



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DE ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE CINZAS DA ALGAROBA

ARTIGO ORIGINAL

CICERO, João Vitor¹, ARAÚJO, José Breno de Freitas², SILVA, Emerson José da³, LAURSEN, Anderson⁴

CICERO, João Vitor. *Et al.* **Avaliação do desempenho mecânico de argamassa com adição de cinzas da algaroba.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 11, Vol. 10, pp. 23-40. Novembro de 2022. ISSN: 2448-0959, Link de acesso:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/cinzas-da-algaroba>,

DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/cinzas-da-algaroba

RESUMO

A lenha da algaroba é utilizada quase exclusivamente como combustível nos fornos de secagem e queima de produtos cerâmicos nas olarias, gerando uma cinza como resíduo/subproduto. As cinzas da lenha da algaroba apresentam elevadas concentrações de metais alcalinos e alcalinos - terrosos, principalmente CaO e K₂O. A pergunta norteadora do presente trabalho foi: As cinzas de algaroba influencia diretamente na resistência e economia da argamassa? Esta pesquisa objetiva avaliar o desempenho mecânico de argamassas com adição de cinzas de algaroba. A metodologia utilizada foi a realização de um programa experimental disposto que relata o comportamento da argamassa inorgânica de cimento Portland CP V ARI para utilização de chapisco e emboço, sob o uso das cinzas de algaroba. Para realização do programa, foram estudadas uma amostra de referência sem adição das cinzas de algaroba e metacaulim, nomeada TR-REF além de outras quatro amostras com adição fixa de 5% de metacaulim respectivamente, denominadas TR-A5%, TR-A10%, TR-S5% e TR-S10%, contendo adição e substituição 5% e 10% das cinzas da algaroba mutuamente. Os ensaios de caracterização das argamassas foram executados no Laboratório de Engenharia Civil do Centro Universitário Vale do Ipojuca UNIFAVIP | YDUQS. Os resultados aqui apontados evidenciaram que os resíduos sólidos puderam conferir a resistência e assim obter um novo destino, enquanto o traço de referência demonstrou-se ser maior pela utilização do cimento. Em relação às adições de cinzas, foi possível chegar aos valores próximos à referência esperada,



possibilitando economia do cimento utilizado. Logo, concluiu-se que as cinzas de algaroba podem ser utilizadas como adição na argamassa de maneira eficaz.

Palavras-chave: Argamassa, Cimento Portland, Resíduo.

1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental está inserida nas diversas áreas de estudo, uma vez que o meio ambiente é fonte de matérias primas e energia, local de despejo dos rejeitos das atividades produtivas e contribui de maneira significativa para o bem-estar da população (CAI *et al.*, 2018).

O setor da construção civil é um dos ramos da economia que mais faz uso dos recursos naturais, logo, a utilização dos resíduos gerados nos mais diversos processos produtivos como matéria prima alternativa pode contribuir para redução dos impactos causados ao meio ambiente (CONTRERAS *et al.*, 2016).

O uso de resíduos sólidos na produção de argamassas contribui para minimizar os impactos negativos do descarte inadequado desses no meio ambiente. Porém para que venham ser fonte de matéria prima aceita pelo mercado se faz necessária a realização de estudos técnicos que comprovem sua viabilidade técnica nesses usos (YANG *et al.*, 2018).

Nesse sentido, a algaroba constituiu-se como uma ação bem sucedida de introdução de xerófilas na região seca do Nordeste, sendo seus frutos usados na alimentação animal e a madeira em estacas, lenha e carvão.

A madeira e os frutos da algaroba podem ser de grande valia para o homem do campo das terras semiáridas, se forem aplicados processos mais aprimorados de aproveitamento. No entanto, é importante que as pessoas que se engajarem em iniciativas de introdução dos produtos advindos da algaroba na cadeia produtiva da região tenham disponível amparo técnico e econômico, por parte das instituições de pesquisa e financeiras (MYMRIN *et al.*, 2017).



Como problema de pesquisa, esse escrito apontou a seguinte pergunta norteadora: A utilização das cinzas de algaroba contribui positivamente à constituição da argamassa para construções civis? Como hipótese à inquietação, é válido ressaltar que esse uso pode ser um aditivo que agrega positivamente à argamassa, aumentando a resistência do produto.

Assim, a proposta trazida pela temática do presente trabalho justifica-se pela necessidade de destinação adequada aos resíduos, além de oferecer mais resistência à argamassa na construção civil, e favorecer o meio ambiente por tornar-se uma medida sustentável nesta área de seguimento. Por fim, o presente trabalho objetiva avaliar o desempenho mecânico de argamassas com adição de cinzas de algaroba.

2. MATERIAIS

O aglomerante utilizado no programa experimental foi o Cimento Portland CP-V ARI – Alta Resistência inicial e Secagem Ultrarrápida. Caracterizado como agregado miúdo, a areia natural fina, obtida em armazém de construção. Foi utilizado água potável concebida da rede de distribuição de água da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA.

As cinzas usadas, são provenientes de restos da madeira algaroba queimada da lavanderia Nova Geração, situada em Caruaru-PE. As cinzas de algaroba apresentaram características homogêneas para sua inserção em argamassa de cimento Portland. Após a coleta da cinza de lenha no forno da lavanderia Nova Geração, este resíduo foi transportado para laboratório e submetido a um peneiramento prévio na peneira de malha 200, com abertura de 75 micrômetros.

Foi utilizado o metacaulim B7, que é obtido em armazém de construção disponíveis em sacos de 20 kg, tem como características: retenção em peneira ASTM 200 de 1%, finura Blaine de 1,500m²/kg, cor: rosa, nome químico silicato de

alumínio, estabilidade estável, reatividade inerte. Percentagem média por peso: $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ de 95% mínimo e perda ao fogo (L.O.I) de 2% máximo.

3. METODOLOGIA

Através de estudos percebe-se que o traço mais utilizado de argamassa para avaliação ou critérios de pesquisas é o traço de 1:3, que significa uma proporção de cimento e três proporções de areia, essas informações se dizem respeito ao traço de referência. Dessa forma, o Quadro 1:

Quadro 1: Traço 1:3 com Metacaulim Fixo 5%

Traço	Cimento	Areia	Metacaulim	C.Algaroba	Água	Relação	IC
	(g)				(ml)	(a/c)	(mm)
TR-REF	625	1,875	0	0	520	0,83	255,63
TR-A5%	625	1,875	31,25	31,25	545	0,87	262,33
TR-S5%	593,75	1,875	31,25	31,25	522	0,88	264
TR-A10%	625	1,875	31,25	62,50	550	0,88	260
TR-S10%	562,5	1,875	31,25	62,50	530	0,94	259,67

Fonte: Autor (2022).

Foram estudadas 5 diferentes tipos de amostras, uma amostra de referência, nomeada TR-REF, onde essa mostra não contém adição de cinzas de algaroba e nem de metacaulim, e as outras 4 amostras com adição fixa de 5% de metacaulim respectivamente, denominadas: TR-A5% ,TR-A10%, integrando uma adição de 5% e 10% das cinzas da algaroba na massa do aglomerante. TR-S5%, TR-S10%, essas amostras contém uma substituição de 5% e 10% das cinzas da algaroba na massa do aglomerante.



4. MÉTODOS

4.1 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

O índice de consistência é adquirido numa mesa para (seca e lima) a argamassa é moldada em um molde cônico posicionado de forma centralizada sobre a mesa chegando à determinação do índice de consistência (Ic) (ABNT, 2016). Para tanto, é necessário que a mistura da argamassa seja preparada devidamente (ABNT, 2016).

4.2 DETERMINAÇÃO DE TEOR DE AR INCORPORADO

Utiliza-se um aparelho pressométrico de incorporador de ar, que consiste em um recipiente hermeticamente fechado onde é completamente preenchido com argamassa fresca (ABNT, 2016).

4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para realização deste procedimento foram moldados corpos de prova em dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura (Figura 1).

Figura 1: Ensaio Resistência à compressão



Fonte: Autor (2022).

Nesse ensaio foram moldados 12 corpos de prova, a fim de realizar ensaios com 7 dias, 14 dias e 28 dias.

4.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A resistência à tração por compressão diametral passou a ser definida conforme a Figura 2 apresenta:

Figura 2: Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral



Fonte: Autor (2022).

Nesse ensaio foram moldados 3 corpos de prova, a fim de realizar ensaios com 28 dias.

4.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

A Determinação absorção de água é definida pelo modo em que os moldes são retirados da submersão a água saturada com cal, levados até a estufa onde ficaram por 24 horas. Após ter passado pelo recipiente com a lâmina d'água, a ruptura é feita através da máquina ligada ao computador onde o resultado é mostrado em (MPa). Na pós-ruptura, observamos o molde de corpo de prova aberto onde se pode retirar informações e medidas em cm da ascensão da água. No presente ensaio foi retirado os moldes com idade de 28 dias (ABNT, 2012).

5. RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os resultados do programa experimental, analisados em função dos materiais empregados. Logo, o Quadro 2 evidencia a Distribuição Granulométrica e Caracterização Física do Agregado:

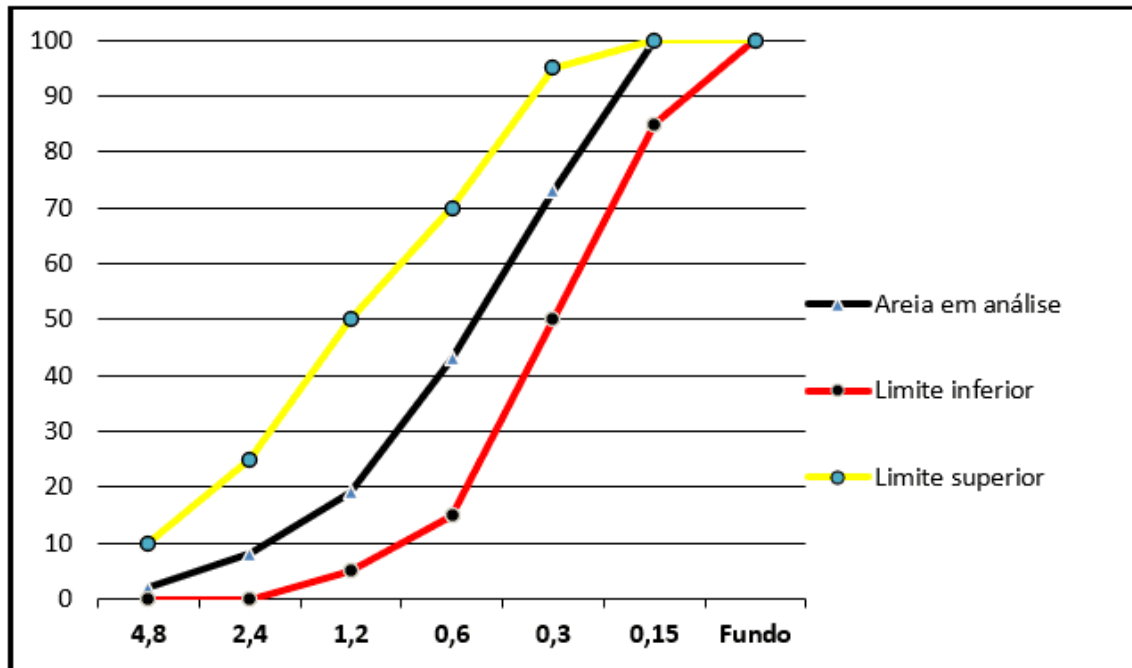
Quadro 2: Distribuição Granulométrica e Caracterização Física do Agregado

A. das Peneiras (mm)	Massa retida (g)		Massa retida (%)		Variação ± 4	Média %	Acumulada %
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2			
4,8	0	0	0	0	0	0	0
2,4	11,5	14,4	2,3	2,9	0,6	2,6	2,6
1,2	26,9	25,9	5,4	5,2	0,2	5,3	7,9
0,6	58,4	58,3	11,7	11,7	0,0	11,7	19,6
0,3	117,4	115,4	23,5	23,2	0,3	23,3	42,9
0,15	154,7	153,6	31,0	30,8	0,1	30,9	73,8
Fundo	130,5	130,3	26,1	26,2	0,0	26,2	100,0
Total	499,4	497,9					
Diâmetro Máximo			2,4 mm				
Módulo de Finura			1,468				

Fonte: Autor (2022).

Como os percentuais retidos acumulado em cada peneira foi possível determinar o módulo de finura e podemos classificar como areia fina de representatividade contínua, pois o mesmo apresenta todas as frações em sua curva granulométrica sem grandes mudanças. A Figura 3 apresenta a curva de distribuição granulométrica.

Figura 3: Curva de Distribuição Granulométrica



Fonte: Autor (2022).

5.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AR INCORPORADO E DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

O Quadro 3 traz os resultados obtidos do ensaio de teor de ar incorporado, realizado através do método pressométrico.



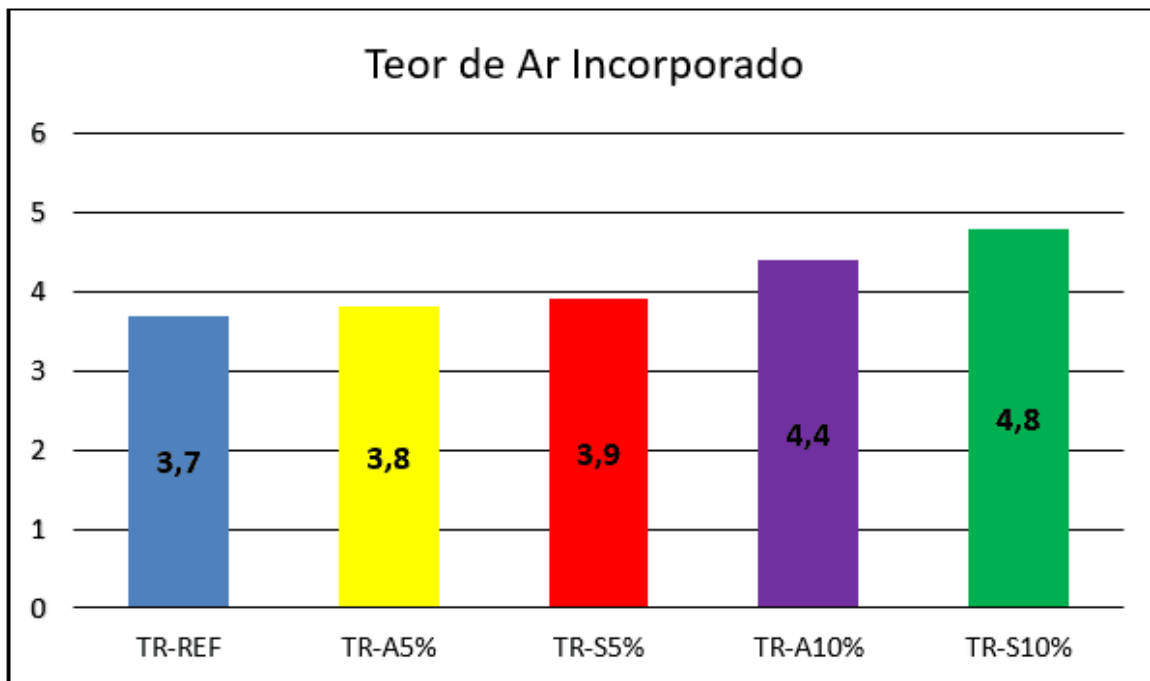
Quadro 3: Teor De Ar Incorporado.

Teor de Ar Incorporado	
Traço	Ar (%)
TR-REF	3,7
TR-A5%	3,8
TR-S5%	3,9
TR-A10%	4,4
TR-S10%	4,8

Fonte: autor (2022).

A amostra TR-REF apresentou um teor de ar incorporado de 3,7%, enquanto as amostras TR-A5%, TR-S5%, TR-A10% e TR-S10% apresentaram um teor de ar incorporado de 3,8%, 3,9%, 4,4% e 4,8% respectivamente. Para os traços com adição de cinzas, percebe-se que houve um aumento da porcentagem de ar dentro da argamassa. Esse fato, provavelmente, pode ter se relacionado com a presença das cinzas na mistura onde pode ter proporcionado o aprisionamento de ar. Na figura 4 está relacionado ao teor de ar incorporado.

Figura 4: Resultado Do Ensaio De Teor De Ar Incorporado



Fonte: autor (2022).

No traço com 5% de substituição e com 5% de metacaulim todas as famílias com traço 1:3 (cimento, areia e relação água/cimento), apresentaram teor de ar incorporado de 3,8. As argamassas utilizadas com traço de 1/3 (cimento e areia), com adição de 5% e 5% metacaulim fixo em substituição de parte do cimento, neste ensaio teve 31,25g das cinzas da algaroba, peneiradas na malha 200 com abertura de 75 micrometro e 31,25g de metacaulim.

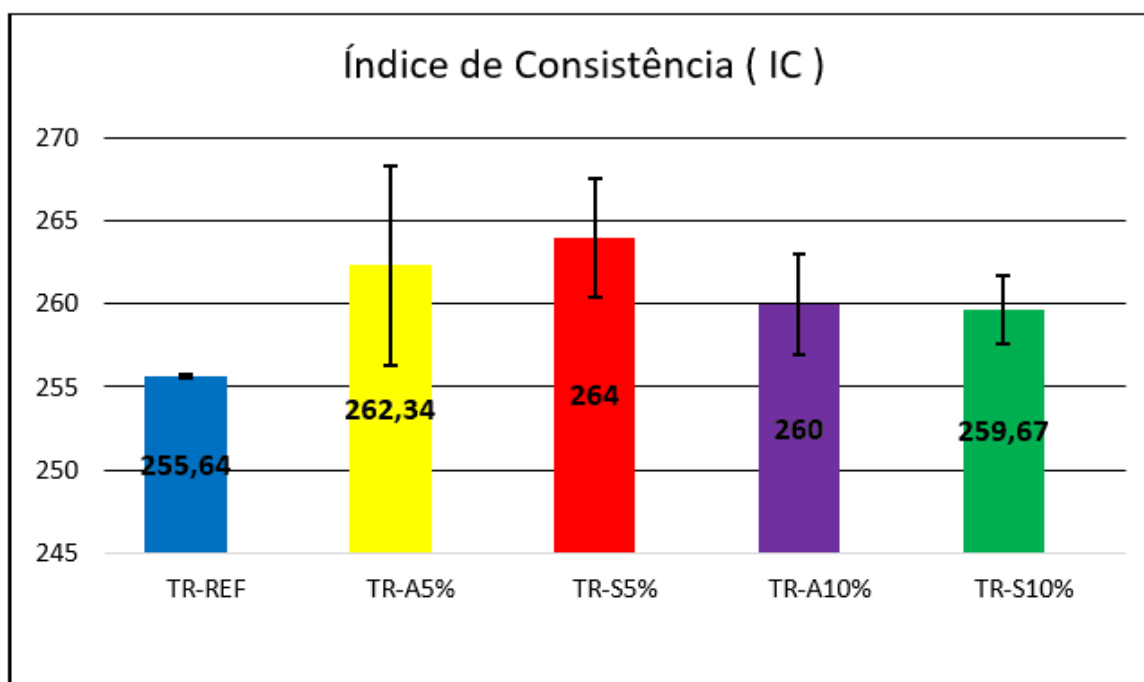
A média das amostras sobre trabalhabilidade apontaram que para haver melhor auxílio e interpretação dos dados apresentados, a figura 5 e o quadro 4 com dados obtidos através dos ensaios (ABNT, 2005).

Quadro 4 – Resultado Do Ensaio Do Índice De Consistência

Índice de Consistência		
Traço	Média (mm)	Des. Padrão
TR-REF	255,64	0,15
TR-A5%	262,34	6,02
TR-S5%	264	3,60
TR-A10%	260	3,00
TR-S10%	259,67	2,08

Fonte: Autor (2022).

Figura 5: Índice de consistência das amostras estudadas



Fonte: Autor (2022).

A amostra de controle, a TR-REF, com relação A/C de 0,83, apresentou um índice de consistência média de 255,64 mm. As amostras TR-A5%, TR-S5%, TR-A10% e

34



TR-S10% constatarem índice de consistência médio de 262,34; 264; 260 e 259,67 mm respectivamente.

Percebeu-se que, a princípio, com a adição das cinzas e a adição fixa do metacaulim, há um aumento do índice de consistência médio para atingir a trabalhabilidade ideal, e o traço tende a se adequar com a trabalhabilidade de 255 mm mais ou menos 10 mm (ABNT, 2016).

Com relação à amostra de referência (TR-REF), as amostras TR-A5% e TR-S5% apresentaram um aumento de índice de consistência médio de 2,62 % e 3,27% respectivamente, as demais amostras TR-A10% e TR-S10% também apresentaram um aumento de índice de consistência médio de 1,71% e 1,58% respectivamente. Vale destacar que a relação água/ cimento dos traços foram distintas, levando em consideração apenas a norma citada anteriormente.

5.2 DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados da resistência à compressão aos corpos de provas aos 7 dias, são apresentados no quadro 5, são valores médios de compressão e de desvio padrão para cada traço. A amostra TR-REF obteve uma resistência média de 19,09 MPa enquanto as demais amostras TR-A5%, TR-S5%, TR-A10% e TR-S10% obtiveram resistências à compressão médias de 23,41, 16,52, 15,56 e 17,45 respectivamente. A amostra TR-A5% teve o maior desempenho quando comparado às demais amostras apresentadas.

É possível observar o resultado da resistência à compressão dos corpos de prova aos 7 dias. Percebe-se que, conforme adicionadas as cinzas de algaroba e do metacaulim a resistência à compressão é diminuída em 3 amostras quando comparada ao TR-REF.

Verifica-se que, aos 14 dias, a mostra de referência teve resistência à compressão média de 20,27 MPa, às amostras TR-A5% e TR-S5% apresentaram resistência à



compressão média de 20,36 MPa e 20,07 MPa respectivamente, às MPa amostras TR-A10%, e TR-S10%, com resistência à compressão média de 24,94 MPa e 22,06 MPa mutuamente.

Verifica-se que, aos 14 dias, a amostra TR-S5% continua a apresentar resultados de menor resistência a compressão quando comparadas a amostra de referência TR-REF, as demais amostras TR-A5%, TR-A10%, e TR-S10%, apresentaram um aumento de 0,45%; 23,04% e 8,83% relativamente quando comparadas a mostra de referência TR-REF.

Observa-se que, aos 28 dias a Resistência à compressão média da mostra TR-REF de 23,21 MPa, às amostras TR-A5%, TR-S5%, TR-A10% e TR-S10% obtiveram resistência à compressão média de 27,91, 22,97, 28,24 e 24,54 MPa relativamente.

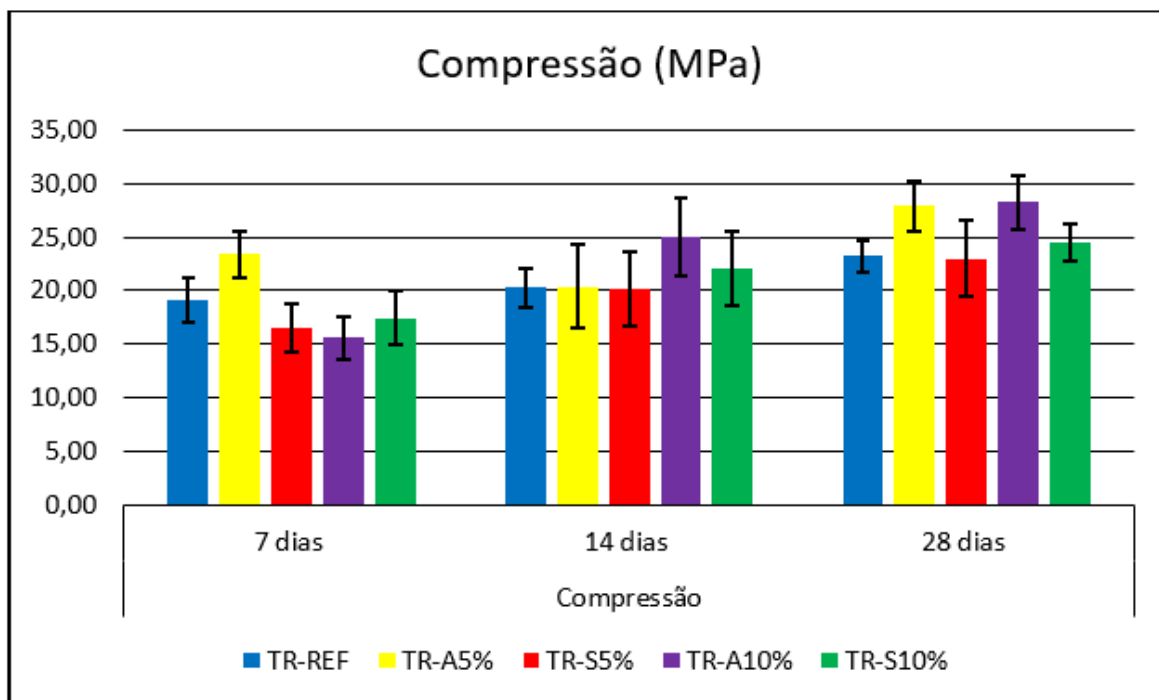
Percebe-se que às amostras TR-A5%, TR-A10%, TR-S10% apresentaram um ganho de resistência à compressão média de 20,25%, 21,67% e 5,73% respectivamente quando comparadas à amostra de referência TR-REF, já à amostra TR-S5% apresentou uma perda de resistência à compressão média de 1,03% em relação à TR-REF. Dessa forma o Quadro 5 e a figura 6.

Quadro 5 - Resistência à compressão aos 7,14 e 28 dias

Resistência a Compressão						
Traço	Compressão (MPa)			Desvio Padrão		
	7 dias	14 dias	28 dias	7 dias	14 dias	28 dias
TR-REF	19,09	20,27	23,21	2,10	1,85	1,44
TR-A5%	23,41	20,36	27,91	2,17	3,94	2,36
TR-S5%	16,52	20,07	22,97	2,21	3,48	3,58
TR-A10%	15,56	24,94	28,24	1,98	3,64	2,48
TR-S10%	17,45	22,06	24,54	2,55	3,53	1,75

Fonte: Autor (2022).

Figura 6: Resistência à Compressão Aos 7,14 E 28 Dias



Fonte: Autor (2022).

5.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os resultados da resistência à tração por compressão diametral aos corpos de provas cilíndricos aos 28 dias, são apresentados no Quadro 6, são valores médios para cada traço. A amostra TR-REF obteve uma resistência média de 9,78 MPa enquanto as demais amostras TR-A5%, TR-S5%, TR-A10% e TR-S10% obtiveram resistências à compressão médias de 7,5, 7,67, 7,83 e 7,72 MPa respectivamente. A amostra TR-REF teve o maior desempenho quando comparado às demais amostras apresentadas, como demonstra o Quadro 6:



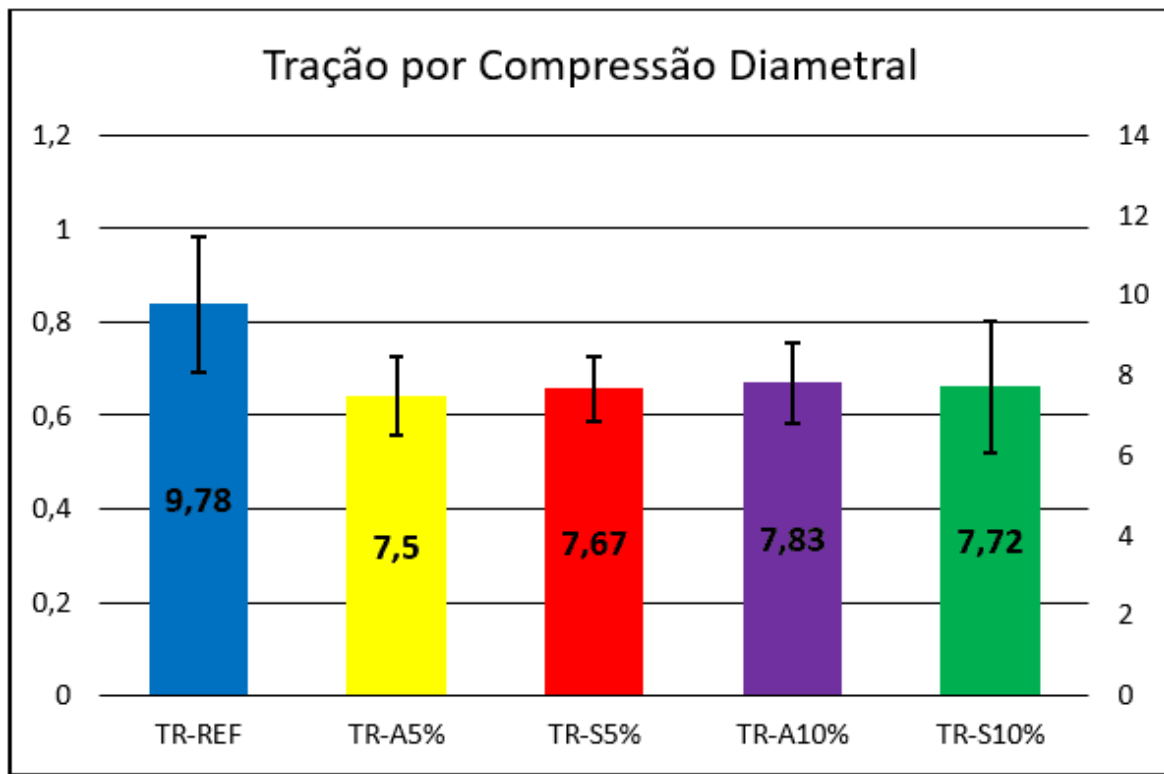
Quadro 6 - Resistência Tração por compressão diametral aos 28 dias

Tração por Compressão Diametral		
Traço	Média (MPa)	Des. Padrão
TR-REF	9,78	1,68
TR-A5%	7,5	0,98
TR-S5%	7,67	0,8
TR-A10%	7,83	1,01
TR-S10%	7,72	1,66

Fonte: Autor (2022).

Percebe-se na figura 7 que, às amostras TR-A5%, TR-S5%, TR-A10% e TR-S10% apresentaram uma perda de resistência à tração por compressão diametral média de 23,32%, 21,58%, 20,04% e 21,17% respectivamente, quando comparadas à amostra de referência TR-REF, à mesma apresentou o melhor resultado da resistência à tração por compressão diametral média em relação à todas as amostras citadas (ABNT, 2010).

Figura 7: Resultado do ensaio de resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias



Fonte: Autor (2022).

5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Os resultados da absorção de água por capilaridade aos 28 dias, são apresentados na tabela 7, são valores médios para cada traço. A amostra TR-REF obteve absorção média de 30 mm enquanto as demais amostras TR-A5%, TR-S5%, TR-A10% e TR-S10% obtiveram absorção médias de 25, 36, 30 e 31,67 mm respectivamente. A amostra TR-S5% teve a maior absorção de água por capilaridade quando comparado às demais amostras apresentadas. Dessa forma, o Quadro 7 demonstra:

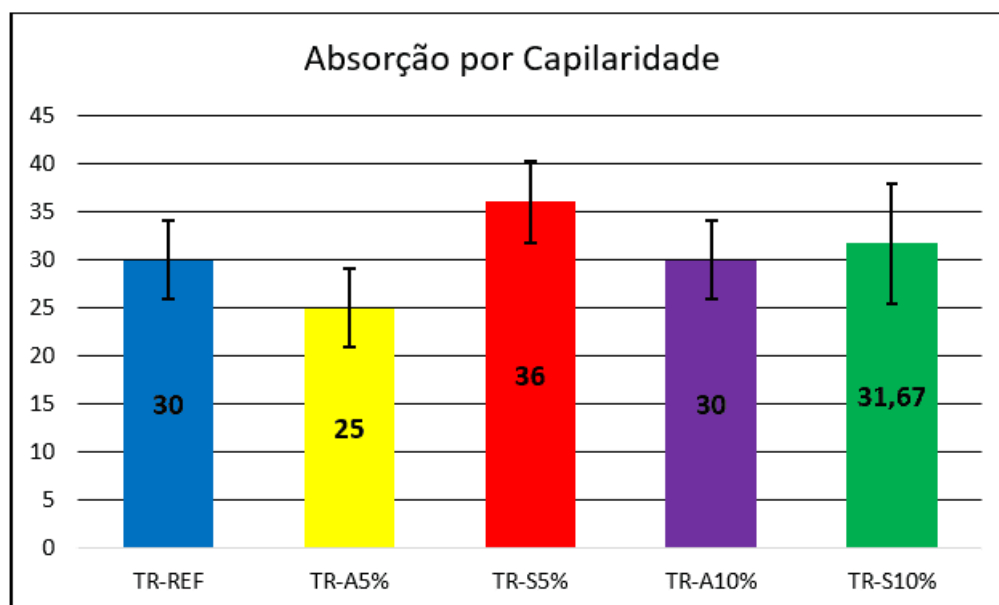
Quadro 7 - Absorção de água por capilaridade

Absorção por capilaridade		
Traço	Média (mm)	Desvio Padrão
TR-REF	30,00	4,08
TR-A5%	25,00	4,08
TR-S5%	36,00	4,32
TR-A10%	30,00	4,08
TR-S10%	31,67	6,24

Fonte: Autor (2022).

Observa-se na Figura 8 que, as amostras TR-REF e TR-A10% obtiveram resultados iguais, as amostras TR-S5% e TR-S10% apresentaram resultados superiores de 20% e 5,57% mutuamente, quando comparadas as amostras citadas anteriormente, já a amostra TR-A5% constatou resultado negativo de 16,67% quando comparada a amostra de referência TR-REF (Figura 8):

Figura 8: Resultado do ensaio da absorção por capilaridade



Fonte: Autor (2022).

Observa-se que os traços que contém a adição de cinzas em teores de 5% e 10% apresentaram menor percentual de absorção. Segundo Melo (2012) esse comportamento, supostamente, se dá pelo melhoramento do empacotamento das argamassas com adição das cinzas, que diminui os raios capilares e bloqueia os poros com a presença de partículas das cinzas, que dificulta a percolação da água nas estruturas das argamassas. Logo, o Quadro 8:

Quadro 8 – Observação dos pesos

Observação dos pesos							
Traço	Moldes	Seco	3 horas	6 horas	24 horas	48 horas	72 horas
TR-REF	1	340,4	345	348,3	355,8	360,2	362,6
	2	333	335	337	343	347,2	349,6
	3	344,6	349,5	353,4	363,1	368,1	370,8
TR-A5%	1	343,1	347,9	351,5	360,5	365,2	367,7
	2	330,1	334,2	335	341	344,2	346
	3	330,4	332,8	334,4	340,2	343,4	345,1
TR-S5%	1	340,3	346,6	350,4	358,6	362,5	364,3
	2	323,7	331,9	336,8	348	353,6	356
	3	330,3	339	344	355	360,6	363
TR-A10%	1	337,8	341,6	343,5	348,3	351,2	352,7
	2	330,5	334,8	337,5	343,4	346,1	347,5
	3	338,8	344,5	347,3	354,1	357,3	359,1
TR-S10%	1	338,6	344,8	348,1	355,8	359,6	361,5
	2	342,2	348,1	351,1	358	361,4	363,3
	3	340,9	344,1	347,2	353	356,3	358,1

Fonte: Autor (2022).

Para melhor entendimento, o quadro 8 mostra a variação dos pesos dos moldes de corpo de prova, em relação a absorção de água por capilaridade. Segundo Helene (1993), a absorção de água no concreto é uma das formas características mais difíceis de se controlar, por se tratar de um material hidrófilo, cujo aquele que



tem uma forte ligação com a água, o autor ainda afirma que este fenômeno da capilaridade é a forma mais comum e poderosa de absorção por meio de agentes agressivos ao concreto.

6. CONCLUSÃO

Por meio dos resultados obtidos no estudo experimental, a cinza de algaroba pode ser usada sim, numa forma de economia com uma parcela do aglomerante que é o cimento, e também dando destino a um resíduo que antes não tinha. Outro detalhe que possibilita o uso das cinzas, é que a resistência à compressão ficaram muito próximas quando comparadas ao traço de referência, sendo estas considerações iniciais respostas à pergunta norteadora deste artigo. Por relação química, já se tem uma maior resistência pelo simples fato de estarmos usando o cimento CP V - ARI, as amostras analisadas corresponderam muito bem a todos os requisitos, visto que os ensaios quando não ficaram acima da média, ficavam muito próximos da média quando comparadas ao de referência.

O presente trabalho se ocupou de estudar a adição da cinza de algaroba em argamassa, substituindo o cimento Portland, esse processo ocorreu mediante a queima da árvore de algaroba e sua transformação em aditivo mineral. A determinação da dosagem do estudo dependeu, entre outros motivos, do tipo de forno disponível no laboratório e na viabilidade cronológica do estudo, tendo o levantamento e análise de dados sido realizados em menos de um semestre letivo.

Quanto aos materiais pode-se afirmar que a transformação da lenha da algaroba em aditivo mineral (cinza) e a seleção e análise do material utilizado na composição das amostras atenderam às exigências das normas específicas para cada etapa do processo de produção da argamassa.



Foi possível observar que o teor de ar incorporado quando comparado com o traço de referência TR-REF, não passou pela diminuição de resistência ou relação água/cimento. Os demais traços, TR-A5%, TR-A10% e Tr-S10% mantiveram uma resistência próxima quando comparados ao TR-REF que tem em sua composição apenas cimento e areia, daí uma explicação para os valores de maior resistência.

Em relação à absorção de água por capilaridade apenas o TR-A5% teve resultado abaixo quando comparado ao TR-REF, e os demais obtiveram maiores valores. Com isso observou-se que todos os traços estudados apresentam uma finitura maior em todos os seus componentes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7222 - **Argamassa e Concreto** - Determinação Da Resistência à Tração Por Compressão Diametral de Corpo. Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 16541 - **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13276 - **Determinação do índice de consistência**. Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9779 - **Argamassa e concreto endurecidos** — Determinação da absorção de água por capilaridade. Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15894-1 - **Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta** - Parte 1: Requisitos. Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2010.

CAI, Wei. *et al.* Developing the ecological compensation criterion of industrial solid waste based on emergy for sustainable development. **Revista Energy**, p. 940–948, v. 157, ago. 2018.



CIMENTO APODI. **CP IV-32 RS. Versatilidade e Durabilidade.** Disponível em: <https://www.cimentoapodi.com.br/cp-iv/> Acesso em set 2022.

CONTRERAS, M. *et al.* Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study). Construction and Building Materials, São Paulo. **Revista Elsevier**. P. 594–600, v 1. 2016.

MYMRIN, Vesevood. *et al.* Utilization of sediments dredged from marine ports as a principal component of composite material. **Journal of Cleaner Production**, p. 4041-4049, v. 142, jan. 2017.

YANG, Hong. *et al.* Waste management, informal recycling, environmental pollution and public health. **Revista Epidemiol Community Health** p. 237-243, v. 72, n. 3, 2018.

Enviado: Setembro, 2022.

Aprovado: Novembro, 2022.

¹ Graduação. ORCID: 0000-0001-9322-764X.

² Graduação. ORCID: 0000-0002-4982-5623.

³ Orientador. ORCID: 0000-0001-9854-6244.

⁴ Orientador. ORCID: 0000-0002-9941-905X.