior foi a resistência.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas de referência (sem acréscimo de CCA) e com acréscimo parcial de CCA, nas proporções de 5%, 10%, 20 e 30%, seriam classificadas como R6.

##### 6.3.1.2 Resistência a compressão

Quanto a resistência a compressão, analisou-se que de maneira geral as argamassas com acréscimo parcial de CCA, nas proporções de 5%, 10%, 20 e 30%, apresentaram resistência menores nas primeiras idades, visto que, neste período, as reações ocorrem de forma mais lenta. Contudo, em idades mais avançadas, houve evolução na resistência final, mesmo não passando a resistência da argamassa de referência (sem acréscimo de CCA), obteve uma boa resistência, até mesmo a argamassa com maior teor de substituição de cimento por CCA na proporção de 30%, alcançando na idade de 64 dias, 35,28MPa de resistência a compressão.

### 6.3.2 Determinação da absorção de água, índice de vazios

Com relação aos testes de absorção de água, índice de vazios, constata-se que quanto maior o teor de troca de cimento por CCA, maior a absorção e índice de vazios, provavelmente em função dos testes terem sido feito com idade de 28 dias e não houve tempo hábil para a hidratação das argamassas com CCA, pelo fato de que, com o transcorrer do tempo de cura, há uma arrumação maior das partículas (efeito de acondicionar).

## 6.4 CONCLUSÃO FINAL

Através deste trabalho pode-se verificar que com medidas simples há solução para no mínimo dois problemas ambientais, sendo elas a redução de extração de materia prima base para a produção de Cimento Portland e a destinação adequada para os resíduos gerado pelo cultivo do arroz, sendo assim, de forma geral, a contribuição do resíduo já se torna significativa apenas pelo fato da substituição do Cimento Portland por um material que seria descartado como rejeito, e contribuiu para o desempenho mecânico da argamassa.

Por meio do ensaio de determinação da atividade pozolânica, verificou-se que a CCA não é pozolânica ou é em baixa quantidade, atribui-se o resultado insatisfatório, ao fato que a norma estipula uma quantidade de água que acaba sendo insuficiente, pois minerais com elevada área específica tendem a demandar maior volume de água, após influenciando negativamente na resistência à compressão da argamassa.

Atribui-se o desempenho das argamassas com CCA às idades avançadas ao comportamento pozolânico do resíduo. Acredita-se que como resultado da reação pozolânica os vazios capilares foram eliminados ou reduzidos em tamanhos, pois materiais pozolânicos precisam de mais tempo para a sua cura total, por este motivo a argamassa com 30% de substituição de Cimento Portland por CCA com idade de 63 dias obteve bons resultados no ensaio de resistência a compressão, tendo como resultado resistência dentro da média estipulada em norma.

Nota-se que, de modo geral, a presença da cinza da casca de arroz utilizada no teor de até 30% é capaz de produzir resultados semelhantes a argamassa convencional no que se diz respeito às propriedades mecânicas. Essa quantidade

empregada pode ser uma opção viável em aplicações nas quais não haja necessidade de uma grande resistência nos primeiros dias. Sendo necessários mais estudos para avaliar com mais propriedade o desempenho da CCA na argamassa.

## **7 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

Levantar capacidade de produção, resíduos gerados e destino final anualmente do arroz no estado de Rondônia

Verificar economicamente se é viável o gerenciamento, e aproveitamento da cinza da casca de arroz como produto comercial.

Propor que sejam realizados ensaios de Difração de Raios-X (DRX), Espectrometria de Raio X (EDX) e Distribuição Granulométrica na cinza da casca de arroz.

Verificar o desempenho de absorção de água e índices de vazios em idades mais avançadas.

Por fim propor o estudo das CCAs com a utilização de superplastificante, tendo em vista que neste estudo, houve redução na trabalhabilidade, em função, da relação água/aglomerante ter sido fixada para todos os traços estudados.

## REFERÊNCIAS

- ABRÃO, P. C. R. A. **O uso de pozolanas como materiais cimentícios suplementares: disponibilidade, reatividade, demanda de água e indicadores ambientais**. 2019. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-26032019-084557/publico/PedroCesarRodriguesAlvesAbraoCorr19.pdf>>. Acesso em: 24 de agosto de 2021.
- ALVES, N.J.D. **Avaliação dos Aditivos Incorporadores de Ar em Argamassas de Revestimento**. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2002.
- ALVES, S. M. S. **Desenvolvimento de compósitos resistentes através da substituição parcial do cimento por resíduo da indústria cerâmica**. Universidade Federal da Paraíba. Dissertação de Mestrado. João Pessoa, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento*. ABNT. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 18:Cimento Portland – Análise Química – Determinação de perda ao fogo**. Rio de Janeiro, 2012.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. ABNT. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1992.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5752: Materiais Pozolânicos – Determinação de Atividade Pozolânica com Cimento Portland – Índice com Cimento**. Rio de Janeiro, 1992.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para Concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. ABNT. Rio de Janeiro, 2019.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. ABNT. Rio de Janeiro, 2005.



\_\_\_\_\_. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção da água por capilaridade – Método de ensaio.** ABNT. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 12653: Materiais Pozolânicos - Especificação.** Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.** ABNT. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** ABNT. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.** ABNT. Rio de Janeiro, 2005

\_\_\_\_\_. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** ABNT. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** ABNT. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** ABNT. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.** ABNT. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração.** ABNT. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação.** ABNT. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** ABNT. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos.** ABNT. Rio de Janeiro, 2018.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (IEA), 2020. **Relatório de rastreamento – CIMENTO.** Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/cement#>>. Acesso em: 25 de abril de 2021.

ANGEL, J. D. M., Vásquez, T. G. P., Junkes, J. A., Hotza, D. (2009). **Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado**. *Química nova*, 32(5), 1110-1114.

BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa**. 4 ed. São Paulo: Nome da Rosa, 2008.

BARBOSA, M. B. et al. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas do CAD com resíduos de borracha de pneu e cinza de casca de arroz de diferentes composições morfológicas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., 2006, Anais... IBRACON, 2006.

BARROS, M. M. S. B.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G.; SILVA, R. P. **Avaliação do Comportamento da Argamassa no Estado Fresco Através dos Métodos de Mesa de Consistência, Dropping Ball e Squeeze Flow**. In: **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 6, Florianópolis. Anais Eletrônicos... Florianópolis: ANTAC, 2005. Disponível em: <<http://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/240>>. Acesso em: 23 agosto de 2021.

BARROS, M. M. S. B.; MACIEL, L. L.; SABBATINI, F. H.; **Recomendações para a Execução de Revestimentos de Argamassa para Paredes de Vedação Internas e Exteriores e Tetos**. São Paulo: EPUSP-PCC, 1998.

BARSOUM, M.W., GANGULY A., **Microstructural Evidence of Reconstituted Limestone Blocks in the Great Pyramids of Egypt**. *Journal American Ceramic Society*, 2006.

BEZERRA, I. M. T. **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento**. Dissertação (Mestrado) – Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

BEZERRA, Izabelle M. T. et.al. **Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento**. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.15, n.6, p.639–645, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n6/v15n06a15.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2020.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, IBRACON, 2007.

CCDM. Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais. Desenvolvido através de parceria entre a UFSCar e UNESP. **Ensaio Tecnológico em Materiais Cerâmicas. Análises Físicas e Caracterização de Materias-Primas**. Perda ao Fogo.

Disponível em: <<http://www.ccdm.ufscar.br/ensaio-tecnologicos-em-materiais/ceramicas-ensaio-tecnologico/materia-prima-ceramica/perda-ao-fogo/>> Acesso em: 09 de setembro de 2021.

CHANDRASEKHAR, S., Satyanarayana, K. G., Pramada, P. N., Raghavan, P. (2003). **Processing, proprieties and applications of reactive silica from rice husk – an overiew**. Journal of Materials Science, 38(15), 3159-3168.

CHANDRASEKHAR, S.; PRAMADA, P. N.; MAJEED, J. **Effect of calcination temperature and heating rate on the optical properties and reactivity of rice husk ash**. J Mater Sci. Vol. 41, p. 7926–7933, 2006.

CORDEIRO, L. N. P. **Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre a atividade pozolânica**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2009.

CORDEIRO, LUCIANA DE NAZARÉ PINHEIRO; MASUERO, ÂNGELA BORGES, DAL MOLIN, DENISE CARPENA COITINHO. **Análise do potencial pozolânico da cinza de casca de arroz (CCA) através da técnica de Refinamento de Rietveld. Resista Matéria**. Vol. 19, p. 150-158, 2014.

FENG, QING-GE; LIN, QING-YU; YU, QI-JUN; ZHAO, SAN-YING; YANG, LU-FENG; SHUICHI, SUGITA. **Concrete with Highly Active Rice Husk Ash**. Journal of Wuhan University of Technology - Mater. Vol. 19, 2004.

FERREIRA, C.S. **Desenvolvimento do processo de obtenção de filme polimérico a partir de cinza de casca de arroz**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFSC, 2005.

FERRO, Ivan Passuelo, 1991- **FerInfluência da sílica da casca de arroz nos estados fresco e endurecido de concretos autoadensáveis / Ivan Passuelo Ferro**. – Campinas, SP : [s.n.], 2019.

FRIZZO, B. **Influência do teor e da finura de pozolanas na permeabilidade de oxigênio e na absorção capilar do concreto**. 2001. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

GOMES, C.E.M.; BERTOLDO, C. **Variação da velocidade de propagação de ondas de ultrassom em concretos produzidos com SCA (Sílica da Casca do Arroz)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 58., 2016, Belo Horizonte. Anais... São Paulo: IBRACON, 2016. 11 p.

GOMES, C.E.M.; MARTON, L.F.M. **Otimização do consumo de cimento por meio da adição da Sílica da Casca de Arroz (SCA)**. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 1., 2014, Guimarães, Portugal. Anais... Guimarães: Universidade do Minho, 2014. 10 p.

GONCALVES, Gislayne Elisana et al. **Síntese e caracterização de mulita utilizando sílica obtida da casca de arroz**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 62, n. 3, set. 2009. Disponível em

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672009000300016&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672009000300016&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 31 outubro 2020.

HOFFMANN, R; JAHN, S.L; BAVARESCO, M; SARTORI, T.C. Aproveitamento da cinza produzida na combustão da casca de arroz: estado da arte. 2010. 14 p. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/cenergia/arte\\_final.pdf](http://coral.ufsm.br/cenergia/arte_final.pdf)>. Acesso em: 31 outubro 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção agrícola nacional**. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br>>. Acesso em: 31 outubro 2020.

KADAM, K.L., FORREST, L.H., JACO-BSON, W.A. **Rice Straw as a Ligno cellulosic Resource: Collection, Processing, Transportation, and Environmental Aspects**. Biomass and Bioenergy. v.18, p.369-389, 2000.

KRISHNARAO, R.V.; SUBRAHMANYAM, J.; JAGADISH KUMAR, T. **Studies on the formation of black particles in rice husk silica ash**. Journal of the European Ceramic Society. Vol. 21, p. 99-104, 2001.

LEITE, Mônica Batista; MOLIN, Denise Dal. **AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DO MATERIAL CERÂMICO PRESENTE NO AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUO DE C&D**. Sitientibus, Feira de Santana, n.26, p.111-130, jan./jun. 2002. Disponível em: <[http://www2.uefs.br:8081/sitientibus/pdf/26/avaliacao\\_da\\_atividade\\_pozolanica.pdf](http://www2.uefs.br:8081/sitientibus/pdf/26/avaliacao_da_atividade_pozolanica.pdf)>. Acesso em: 06 de dezembro de 2020.

LEMES, Silênia Priscila Da Silva. **Análise de Desempenho em Argamassa de Assentamento e de Revestimento com Incorporação de Cinza de Casca de Arroz em Alvenaria de Bloco Estrutural e de Vedação**. Universidade Federal do Pampa – Alegrete, 2013.

MAZZAR, Roger. **Carbonatação acelerada de concretos com cinza de casca de arroz sem moagem**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MILANI, A. P. S. **Avaliação física, mecânica e térmica do material solo-cimento-cinza de casca de arroz e seu desempenho como parede monolítica**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Campinas, 2008.

NAIR, D.; FRAAIJ, A.; KLAASSEN, A.; KENTGENS, A. **A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes**. Cement and Concrete Research. Vol. 38(6), p. 861-869, 2008.

- OLIVEIRA, L. S. **Influência da cal na trabalhabilidade e na resistência mecânica de argamassas**. Dissertação – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2009.
- POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Porto Alegre. Doutorado em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul 2006.
- PRUDÊNCIO, J. R.; SANTOS, S. **Influência do grau de moagem na pozolanicidade da cinza da casca de arroz**. In: workshop sobre reciclagem e reutilização de resíduos como material de construção civil, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1996.
- PRUDÊNCIO, L R. **Um estudo visando a identificação das condições de queima da casca de arroz para produção de pozolana branca**. IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Artigo Técnico. Foz do Iguaçu. 2002.
- RECENA F. A. P. **Conhecendo Argamassa**. 2. Ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011.
- RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. Edipucrs, 2002.
- RIGHI, D. P. **Caracterização de argamassa à base de cimento Portland e cinza de casca de arroz oriunda da queima com e sem controle de temperatura**. Dissertação (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, Curso Engenharia Civil. Alegrete, 2012.
- ROCHA, A. K. A. **Incorporação de Resíduo de Caulim em Argamassas de Alvenaria**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2005.
- SANSONE, Alberto Ermanno Dos Santos, **Estudo da Formação de Fases Cristalinas por Difração de Raios X no Sistema  $UO_2-Er_2O_3$** . Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-graduação em Tecnologia Nuclear. Área de concentração (Materiais) — Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.
- SANTOS, M.L.P.O., **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil**. Tese de Doutorado em Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2008.
- SANTOS, H. B. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. Monografia Curso de Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2008.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA (SEAGRI), 2020. **Produção de arroz em Rondônia alcança 139 mil toneladas na safra 2019/20**. Disponível em: <<http://www.rondonia.ro.gov.br/producao-de-arroz-em-rondonia-alcanca-139-mil-toneladas-na-safra-201920/#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20arroz%20no,cerca%20de%2070%20mil%20toneladas>>. Acesso em: 26 de abril de 2021.

SILVA, E. J.; RICCI, E. C.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L.; BARBOSA, M. B.; ALCANTARA, M. A. M. **Influência da adição de Cinza de Casca de Arroz (CCA) no combate à reação álcali-agregado**. Anais IBRACON 2006.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

SILVA, I. O. **Influência da cinza de casca de arroz amorfa e cristalina e da sílica ativa na reação álcali-agregado**. 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

SOUZA, J. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz no traço**. Campina Grande: UFCG, 2008. 160p. Tese Doutorado.2008.

SOUZA, M. F. de, Magalhães, W. L. E., Persegil, M. C. (2002). **Silica derived from burned rice hulls**. Materials Research, 5(4), 467-474.

SPRINGER, J. H. **Contribuição ao estudo dos revestimentos argamassados externos em substrato de concreto com vistas à minimização da geração de resíduos**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em gestão Tecnológica: Mestrado em Qualidade Ambiental, Centro Universitário Feevale. Novo Hamburgo, 2008.

TASHIMA, M. M. **Cinza de Casca de Arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland**. Ilha Solteira – São Paulo. Mestrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia UNESP. Área de Conhecimento Estruturas, 2006.

TURRA, Daniel Giovani. **CONTRIBUIÇÕES PARA O ESTUDO DE ALGUMAS PROPRIEDADES NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO DA ARGAMASSA ESTABILIZADA POR 72 HORAS**. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/159591/001019354.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 de agosto de 2021.

XU, WEITING; LO, TOMMY Y.; MEMON, SHAZIM ALI. **Microstructure and reactivity of rich husk ash**. Construction and Building Materials. Vol. 29, p. 541–547, 2012.





## RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

**DISCENTE:** Cristiano Escorce


**CURSO:** Engenharia Civil

**DATA DE ANÁLISE:** 02.12.2021

### RESULTADO DA ANÁLISE

#### Estatísticas

Suspeitas na Internet: **10,94%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet 

Suspeitas confirmadas: **3,47%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados 

Texto analisado: **91,76%**

*Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).*

Sucesso da análise: **100%**

*Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.*

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.7.1  
quinta-feira, 2 de dezembro de 2021 20:52

### PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho do discente **CRISTIANO ESCORCE**, n. de matrícula **23282**, do curso de Engenharia Civil, foi aprovado na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 10,94%. Devendo o aluno fazer as correções necessárias.

(assinado eletronicamente)  
**HERTA MARIA DE AÇUCENA DO N. SOEIRO**  
**Bibliotecária CRB 1114/11**  
Biblioteca Júlio Bordignon  
Faculdade de Educação e Meio Ambiente