



EFEITO DA ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ EM MATRIZES DE CIMENTO PORTLAND

EFFECT OF RICE HUSK ASH ADDITION IN PORTLAND CEMENT MATRICES

Bruna Vieira¹; Jorge Luiz Oleinik Nunes¹; Alessandra Tessaro¹;
Jorge Luiz Saes Bandeira¹; Flávia Costa Mattos¹

Artigo recebido em: 14/12/2022 e aceito para publicação em: 11/05/2023.

DOI: <http://doi.org/10.14295/holos.v23i1.12484>

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo avaliar a adição da cinza da casca do arroz em matrizes de cimento Portland. A cinza de casca de arroz tem como sua principal característica as propriedades pozolânicas, podendo ser utilizada como adição devido ao alto teor de sílica. Conseqüentemente, quando adicionadas, podem vir a melhorar o empacotamento e impedir o acesso de agente agressivos, além da contribuição para a sustentabilidade. Para isso, foram realizados ensaios de caracterização do cimento, da cinza e do cimento com adição de cinza, assim como foram realizados ensaio de resistência à compressão, para buscar resultados de percentuais ótimos que não comprometam a resistência do cimento. Após a verificação do comportamento, com base na NBR 5739 foi avaliado que o percentual que apresentou o melhor desempenho foi o Traço 5 com adição de 10% de cinza.

Palavras-chave: Argamassa. Cinza de casca de arroz (CCA). Argamassa com resíduo.

Abstract: The present work aims to evaluate the addition of rice husk ash in Portland cement matrices. Rice husk ash has pozzolanic properties as its main characteristic and can be used as an additive due to the high silica content. Consequently, when added, they can improve packetization and prevent the access of aggressive agents and contribute to sustainability. For this, tests were carried characterization tests of cement, ash, and cement with the addition of ash, as well as tests of compressive strength, to obtain results of optimal percentages that do not compromise the strength of the cement. After verifying the behavior, based on NBR-5739, it was evaluated that the percentage that presented the best performance was Trace 5 with the addition of 10% of ash.

Keywords: Concrete. Rice Husk Ash (CCA). Concrete with residue.

1 INTRODUÇÃO

Sustentabilidade é um assunto muito dominante nas discussões sobre a evolução da Engenharia Civil. É impertinente falar sobre os caminhos que seguiremos sem pensar em um mundo com menos impactos negativos na natureza. De acordo com a UGREEN (2020), a construção civil é uma das áreas que mais contribui para emissão de gases de efeito estufa, basicamente é a protagonista no problema atual da pegada de carbono.

¹ Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, RS. E-mails: alessandrabuss@gmail.com

Na construção civil devemos considerar os efeitos da pegada de carbono em dois momentos, primeiramente durante a construção e segundo ao longo dos anos de uso. Não se deve projetar uma casa eficiente e em contrapartida não considerar os materiais e técnicas utilizados ao longo de sua construção. Geralmente a etapa da obra costuma ter um maior impacto, por conseguinte um projeto adequado e um gerenciamento de obras é primordial (UGREEN, 2020).

É relevante compreender o impacto dos materiais e o seu processo do ciclo de vida, como ele é fabricado, de onde vem a matéria prima e como se opera o processo de reciclagem desse material. No Brasil, a produção de cimento equivale a 19%, das emissões de carbono do setor industrial e como o cimento não pode ser reciclado, não havendo uma logística para esse descarte, a probabilidade de que o destino final do material seja o aterro sanitário ou algum lixão (UGREEN, 2020). Como o cimento, não pode ser reciclado então a construção civil tem o potencial de contribuir para minimizar esses danos, como diminuir o consumo de cimento substituindo por cinza de casca de arroz (CCA).

De acordo com a Organização Mundial de Alimentação e Agricultura (FAO) o arroz é considerado como um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, tanto que no ano de 2004 foi apontado como o Ano Internacional do Arroz. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a produção nacional de arroz no ano de 2020/2021 foi de 11 milhões de toneladas. Já o estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a Secretaria da Agricultura, se registrou uma produção de 8,5 milhões de toneladas na mesma safra.

Como o arroz representa uma das maiores colheitas se tratando de cereais, as partes que não são proveitosas como folha, caule e casca, no geral são descartadas. Mas a casca do arroz por ser um material fibroso rico em sílica e ter compostos orgânicos, como a celulose e lignina e ter um alto ponto de fusão e pouca proteína, muitas vezes é utilizada como biomassa. Quando ocorre a queima dessa biomassa, temos o subproduto que é a cinza da casca de arroz (CCA), que é rica em sílica e altamente reativa. Para cada tonelada de arroz, 200 kg de casca são geradas e cerca de 20% desse peso são transformadas em cinza após o processo de combustão (VILLENA, 2016).

Nesse processo de gerar energia com a casca de arroz, o aproveitamento da cinza como adições minerais em concreto e argamassa vem sendo utilizada como uma forma de descarte mais sustentável, encontrando uma finalidade, pois grande parte dessas cinzas possuem propriedades pozolânicas (TIBONI, 2017).

O aumento de resistência da argamassa está diretamente ligado a essas propriedades, pois quando são moídas finamente e com a presença de água, ocorrem uma reação química com hidróxido de cálcio e assim forma-se um composto mais denso e menos solúvel, tornando desta forma a estrutura do concreto e das argamassas menos porosa (TIBONI, 2007).

Para a utilização de CCA em concreto e argamassa, em termos de validação, deve-se passar por diversos testes normatizados, analisando a resistência mecânica para atender a exigências iguais ou superiores aos materiais já existentes no mercado (BEZERRA, 2010). Neste trabalho foi realizada uma análise comparativa da substituição parcial em peso do Cimento Portland CPI-40 pela cinza de casca de arroz em percentuais de 0, 10, 20, 30 e 40%, na resistência à compressão da argamassa nas idades de 3, 7, 28, 63 e 91 dias.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O ambiente construído é o que mais contribui para as emissões de gases de efeito estufa, consumo de recursos naturais e geração de resíduos. Considerando os estágios de construção, o carbono e a energia embutida podem ser responsáveis por mais de 50% dos impactos de todo o ciclo de vida do ambiente construído (CRAWFORD, 2011). Uma vez que os materiais estruturais geralmente dominam a massa total de um edifício, existe um potencial significativo para enfrentar as mudanças climáticas, o aquecimento global e a escassez de recursos, repensando os materiais usados no projeto estrutural (D'AMICO, 2019).

Como a indústria da construção civil gera um grande impacto ambiental, por ser extremamente extrativista e ter um grande consumo de energia elétrica (KARPINSK *et al.*, 2009), conseqüentemente se faz necessário o estudo e a utilização de técnicas que podem mitigar esse cenário, como a introdução de CCA, como componentes dos materiais utilizados.

As cinzas contam com um alto teor de sílica, cerca de 92%, tornando um resíduo valorizado. Todavia a CCA só possuirá um elevado valor econômico se possuir alta qualidade, que pode ser qualificada pela pureza de partícula, tamanho e superfície específica (HOFFMANN, 2010). Segundo Foletto *et al.* (2005) afirmam que o uso da CCA na produção de cimento beneficia as propriedades do cimento, tanto no estado fresco, quanto após o seu endurecimento.

Portanto, quando ocorre a substituição do cimento, conseqüentemente há redução do consumo de energia e de reservas naturais que seriam empregados para a sua fabricação, em vista disto há uma significativa redução na liberação de CO₂.

na atmosfera e no impacto ambiental. Esse trabalho justifica-se na medida em que fornece uma colaboração ao estudo da aplicação CCA na construção civil, visando a adição na manufatura de cimento Portland, de acordo com as normas. Ao introduzir CCA como componente da argamassa, consiste numa alternativa sustentável para o setor da construção civil.

3 MÉTODO

Com o objetivo de se obter parâmetros que permitissem descrever o comportamento das cinzas de casca de arroz como adição no cimento, inicialmente se fez necessário um estudo dos materiais a serem utilizados nesta pesquisa e da qualidade das misturas de cimento Portland e CCA do ponto de vista da durabilidade.

Na seqüência, aplicou-se a cinza da casca de arroz em substituição em parte ao cimento, e com isto, obtiveram-se parâmetros para a comparação com outras adições e com o traço referência.

O ensaio de determinação de massa específica, determinação do índice de finura, determinação de pasta de consistência, determinação do tempo de pega e o de determinação da resistência à compressão do corpo de prova cilíndrico. Foram determinados cinco traços de argamassa, o primeiro traço denominado como referência sem CCA, o segundo com 20% de substituição, o terceiro com 30%, o quarto com 40% de CCA e o quinto com 10% em substituição ao cimento.

Todos os ensaios dos materiais realizados nesta pesquisa são baseados em normas nacionais ou internacionais, informações obtidas através de literatura específica e/ou dados comerciais.

Para a execução dos ensaios o cimento utilizado foi o Cimento Portland CPN-40 da marca CHARRÚA, por se tratar de um cimento uruguaio não há adições nele.

Para os ensaios de verificação da resistência à compressão da argamassa com as adições de CCA, de acordo com a NBR 7214, possui os grãos com dimensões de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm.

Tanto para a realização da moldagem quanto para a cura dos corpos de prova, a água utilizada é procedente do abastecimento público da CORSAN.

A cinza da casca de arroz utilizada nos ensaios é um material reprocessado em uma usina, e está em processo de patente.

A determinação da pasta de consistência normal, foi realizada conforme ABNT NBR 16606(2018). Para determinar os tempos de pega da pasta de cimento, foi realizado o ensaio conforme está escrito na ABNT NM 16607(2018).

Para determinar a porcentagem, em massa de cimento, nos quais as dimensões de grão são maiores 75mm foi realizado o ensaio conforme está escrito na ABNT NBR MB-3432(1991). Para a determinação da massa específica de cimento Portland, foi realizado o ensaio conforme descrito na ABNT NBR NM 23(2000).

A moldagem dos corpos de prova da argamassa ocorreu de acordo com a ABNT NBR 7215(2019).

Para a determinação da resistência à compressão de acordo com a ABNT NBR 7215(2019), foram usados corpos de prova de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Foram elaborados com uma parte de cimento e três de areia normalizadas, em massa em relação de água/cimento de 0,48, isso para os traços de referências, nos que haviam um percentual de CCA houve uma substituição no cimento. Para os traços de 0%, 20%, 30% e 40% foram feitos 4 moldes para as idades de 3, 7, 28, 63 e 91 dias e para o traço de 10% foram feitos 4 moldes para as idades de 3,7 e 28 dias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da determinação da pasta de consistência normal se apresentam na Tabela 1 para adição de 0%, 10%, 20%, 30% e 40%.

Tabela 1 - Determinação da pasta de consistência normal quantidades dos materiais adição de 0%, 10%, 20%, 30% e 40%

Determinação da pasta de consistência normal NBR 16607 (0%)				
Tentativas	Água (g)	Cimento (g)	Leitura (mm)	Verificação
1º	162,8	500	1	X
2º	142,01	500	5	ok
Determinação da pasta de consistência normal NBR 16607 (10%)				
Tentativas	Água (g)	Cimento (g)	Leitura (mm)	Verificação
1º	142,4	450+50	6	ok
Determinação da pasta de consistência normal NBR 16607 (20%)				
Tentativas	Água (g)	Cimento (g)	Leitura (mm)	Verificação
1º	148,44	400+100	2	X
2º	143,04	400+100	5	ok
Determinação da pasta de consistência normal NBR 16607 (30%)				
Tentativas	Água (g)	Cimento (g)	Leitura (mm)	Verificação
1º	145,3	350+150	5	ok
Determinação da pasta de consistência normal NBR 16607 (40%)				
Tentativas	Água (g)	Cimento (g)	Leitura (mm)	Verificação
1º	150,35	300+200	7	ok

Os resultados com o início e fim de pega se apresentam na Tabela 2 para as adições de 0%, 10%, 20%, 30% e 40%.

Tabela 2 - Determinação de início e fim de pega (0%, 10%, 20%, 30% e 40%)

0%	
Início de pega	
Período: 9:50 até 12:20 2h 30min	
Fim de pega	
Período: 9:50 até 13:35 3h 45min	
10%	
Início de pega	
Período: 7:42 até 9:49 2h 6min	
Fim de pega	
Período: 7:42 até 11:40 4h 58min	
20%	
Início de pega	
Período: 8:49 até 12:05 3h 16min	
Fim de pega	
Período: 8:49 até 13:50 5h 1min	
30%	
Início de pega	
Período: 8:15 até 11:40 3h 25min	
Fim de pega	
Período: 8:15 até 13:20 5h 5min	
40%	
Início de pega	
Período: 8:26 até 11:46 3h 20min	
Fim de pega	
Período: 8:26 até 13:20 5h 30min	

Fonte: Autora.

Os resultados da quantidade de água de amassamento e dos tempos de início e fim de pega são mostrados na Tabela 3. E uma análise do desempenho da adição de cinzas em torno do ensaio de tempo de início e fim de pega estão dispostos na Figura 1.

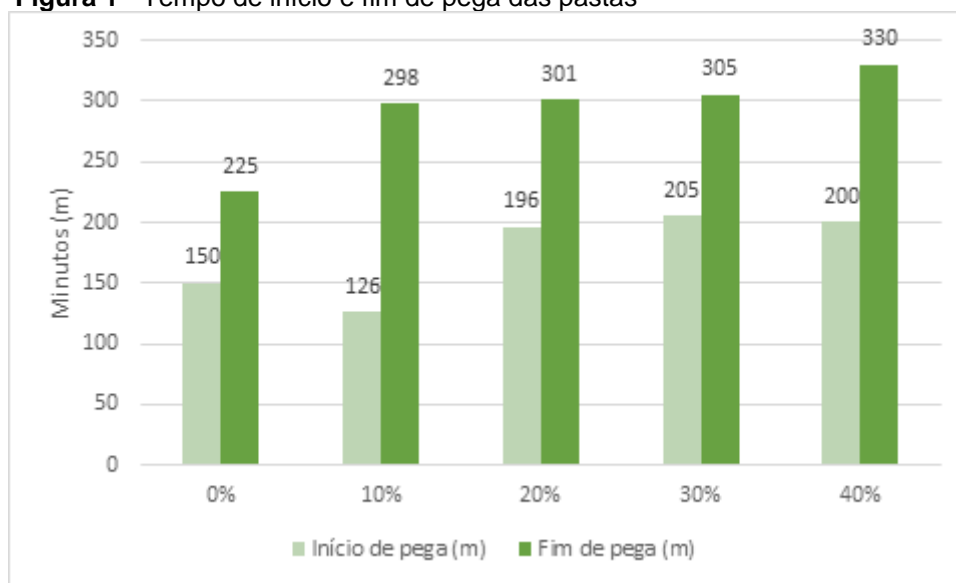
Tabela 3 - Tempos de início e fim de pega

Traço	Água (g)	Início de pega (min)	Fim de pega (min)
1 (0%)	142,01	150	225
2 (10%)	142,4	126	298
3 (20%)	143,04	196	301
4 (30%)	145,3	205	305
5 (40%)	150,35	200	330

Fonte: Autora.

É interessante observar na Tabela 3, que quando se fez a adição de 10% de cinza, que a quantidade água é superior a pasta sem nenhuma adição, mas nota-se que o tempo de pega se antecipou em relação ao traço referência. As propriedades pozolânicas das cinzas e esse percentual de 10%, provavelmente é um percentual médio que se utilizaria, se fosse uma adição de sílica, normalmente se adicionaria um percentual variando entre 9-11%.

Figura 1 - Tempo de início e fim de pega das pastas



Fonte: Autora.

Além do mais, se observa que quanto mais vai aumentando o percentual de cinza, mais vai se prolongando o tempo de fim de pega.

Tiboni (2017, p. 136) apresenta resultados do tempo de início e fim de pega, para o traço referência, de 5, 10 e 15%. No traço referência o início de pega é em 100 minutos e enquanto o fim de pega é de 160 minutos, o traço com 5% o início de pega é em 130 minutos e o fim de pega é de 190 minutos, o traço com 10% o início de pega é em 145 minutos e o fim de pega é de 200 minutos e o traço com 15% o início de pega é em 175 minutos e o fim de pega é de 225 minutos. Os resultados apresentam uma pequena melhora nos tempos de pega com a adição da CCA, pois quando aumenta a adição de CCA, chega a apresentar 75 minutos de atraso nas pastas com 15% em relação ao referência. Nos tempos de fim de pega o comportamento é semelhante, o autor explica que por ter sido feita uma substituição de uma material que reage mais rapidamente, que é o cimento ARI, pela cinza que é um material pozolânico. Apresentando um desempenho semelhantes aos resultados mostrados na pesquisa.

Akasaki *et al.* (2022, p. 31), apresenta resultados do tempo de início e fim de pega, para o traço referência, de 5 e 10%. No traço referência o início de pega é em 178 minutos

e enquanto o fim de pega é de 263 minutos, o traço com 5% o início de pega é em 186 minutos e o fim de pega é de 259 minutos e o traço com 10% o início de pega é em 169 minutos e o fim de pega é de 256 minutos. O autor afirma que a pasta com a porcentagem de 10% exigiu uma maior quantidade de água pra manter a mesma trabalhabilidade e afirma que os resultados obtidos foram positivos, pois houve uma baixa alteração nos tempos.

Os resultados de Pouey (2016, p. 231) apresentam o traço referência e com percentuais de substituição de 10%, 33% e 50%, onde foram propostos três tipos de beneficiamento na CCA, sobrepondo diferentes tratamentos, como o chamado beneficiamento I, onde compreendeu somente tratamento físico, onde as cinzas no seu estado natural são moídas, tendendo reduzir a granulometria e o aumento de área superficial, já no beneficiamento II, as cinzas inicialmente, no seu estado natural, foram tratadas termicamente, para depois serem submetidas a moagem e por último o beneficiamento III, onde as cinzas em seu estado natural são tratadas quimicamente e depois são submetidas ao mesmo tratamento do beneficiamento II. Foram avaliados 54 cimentos, todos os cimentos registraram início do tempo de pega superior ou igual ao cimento de referência, mostrando que com a presença de CCA retarda o início de pega, o cimento que apresentou o maior tempo de início de pega foi três vezes maior que o de referência, a maioria dos cimentos que foram avaliados apresentou tempo de fim de pega superior ao de referência, apenas dois apresentaram valores inferiores, o início de tempo de pega cresceu conforme o aumento de percentual de substituição e por último a diferença entre o início e o fim do tempo de pega, (70%) dos cimentos, registaram valor inferior ao de referência, ou seja, sugere-se que a presença da CCA, encurta esse período.

A determinação da finura do cimento Portland se apresenta na Tabela 4.

Tabela 4 - Determinação da finura do cimento

Determinação de finura por meio da peneira 75µm NBR MB-3432			
Massa inicial (g)	Peneira (mm)	Material retido (g)	Índice de finura (%)
50	200	0,66	1,32

Fonte: Autora.

Pelo resultado o cimento se enquadra como cimento CPI-40 e como CPV-ARI, já Toralles *et al.* (2010, p. 505) apresentou o resultado de um cimento CPV-ARI da finura por meio da peneira nº 325 que foi de 1,37%. Dos Santos *et al.* (2015, p. 5) apresentou que no ensaio de finura do cimento Portland (não especificando qual) pela peneira nº 200

apresentou finura de 0,44% e ainda afirma que quando mais fino for o cimento, melhores serão os resultados relacionados à resistência.

A determinação da massa específica e as leituras feitas se apresenta na Tabela 5 para as adições de 0%, 10% e 20% e na Tabela 6 para as adições de 30%, 40% e apenas da cinza.

Tabela 5- Determinação da massa específica (0%, 10% e 20%).

0%		
	Adição do querosene	
Hora 09:33		Leitura 0,3 cm ³
	Material 60g	
Cimento (g) 60,02		Cinza (g) 0
	Inserção do material	
Hora 10:03		Leitura 19,3 cm ³
Determinação da massa específica NBR NM 23		
Massa específica (g/cm ³) 3,1579		
10%		
	Adição do querosene	
Hora 15:07		Leitura 0,3 cm ³
	Material 60g	
Cimento (g) 54		Cinza (g) 6
	Inserção do material	
Hora 15:37		Leitura 21,1 cm ³
Determinação da massa específica NBR NM 23		
Massa específica (g/cm ³) 2,8846		
20%		
	Adição do querosene	
Hora 10:11		Leitura 0,5 cm ³
	Material 60g	
Cimento (g) 48		Cinza (g) 12
	Inserção do material	
Hora 10:43		Leitura 23 cm ³
Determinação da massa específica NBR NM 23		
Massa específica (g/cm ³) 2,6667		

Fonte: Autora.

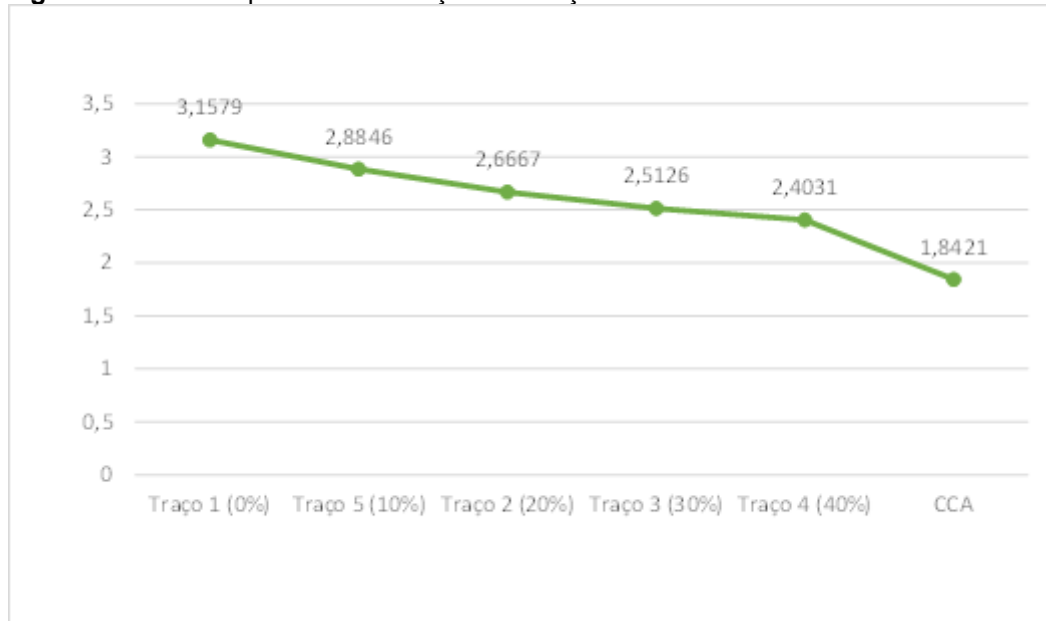
Tabela 6 - Determinação da massa específica (30% ,40% e CCA)

30%		
	Adição do querosene	
Hora 08:58		Leitura 0,2 cm ³
	Material g	
Cimento (g) 35		Cinza (g) 15
	Inserção do material	
Hora 09:46		Leitura 20,1 cm ³
Determinação da massa específica NBR NM 23		
Massa específica (g/cm ³) 2,5126		
40%		
	Adição do querosene	
Hora 10:12		Leitura 0,6 cm ³
	Material g	
Cimento (g) 30		Cinza (g) 20
	Inserção do material	
Hora 10:48		Leitura 21,4 cm ³
Determinação da massa específica NBR NM 23		
Massa específica (g/cm ³) 2,4031		
Cinza		
	Adição do querosene	
Hora 09:40		Leitura 0,3 cm ³
	Material	
Cimento (g) 0		Cinza (g) 35
	Inserção do material	
Hora 10:10		Leitura 19,3 cm ³
Determinação da massa específica NBR NM 23		
Massa específica (g/cm ³) 1,8421		

Fonte: Autora.

Na Figura 2, mostra os gráficos sintetizados, pode-se observar que a medida que vai aumentando a quantidade de cinza, a massa específica vai diminuindo, por ser bem menor que a do cimento.

Figura 2 - Massa específica em relação aos traços.



Fonte: Autora.

Toralles *et al.* (2010, p. 505) apresentou o resultado da massa específica de um cimento CPV-ARI com o valor de 3,14 g/cm³, um desempenho semelhante ao do estudo que apresentou o valor de 3,16 g/cm³. Souza *et al.* (2007, p. 6) evidenciou resultados da massa específica de um cimento Portland com o valor de 3,04 g/cm³ e a massa específica da CCA de 2,25 g/cm³. Fernandes *et al.* (2014, p. 2670), exibiu resultados da massa específica de uma cinza obtida a partir de um processo de queima em um reator de leito fluidizado, denominada CCA LF com massa específica de 2,11 g/cm³ e de uma cinza que foi obtida a partir de um processo de queima em um reator tipo grelha, denominada CCA grelha com massa específica de 1,94 g/cm³, similar a CCA do estudo que tem o valor de 1,84 g/cm³ Gomes *et al.* (2015, p.6) apresentou o valor de 3,02 g/cm³ da massa específica de um cimento CPII-E 40.

Para cada traço, foram moldados quatro corpos-de-prova, para as idades de 3, 7, 21, 63,91 dias e feita a leitura como mostra nas Tabelas 7, 8, 9, 10 e 11.

Tabela 7 - Resistência em toneladas do Traço 1 (referência)

Determinação da resistência à compressão (Dados completos)					
Amostra	Traço 1 (Referência 0%)				
	Dias				
	3	7	28	63	91
	Resistencia (toneladas)				
1	5,55	6,39	7,62	10,42	10,73
2	6,13	6,93	7,61	9,49	10,73
3	5,92	6,81	8,72	10,55	10,3
4	5,5	5,9	7,34	9,82	10,15

Fonte: Autora.

Tabela 8 - Resistência em toneladas Traço 2 (20%)

Determinação da resistência à compressão (Dados completos)					
Traço 2 (20%)					
Dias					
Amostra	3	7	28	63	91
Resistencia (toneladas)					
1	3,15	4,51	6,57	8,39	9
2	3,51	4,54	6,8	8,3	8,91
3	3,66	4,49	6,43	8,21	9,68
4	3,72	4,17	5,23	7,7	8,44

Fonte: Autora.

Tabela 9- Resistência em toneladas Traço 3 (30%)

Determinação da resistência à compressão (Dados completos)					
Traço 3 (30%)					
Dias					
Amostra	3	7	28	63	91
Resistencia (toneladas)					
1	3,19	4,56	5,3	7,34	7,63
2	3,33	4,5	5,4	7,16	7,32
3	3,36	4,4	5,1	6,99	7,25
4	2,81	4,1	4,84	5,52	7

Fonte: Autora.

Tabela 10 - Resistência em toneladas Traço 4 (40%)

Determinação da resistência à compressão (Dados completos)					
Traço 4 (40%)					
Dias					
Amostra	3	7	28	63	91
Resistencia (toneladas)					
1	2,43	3,66	4,63	5,72	6,74
2	2,47	3,18	4,63	5,25	5,37
3	2,51	3,45	4,56	5,19	5,31
4	2,13	3,52	3,92	4,64	5,24

Fonte: Autora.

Tabela 11 - Resistência em toneladas Traço 5 (10%)

Determinação da resistência à compressão (Dados completos)					
Traço 5 (10%)					
Dias					
Amostra	3	7	28	63	91
Resistencia (toneladas)					
1	4,17	5,04	7,01	-	-
2	3,72	4,72	7,21	-	-
3	3,83	4,71	6,96	-	-
4	2,79	4,51	6,84	-	-

Fonte: Autora.

Foram feitas as médias das resistências individuais como mostra nas Tabelas 12, 13, 14, 15 e 16.

Tabela 12 - Média das resistências à compressão individual do Traço 1(Referência) dias 3, 7, 28, 63 e 91

Resistencia a compressão média		
Traço 1 (referência)		
Amostra	3 dias fc (Mpa)	Média
1	27,7	28,9
2	30,6	
3	29,6	
4	27,5	
7 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	31,9	32,5
2	34,6	
3	34,0	
4	29,5	
28 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	38,1	39,1
2	38,0	
3	43,6	
4	36,7	
63 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	52,1	50,3
2	47,4	
3	52,7	
4	49,1	
91 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	53,6	52,3
2	53,6	
3	51,5	
4	50,7	

Fonte: Autora.

Tabela 13 - Média das resistências à compressão individual do Traço 2 (20%) dias 3, 7, 28, 63 e 91 (continua)

Resistencia a compressão média		
Traço 2 (20%)		
Amostra	3 dias fc (Mpa)	Média
1	15,7	17,5
2	17,5	
3	18,3	
4	18,6	
7 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	22,5	22,1
2	22,7	
3	22,4	
4	20,8	
28 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	32,8	31,3
2	34,0	
3	32,1	
4	26,1	
64 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média

Tabela 13 - Média das resistências à compressão individual do Traço 2 (20%) dias 3, 7, 28, 63 e 91 (conclusão)

Resistência a compressão média		
1	41,9	
2	41,5	40,7
3	41,0	
4	38,5	
91 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	45,0	45,0
2	44,5	
3	48,4	
4	42,2	

Fonte: Autora.

Tabela 14 - Média das resistências à compressão individual do Traço 3 (30%) dias 3, 7, 28, 63 e 91

Resistência a compressão média		
Traço 3 (30%)		
3 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	15,9	
2	16,6	15,9
3	16,8	
4	14,0	
7 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	22,8	
2	22,5	21,9
3	22,0	
4	20,5	
28 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	26,5	
2	27,0	25,8
3	25,5	
4	24,2	
63 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	36,7	
2	35,8	33,7
3	34,9	
4	27,6	
91 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	38,1	36,5
2	36,6	
3	36,2	
4	35,0	

Fonte: Autora.

Tabela 15 - Média das resistências à compressão individual do Traço 4 (40%) dias 3, 7, 28, 63 e 91

Resistência a compressão média		
Traço 4 (40%)		
Amostra	3 dias fc (Mpa)	Média
1	12,1	11,9
2	12,3	
3	12,5	
4	10,6	
7 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	18,3	17,2
2	15,9	
3	17,2	
4	17,6	
28 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	23,1	22,2
2	23,1	
3	22,8	
4	19,6	
63 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	28,6	26,0
2	26,2	
3	25,9	
4	23,2	
91 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	33,7	28,3
2	26,8	
3	26,5	
4	26,2	

Fonte: Autora.

Tabela 16- Média das resistências à compressão individual do Traço 5 (10%) dias 3, 7 e 28

Resistência a compressão média		
Traço 5 (10%)		
Amostra	3 dias fc (Mpa)	Média
1	20,8	18,1
2	18,6	
3	19,1	
4	13,9	
7 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	25,2	23,7
2	23,6	
3	23,5	
4	22,5	
28 dias		
Amostra	fc (Mpa)	Média
1	35,0	35,0
2	36,0	
3	34,8	
4	34,2	

Fonte: Autora.

Depois de ser feita a média das resistências individuais dos quatro CP'S que foram ensaiados na mesma idade, foi feito o desvio relativo máximo (DRM) como é solicitado na norma. Quando o desvio relativo máximo que for calculado for superior a 6%, serão calculados uma nova média e será desconsiderado o valor que mais se afastava dessa média. Foi pegado o valor que mais se afasta da média que no caso foi a Amostras 2, então foi utilizada a resistência individual dessa mostra e subtraída da resistência média das 4 amostras, foi dividido pela mesma e multiplicando esse quociente por 100. A porcentagem adquirida foi arredondada ao décimo mais próximo, como solicitado na norma. Resultados apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Desvio relativo máximo Traço 1 (Referência) dia 3.

Desvio relativo máximo (DRM)					
Traço 1 (referência)					
3 dias					
Amostra	Fc (Mpa)	Média	#ind	DRM (%)	<6%
1	27,7		1,1		
2	30,6		-1,8		
3	29,6	28,85	-0,7	6,15	Não
4	27,5		1,4		

Fonte: Autora.

Quando DRM > 6%, deve ser calculada uma nova média, desconsiderando o valor que mais se afasta. No caso foi descartada Amostra 2 e repetiu o procedimento e se obteve o valor de DRM = 4,66%, então a nova média é composta pelas Amostras 1, 3 e 4 como mostra a Tabela 18.

Tabela 18 - Novo desvio relativo máximo Traço 1 (Referência) dia 3

Desvio relativo máximo (DRM)					
Traço 1 (referência)					
3 dias					
Amostra	Fc (Mpa)	Média	#ind	DRM (%)	<6%
1	27,7		0,5		
3	29,6	28,3	-1,3	4,66	Sim
4	27,5		0,8		

Fonte: Autora.

Caso o valor desvio médio relativo ficar acima dos 6% novamente, os resultados devem ser descartados e o ensaio deve ser refeito na idade analisada. Nas Tabela 19, 20, 21, 22 e 23 se encontram as novas médias calculadas utilizando o método DRM.

Tabela 19 – Novas médias calculadas Traço 1 (Referência) dias 3, 7, 28, 63 e 91.

Desvio Relativo Máximo (DRM)					
Traço 1 (referência)					
Dias	3	7	28	63	91
Média (Mpa)	28,3	33,5	37,6	50,3	52,3

Fonte: Autora.**Tabela 20** - Novas médias calculadas Traço 2 (20% CCA) dias 3, 7, 28, 63 e 91.

Desvio Relativo Máximo (DRM)					
Traço 2 (20%)					
Dias	3	7	28	63	91
Média (Mpa)	18,1	22,1	33,0	40,7	43,9

Fonte: Autora.**Tabela 21** - Novas médias calculadas Traço 3 (30% CCA) dias 3, 7, 28, 63 e 91.

Desvio Relativo Máximo (DRM)					
Traço 3 (30%)					
Dias	3	7	28	63	91
Média (Mpa)	16,5	22,4	26,3	35,8	36,5

Fonte: Autora.**Tabela 22** - Novas médias calculadas Traço 4 (40% CCA) dias 3, 7, 28, 63 e 91.

Desvio Relativo Máximo (DRM)					
Traço 4 (40%)					
Dias	3	7	28	63	91
Média (Mpa)	12,3	17,7	23,0	26,9	27,5

Fonte: Autora.**Tabela 23** - Novas médias calculadas Traço 5 (10% CCA) dias 3, 7 e 28.

Desvio Relativo Máximo (DRM)				
Traço 5 (10%)				
Dias	3	7	28	
Média (Mpa)	19,7	23,2	35,0	

Fonte: Autora.

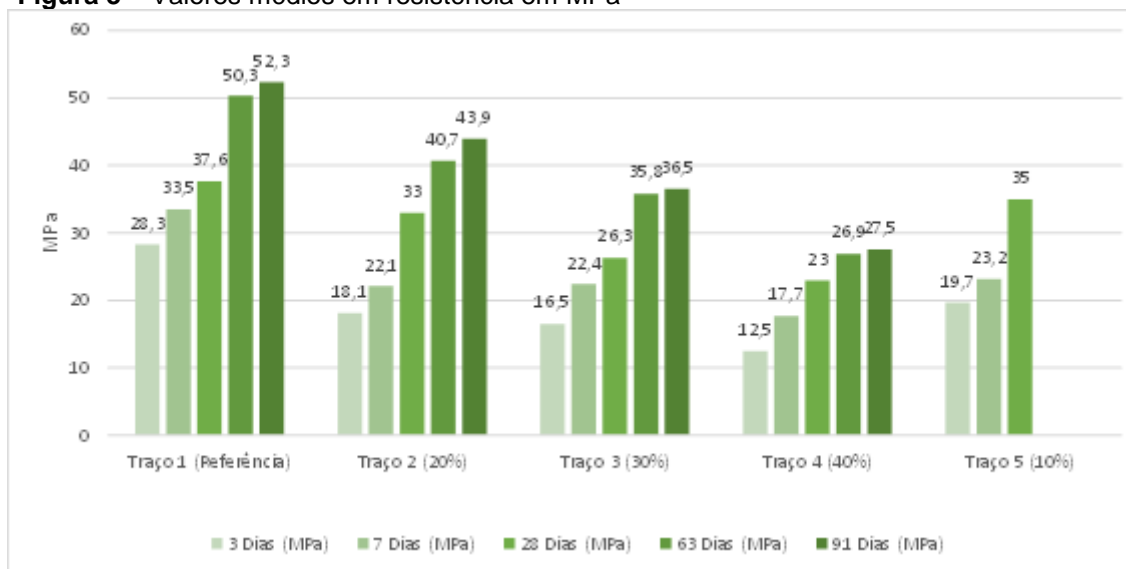
Através dos resultados da resistência à compressão nas idades 3, 7, 28, 63 e 91 dias para os traços 1, 2, 3 e 4 e nas idades 3, 7 e 28 para o traço 5. Foram testadas 4 amostras para cada composição, como mostramos os resultados. Depois foram calculadas as médias das resistências para cada idade. Na Tabela 24 apresenta os resultados das médias da resistência à compressão individuais de cada amostra já com os desvios relativos máximos calculados. E na Figura 3, mostra os resultados graficamente sintetizados.

Tabela 24 – Resumo com as novas médias para os Traços 1, 2, 3, 4 e 5 para os dias 3, 7, 28, 63 e 91.

Composição	3 dias (Mpa)	7 dias (Mpa)	28 dias (Mpa)	63 dias (Mpa)	91 dias (Mpa)
Traço 1 (referência)	28,3	33,5	37,6	50,3	52,3
Traço 2 (20%)	18,1	22,1	33	40,7	43,9
Traço 3 (30%)	16,5	22,4	26,3	35,8	36,5
Traço 4 (40%)	12,5	17,7	23	26,9	27,5
Traço 5 (10%)	19,7	23,2	35	-	-

Fonte: Autora.

Figura 3 – Valores médios em resistência em MPa



Fonte: Autora.

Nos primeiros 3 dias se observou que o Traço (referência) obteve o melhor desempenho, com resistência à compressão média de 28,3 MPa, seguido pelo Traço 5 (10% CCA) com 19,7 MPa, Traço 2 (20% CCA) com 18,1 MPa, Traço 3 (30% CCA) com 16,5 MPa e com a menor média o Traço 4 (40% CCA) com 12,5 MPa.

É de grande importância observar que com uma substituição de 10, 20, 30 e 40% CCA na composição, o desenvolvimento médio da resistência à compressão ocorre de uma forma mais lenta, devido ao comportamento pozolânico da CCA, porque quando ocorre a substituição de uma parte do cimento por essa pozolana, na formação do composto do cimento C3S, que é responsável pela hidratação mais acelerada do cimento, ela diminui. É vale ressaltar que as reações pozolânicas que ocorrem nas cinzas, acontecem de forma mais lenta (TASHIMA, 2006; LONDERO, 2017; LUDWIG, 2014).

Londero (2017, p. 29) apresentou resultados semelhantes em relação ao ganho de resistência, através de sua pesquisa mostrou a média da resistência à compressão do traço referência, traço 10, 15 e 20% de CCA para os dias 3, 7 e 28 dias, onde retratou resultados semelhantes ao da pesquisa, pois nos primeiros 3 dias a composição referência obteve o

melhor desempenho, e seguido do 10, 15% e o de 20% apresentou a menor média de resistência. E que conforme o aumento da CCA na composição, mais tardia se mostrava a resistência à compressão nas primeiras idades, com valores inferiores quando se comparado ao traço de referência.

Pereira *et al.* (2015, p. 234) apresenta resultados do traço de referência, traço de 5, 7,5, 10, 12,5, e 15% de CCA para os dias 7 e 28, e mostra através de dados que os melhores resultados de ganho de resistência estão entre 5 e 10%. As dosagens de maiores valores só alcançam ganho de resistência com relação ao traço referência com 28 dias.

Luidwig (2014, p. 46) concluiu através de seus estudos, onde apresentou resultados da média da resistência à compressão do traço referência, traço de 3, 5 e 7% de CCA para os dias 3, 7 e 28 dias, observou que em todas as datas o concreto que obteve o melhor desempenho foi com 3% de CCA.

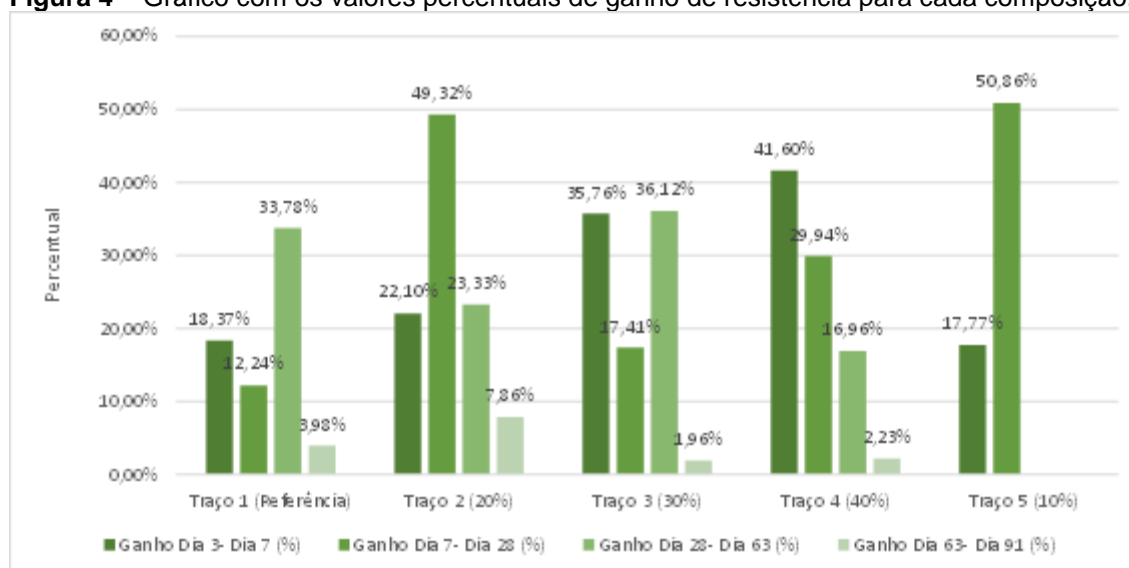
Ao fazer uma análise em relação aos ganhos de resistência, pode-se observar que em idades mais avançadas os Traços 2 (20% CCA) e 5 (10% CCA), exibiram o maior aumento de resistência 49,32% e 50,86% respectivamente, entre os dias 7 e 28, acima de tudo se comparado ao Traço 1 (referência), que no mesmo período, apresento o menor ganho de resistência, apresentando apenas 12,24%, como pode ser observado na Tabela 25, e como é apresentado no gráfico da Figura 4 com os resultados sintetizados graficamente.

Tabela 25 -Valores percentuais do ganho de resistência para cada composição.

Composição	Ganho 3-7 dias (%)	Ganho 7-28 dias (%)	Ganho 28-63 dias (%)	Ganho 63-91 dias (%)
Traço 1 (referência)	18,37	12,24	33,78	3,98
Traço 2 (20%)	22,10	49,32	23,33	7,86
Traço 3 (30%)	35,76	17,41	36,12	1,96
Traço 4 (40%)	41,60	29,94	16,96	2,23
Traço 5 (10%)	17,77	50,86	-	-

Fonte: Autora.

Figura 4 – Gráfico com os valores percentuais de ganho de resistência para cada composição.



Fonte: Autora.

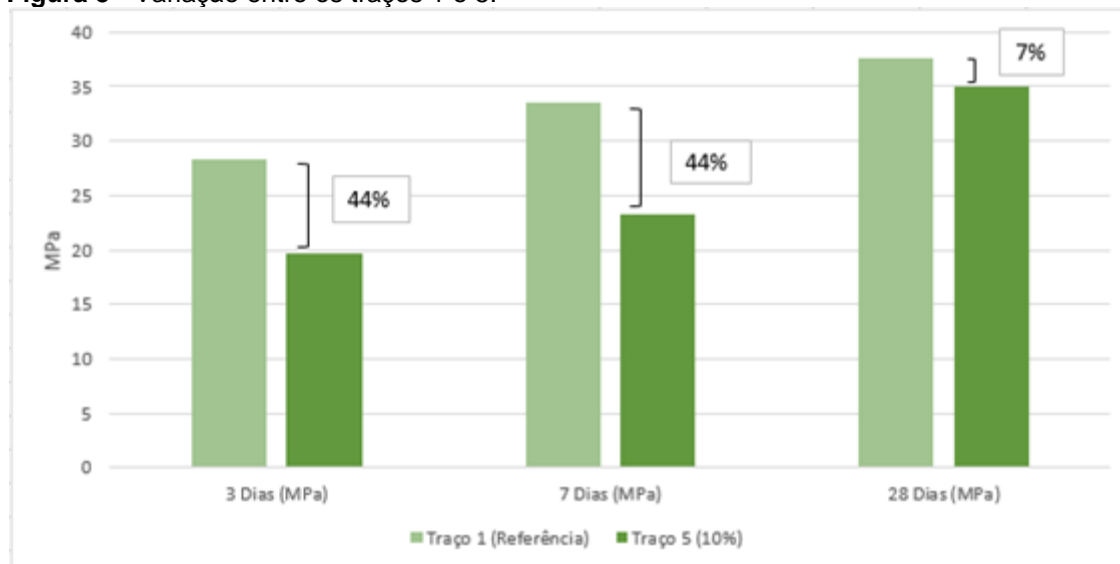
É de grande importância observar que apesar de ter ocorrido um grande ganho de resistência nos Traços 2 (20% CCA) e 5 (10% CCA), o Traço 1 (referência) apresentou resultados médios superiores a todos os traços no ensaio de resistência à compressão. Para que a adição apresente uma alta reatividade, é necessário que CCA seja de alta qualidade, que tenha passado por um processo de moagem e queima adequados. Porque segundo Tereza (2006), quando a sua combustão ocorre em altas temperaturas a sua pozolanicidade acaba sendo prejudicada, pois ocorre uma formação de fase cristalina e essa sílica se torna bem menos reativa, quando se comparada ela em seu estado amorfo.

Analisando os resultados verificou-se que a substituição do cimento Portland CPI-40 por cinza, não apresentou aumentos pertinentes nos resultados de resistência à compressão, é possível observar que no Traço 5 (10% CCA) aos 28 dias apresentou o valor médio de resistência 7% menor em relação ao Traço 1 (referência) na mesma idade, como se pode observar na Figura 16 o gráfico mostra que nas primeiras idades apresenta 44% e nos 28 dias apresenta apenas 7%, provavelmente a medida que avança a idade a tendência é haver um ganho de resistência em idades mais avançadas.

Tashima (2006, p. 69) apresentou resultados da média da resistência à compressão do traço referência, traço 5, 10 e 15% de CCA para os dias 3, 7, 14 e 28 dias, verificou resultados um pouco diferentes onde mostra que todas as porcentagens estudadas houve uma melhora a resistência à compressão da argamassa, à medida que aumenta a porcentagem de substituição, aumenta o ganho de resistência. Verificou-se também que para a idade de 3 dias o ganho de resistência é muito pequeno, pelo fato da pozolana não

ter obtido o seu efeito, mas nas idades entre 7 e 28 dias é onde se tem o maior ganho de resistência, o ganho de resistência da argamassa chega a mais de 40%, na idade de 14 dias, no traço de 15% de substituição (Figura 5).

Figura 5 - Variação entre os traços 1 e 5.



Fonte: Autora.

O elevado ganho de resistência do Traço 5 (10% CCA), quando comparado com a variação de resistência do Traço 1 (referência), ocorre segundo Bezerra (2011), porque a sílica deixa de reagir quimicamente de maneira significativa como aglomerante, que é responsável por dar resistência e começar a agir fisicamente como um filer e com isso os poros acabam sendo preenchidos e com isso diminui o índice de vazios e aumenta a durabilidade da argamassa.

5 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados das porcentagens mais altas, ficaram abaixo do esperado, quando comparados ao Traço 1 (referência). A adição que apresentou um melhor comportamento, foi em torno de 10%, mas buscou-se a utilização de percentuais maiores de cinza, o que tornaria a adição comercialmente mais rentável, então pode-se concluir que a argamassa para utilização de fins estruturais não seria adequada.

REFERÊNCIAS

- AKASAKI, Jorge; SILVA, Everton; TASHIMA, Mauro; BARBOSA, M. Influência da adição de cinza de casca de arroz nos tempos de pega e retração por secagem, 2022.
- ARROZ: o Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz em casa do Brasil. Altas Sócio e econômico. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/arroz> . Acesso em: 30 out. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **BT-106**: guia básico de utilização do cimento Portland, 2002
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR MB 3432**. Cimento Portland -determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, 1991. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR NM 23. Cimento Portland e outros materiais – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 43**. Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 65**. Cimento Portland – Determinação de tempo de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 4p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR16606**. Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR16607**. Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR16697**. Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7215**. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7214**. Areia para Ensaio de Cimento – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- BATTAGIN, Arnaldo Forti. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/historia/>. Acesso em: 12 ago. 2021.
- BEZERRA, Izabelle M. T. *et al.* Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]**. 2011, v. 15, n. 6, p. 639-645. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600015>.
- CARMO, J. B. M. do e Portella, K. F. Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto. **Cerâmica [online]**. v. 54, n. 331, p. 309-318, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132008000300007>
- COLLATTO, D. *et al.*. Utilização da Sílica da casca de arroz na produção de concreto usinado em central. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 53., 2011, Florianópolis. **[Anais...]**. IBRACON, 2011. p. 1 -11.

COMO REDUZIR A PEGADA DE CARBONO NA CONTRUÇÃO CIVIL. UGREEN, 2019. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/como-reduzir-a-pegada-de-carbono-na-construcao-civil/>. Acesso em: 17 nov. 2021.

CORDEIRO, G. C. *et al.*. Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios. **Química Nova [online]**, v. 32, n. 1, p. 82-86, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000100016>.

CORDEIRO, G. C. *et al.*. Ultrafine Grinding of Sugar Cane Bagasse Ash for Application as Pozzolanic Admixture in Concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 39, n. 2, p. 10-115, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.11.005>

CRAWFORD, R. H. **Life cycle assessment in the built environment**. 1st Edition. London, 2011. 272 p. 2-21 p. <https://doi.org/10.4324/9780203868171>

CROCHE, Sheila Regina Costa. **Obtenção de celulose a partir da casca de arroz para aplicação em materiais compósitos**. 2018. 54 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Curso de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

CURTI, Rubens. **Concreto matérias primas**. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/98414319/1-Concreto-materias-primas>. Acesso em: 30 out. 2021.

D'AMICO, A. *et al.* Building energy performance forecasting: a multiple linear regression approach. *Applied Energy*, 253, 113500, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113500>

DOS SANTOS, Cristiane Carine *et al.* Análise da resistência e microestrutura em concretos com substituição parcial de cimento por microssílica da cinza de casca de arroz e substituição parcial da areia natural por areia de fundição. *Salão do Conhecimento*, 2015.

FERNANDES, I. J. *et al.* Comparação de cinza da casca de arroz e sílica comercial como carga em compósitos poliméricos. *In: CBECIMAT*, 21., 2014. [**Proceedings...**]. v. 2665, p. 2672, 2014.

FERNANDES, Iara; ARAUJO DOS SANTOS, Emanuele; OLIVEIRA, Roxane; REIS, Janaina; CALHEIRO, Daiane; MORAES, Carlos Alberto; ESPINOSA MODOLO, Regina. Caracterização do resíduo industrial casca de arroz com vistas a sua utilização como biomassa. *In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS*, 6., 2015. [**Anais...**], 2015.

FOGAÇA, J. R. V. **Sílica e silicose**. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/silica-silicose.htm>. Acesso em: 17 ago. 2021.

FOLETTTO, Edson Luiz; HOFFMANN, Ronaldo; HOFFMANN, Rejane Scopel; PORTUGAL JR, Utinguassú Lima; JAHN, Sergio Luiz. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Quim. Nova**, v. 28, n. 6, p. 1055-1060, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000600021>

GAVA, G. P. **Estudo comparativo de diferentes metodologias para avaliação de atividades pozolânicas**. Florianópolis, 1999. 118p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

GLOBO RURAL. Arroz – Maior produtor de arroz do Brasil, Rio Grande do sul abre oficialmente a colheita. Disponível em: <https://alfonsin.com.br/arroz-maior-produtor-de-arroz-do-brasil-rio-grande-do-sul-abre-oficialmente-a-colheita/>. Acesso em: 30 out. 2021.

GOMES, C *et al.*. Redução potencial do cimento Portland por meio da sílica da casca de arroz (SCA). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 55., 2013. [Anais...]. Florianópolis: IBRACON, 2013. p. 1 -10.

GOMES, C *et al.*. Redução potencial do cimento Portland por meio da sílica da casca de arroz (SCA). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 57., 2015. [Anais...]. Bonito-MS.: IBRACON, 2015. p. 1 -10.

GURGEL, F. L. **A cultura do Arroz**. 2012. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAARc4AE/cultivo-arroz>. Acesso em: 20 ago. 2021.

HOFFMANN, R; JAHN, S. L; BAVARESCO, M ; SARTORI, T. C.. Aproveitamento da cinza produzida na combustão da casca de arroz: estado da arte. 2010. 14p. Disponível em: http://coral.ufsm.br/cenergia/images/arte_final.pdf. Acesso em: 25 ago. 2021.

ISAIA, Geraldo C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. 1712 p

JUNIOR, Félix Krolow Sell. *et al.*. Desempenho de concreto com substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Paraná, v. 11 n.4, p.182-191, dez/2019. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/como-citar-uma-revista-nas-normas-abnt-imprensa-ou-digital/>. Acesso em: 20 dez. 2021.

KARPINSK, L. A. *et al.* **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil**: uma abordagem ambiental. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.

KIELING, A. G. **Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolanas e material adsorvente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UNISINOS. São Leopoldo, RS, 2009.

LONDERO, Charles. **Valorização da cinza da casca de arroz com aplicação no concreto**. 2017. 41 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia de Energia – Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Araranguá, Araranguá, 2017.

LOPES, Emanoelli R. *et al.* Caracterização elementar da casca de arroz e suas cinzas por métodos após decomposição ácida com sistema de refluxo. **Química Nova [online]**, v. 40, n. 9, p. 1009-1017, 2017. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170119>

LUDWIG, Douglas. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz**. Trabalho de Conclusão de curso Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2014.

MARANGON, E *et al.*. Atividade pozolânica da sílica da casca de arroz produzida por combustão em leito fluidizado. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 57., 2015. [Anais...]. Bonito, MS: IBRACON, 2015. p. 1 -10.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 2008. 574 p.

MEHTA, P. K.; PITT. A new Process of Rice Husk Utilization *In*: RICE BY-PRODUCTS UTILIZATION – INTERNACIONAL CONFERENCE. Valencia, Espanha, 1974, p. 46-58.

MENEZES, Romualdo R. *et al.* Atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]**, v. 13, n. 6, p. 795-801, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000600019>.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

OLIVEIRA C. M; TANNOUS K. Fluidodinâmica de biomassa em leito fluidizado gasoso. 5f. VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2009. [Anais...]. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 2009.

PAULA, M. O.; Tinôco, I. de F. F.; Rodrigues, C. S.; Silva, E. N.; Souza, C. F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p. 353-357, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300019>

PEREIRA, A.C. **Influência das adições minerais na durabilidade do concreto sujeito à carbonatação**. 2003. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150001.0023>

PEREIRA, A. M. *et al.*. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. **Matéria** (Rio de Janeiro) [online], v. 20, n. 1, p. 227-238, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150001.0023>.

PETRUCCI, E. G. **Concreto de cimento portland**. 13. ed. São Paulo: Editora Globo. 1971.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vista à produção de cimento composto e/ ou pozolânico**. 2006. 345 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

PRINCIPAIS AGREGADOS PARA CONCRETO. Cimento Maua. Disponível em: <https://cimentomaua.com.br/principais-agregados-para-concreto/>. Acesso em: 24 nov. 2021.

PRODUÇÃO DE GRÃOS DA SAFRA 2020/2021 SEGUE COMO MAIOR DA HISTÓRIA. Conab, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3691-producao-de-graos-da-safra-2020-21-segue-como-maior-da-historia-268-9-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 21 dez. 2021

RAMBO, Diel Magale. **Aproveitamento da casca de arroz para a produção de xilitol e sílica xerogel**, 2009

SAFRA 2020/2021 CHEGA AO FIM COM PRODUTIVIDADE RECORD RS. Conab, 2021. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/safra-2020-2021-chega-ao-fim-com-productividade-recorde-no-rs>. Acesso em: 21 dez. 2021

SANTOS, S. Produção e avaliação do uso de pozolâna com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho. 2006. 267 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.

SANTOS, Sílvia Regina. **Estudo do comportamento do concreto quando elevado a altas temperaturas**. 2021. 82 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Rio Grande, FURG, Rio Grande, 2021. 21 p.

SÍLICA ATIVA: por que usá-la na sua construção? Tecnosilbr, 2018. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/silica-ativa-por-que-usa-la-na-sua-construcao-2/>. Acesso em: 29 out. 2021.

- SILVA, C. A. R. **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção Civil.** 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2009. 36 p.
- SOUZA, J. *et al.* Avaliação de argamassas com cinza e casca de arroz. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA*, 51., 2007. [Anais...]. Salvador, 2007.
- THASHIMA, M. M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland.** 2006. 80f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira – SP, 2006
- THASHIMA, M. M.; SILVA, C. A. R.; AKASKI, JL.; BARBOSA M. B. Influence of rice husk ash in mechanical characteristics of concrete. *In: INTERNACIONAL ACI/CANMET CONFERENCE ON QUALITY OF CONCRET STRTUCTURES AND RECENTE ADVANCES IN CONCRETE MATERIALS END TESTING*, 4., 2003. [Anais...]. Olinda, 2003.
- TIBONE, R. **A utilização de cinza de casca de arroz de termoeétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland.** 2007. 139f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007
- TORALLES-CARBONARIA, B. M. *et al.* Utilização do método ultra-sônico para avaliação da performance do concreto de alto desempenho. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais [online]**, v. 3, n. 4, p. 494-511, 201. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952010000400008>.
- VILLENA, J; TRICHÊS, G; PRUDÊNCIO, L; SALM, V.: Aproveitamento da cinza de casca de arroz na produção do concreto compactado com rolo de pavimentação. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE.* [Anais...]. Congestas, 2016.
- WEBER, S. L. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza de casca de arroz.** Florianópolis, 2001. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- ZHANG, M. H.; MALHOTRA, V. M. High-performance concrete incorporating rice husk ash as a supplementary cementing material. **ACI Materials Journal**, v.93, n.6, November/December, p.629-636, 1996. <https://doi.org/10.14359/9870>