

ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO COMERCIAL POR CHAMOTE DE PORCELANATO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

Ezequiel Breno Rodrigues Reis¹, Claudinei Rezende Calado²

Resumo: Diariamente, a construção civil produz um volume considerável de resíduos. A geração, o mal acondicionamento e a disposição final inadequada são processos que afetam a salubridade ambiental e econômica das cidades. O interesse em estudar novas formas sustentáveis de redução e tratamento dos resíduos urbanos gera amplas discussões a respeito de estratégias que auxiliem a cadeia produtiva da construção. Nesse sentido, o presente trabalho analisou o resíduo cerâmico originado no processo de pós-queima das placas de porcelanato, chamado chamote. Foi estudada a viabilidade técnica em se utilizar esse material como substituto do agregado miúdo comercial na confecção de argamassas de assentamento. Para caracterizar física e mecanicamente o material proposto, foram realizados os seguintes ensaios: granulometria dos agregados selecionados, absorção de água, índice de vazios, massa específica e resistência à compressão dos corpos de prova para as idades de cura de 7, 14 e 28 dias. Na sequência, os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey. A granulometria comprovou que o resíduo de porcelanato possui teor de finos mais elevado que a areia. Os resultados apresentados para os ensaios referentes à absorção de água e índice de vazios mostraram que quanto maior o teor de substituição do agregado, menor é o teor de água absorvida. Quanto à massa específica, ficou verificada pouca alteração nessa propriedade até os 28 dias. Por fim, para os ensaios de compressão, o traço com substituição total da areia pelo resíduo mostrou um ganho de 30% nos valores de resistência à compressão em relação à argamassa de referência. Dessa forma, de acordo com as análises obtidas, verificou-se a possibilidade de substituição de toda a areia pelo chamote de porcelanato, apresentando inclusive ganhos nas propriedades mecânicas e físicas da argamassa no estado endurecido.

Palavras-chave: Argamassa; Chamote; Porcelanato; Reciclagem; Resíduo.

1 Engenheiro Civil. CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Avenue Amazonas 5253 – Nova Suíça, C.P: 30421-169, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

2 Professor Doutor em Química. CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Avenue Amazonas 5253 – Nova Suíça, C.P: 30421-169, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

1. Introdução

A indústria da construção é um setor relevante para o Brasil. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), esse setor representou 9,7% do PIB nacional em 2021. Contudo, uma quantidade cada vez maior de resíduos é gerada. Estima-se que a indústria da construção seja responsável por 40% do volume em aterros no Brasil (KABIRIFAR et al., 2020). No segmento cerâmico, um dos principais resíduos produzidos é o chamote. Esse material é o produto acabado que apresentou falhas desqualificantes, como, por exemplo, trincas e fissuras. O chamote é descartado uma vez que sua re inserção no processo inicial não é adequada, pois o produto já passou pela etapa de queima ou sinterização (NONI JUNIOR et al., 2010).

No Brasil, a indústria de porcelanato é cada vez maior. Dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos (ANFACER) mostram que o país produziu 217 milhões de m² de porcelanato em 2021. Porém, proporcionalmente, a quantidade de desperdício também aumenta. O volume deste material descartado corresponde a 3% de todo o material produzido (BARBOZA et al., 2020).

Nesse contexto, é necessário estudar métodos que minimizem e reduzam esse impacto. Uma das opções é a reutilização dos chamotes de porcelanato esmaltado na própria construção civil. Paixão (2011) verificou um ganho de resistência à tração e à compressão em argamassas de assentamento e de revestimento com a substituição dos agregados miúdos por resíduos cerâmicos de porcelanatos e de azulejos. Já Lima et al. (2016) observaram que argamassas com substituição parcial da areia pelo chamote apresentaram maior fluidez e trabalhabilidade, além de maior resistência mecânica. Matielo (2019) concluiu que a substituição gradativa da areia pelo resíduo de porcelanato proporcionou às argamassas de revestimento uma maior retenção de água, melhorando o processo de cura e, conseqüentemente, resultando em uma menor fissuração. Por fim, Sartor (2021) estudou as influências da substituição parcial da areia por resíduo de retífica cerâmica (RRC) de porcelanato na confecção de argamassa colante e observou uma redução na permeabilidade deste material.

A possibilidade de fabricar argamassas inserindo materiais que seriam descartados traz diversos benefícios. Pode-se citar a preservação de jazidas de areia, a diminuição da contaminação do solo e lençóis freáticos, a redução do consumo de energia para extração e beneficiamento dos agregados naturais e a diminuição de resíduos descartados em aterros sanitários (MATOS, 2015).

2. Materiais e métodos

Os materiais empregados neste trabalho foram: chamote de porcelanato esmaltado, areia natural (agregado de referência) e cimento Portland de alta resistência inicial CP-V. As composições foram preparadas com a mistura de água, cimento e agregado, no traço 1:3, sendo a relação de água/cimento igual

a 0,75. Foi investigado o uso do chamote, preparado em laboratório, como substituto da areia natural na confecção de argamassas de assentamento.

2.1 Preparo das matérias-primas

As peças de porcelanato foram previamente marteladas sobre a bancada e em seguida foram beneficiadas em um moinho de disco modelo MD-200. Após 30 minutos de moagem, os grãos do chamote de porcelanato e da areia de referência foram secos em estufa a 100 °C, durante 24 h. Na sequência, três amostras de 500 g foram separadas, sendo a primeira delas constituída somente de chamote, a segunda somente de areia e a terceira de chamote e areia na mesma proporção. A granulometria das amostras, bem como seus módulos de finura, foi avaliada de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022), passando pelas peneiras da série normal.

2.2 Preparo das argamassas

As argamassas foram formuladas a partir da substituição do agregado natural miúdo (areia) por chamote de porcelanato. Inicialmente foi adotada a relação água/cimento de 0,48, porém observou-se que, nessa relação, as argamassas com adição de chamote não alcançavam uma trabalhabilidade aceitável.

Dessa forma, foi-se adicionando, gradualmente, água à composição da argamassa até se atingir uma trabalhabilidade conveniente, observada pela coesão e boa manipulação da argamassa. Isso foi possibilitado ao se alcançar uma relação água/cimento de 0,75. A necessidade de maior quantidade de água deve-se ao elevado teor de finos presentes no chamote de porcelanato em comparação a areia natural. Na Tabela 1 é possível observar a proporção entre os materiais utilizados, bem como as identificações das argamassas confeccionadas.

Tabela 1: Composições e identificações das argamassas.

	Areia	Chamote de Porcelanato
Argamassa de Referência (REF 0%)	100%	0%
Argamassa 1 (ARPOR 50%)	50%	50%
Argamassa 2 (POR 100%)	0%	100%
Relação Água/Cimento: 0,75		

Fonte: Próprio Autor.

2.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

A mistura dos materiais e a moldagem dos corpos de prova cilíndricos, de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, foram conduzidas de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2019). Nas primeiras 24 horas de cura, os corpos de prova foram mantidos nas formas, tendo sido desmoldados após este período. Após o desmolde, essas amostras foram identificadas e imersas, separadas entre si, em um tanque de água (não corrente) saturada de cal, permanecendo nessas condições até o momento do ensaio.

2.4 Ensaio de Caracterização das Argamassas

No presente estudo, foram determinadas como variáveis de análises a resistência à compressão, a determinação da absorção de água, do índice de vazios e da massa específica. Os ensaios foram realizados aos 7, 14 e 28 dias de cura, com o objetivo de se verificar a evolução desses parâmetros entre as argamassas confeccionadas.

2.4.1 Resistência à compressão

Foram confeccionados 36 corpos de prova cilíndricos, sendo 12 para a argamassa de referência (REF 0%), 12 para a argamassa 1 (ARPOR 50%) e 12 para a argamassa 2 (POR 100%). Foram rompidos 4 corpos de prova, de cada composição, para cada idade de cura. As amostras foram testadas de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 2019). A máquina utilizada para o ensaio foi o equipamento universal de ensaios Contenco I-3058 com taxa de carregamento de 4,9 MPa/s.

2.4.2 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Para os ensaios de caracterização física, foram confeccionados 27 corpos de prova cilíndricos, sendo 9 para a argamassa de referência (REF 0%), 9 para a argamassa 1 (ARPOR 50%) e 9 para a argamassa 2 (POR 100%). Foram ensaiados 3 corpos de prova, de cada composição, para cada idade de cura. As amostras foram analisadas de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2005). Para a realização das análises, foram necessários os seguintes equipamentos: balança hidrostática; estufa capaz de manter a temperatura entre 95 a 105 °C; recipientes adequados para imersão dos corpos de prova e tanque de água. Nos ensaios realizados não foi utilizado o aquecimento da água, sendo todas as medidas conduzidas com a água a temperatura ambiente.

2.4.3 Análise estatística

Para avaliar os dados obtidos pelo programa experimental, empregou-se a análise de variância (ANOVA), por meio do aplicativo computacional InfoStat, a fim de verificar se existe diferença significativa entre as médias e

se os fatores exercem influência em alguma variável dependente. Em seguida foi realizado o teste de Tukey para comparação das médias, servindo de complementação da ANOVA (PCZIECZEK, 2017).

Segundo Devore (2018), a análise da variância ou ANOVA é utilizada para aceitar ou rejeitar as hipóteses analisadas em um experimento, cujo objetivo é verificar a variação média dos resultados dos testes e demonstrar quais são os fatores que realmente produzem efeitos significativos nas respostas do experimento.

Apesar da ANOVA indicar a existência de uma diferença significativa entre os grupos analisados, o método não especifica entre quais grupos ocorre essa diferença. Devido a este fato, se fez necessário a comparação das médias por meio do teste de Tukey, com um nível de confiabilidade de 95%.

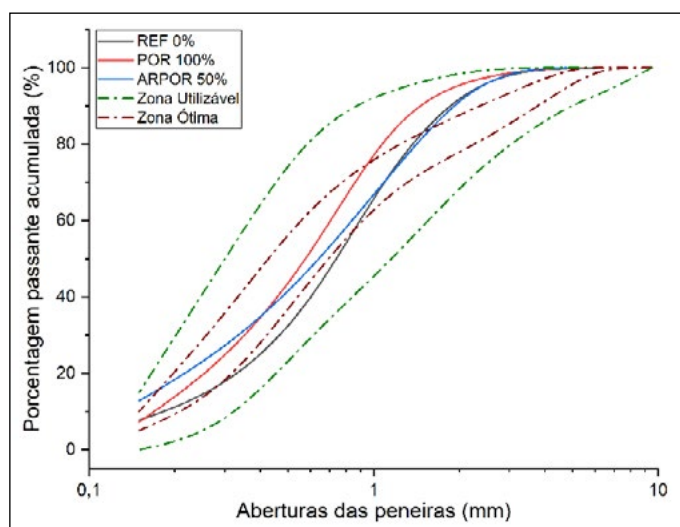
3. Resultados e discussão

A seguir serão apresentados os resultados obtidos com os ensaios realizados, bem como as observações levantadas com base nas análises estatísticas.

3.1 Curvas granulométricas dos agregados

A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas dos agregados analisados, os limites das zonas ótima e utilizável propostos pela NBR 7211 (ABNT, 2022) e o módulo de finura de cada material.

Figura 1: Curvas granulométricas dos agregados



Módulo de Finura (MF) - REF 0%: 2,67. ARPOR 50%: 2,42. POR 100%: 2,33

De acordo com os dados de caracterização dos agregados, percebe-se que as três composições se encontram dentro da zona utilizável, com considerável porcentagem dentro da zona ótima. Dessa forma esses materiais atendem aos critérios de utilização como agregados miúdos na construção civil. Observa-se também, pelo módulo de finura, que o chamote de porcelanato apresentou uma granulometria menor que a dos demais materiais.

3.2 Absorção de água (A), índice de vazios (I.V.) e massa específica (ρ_s)

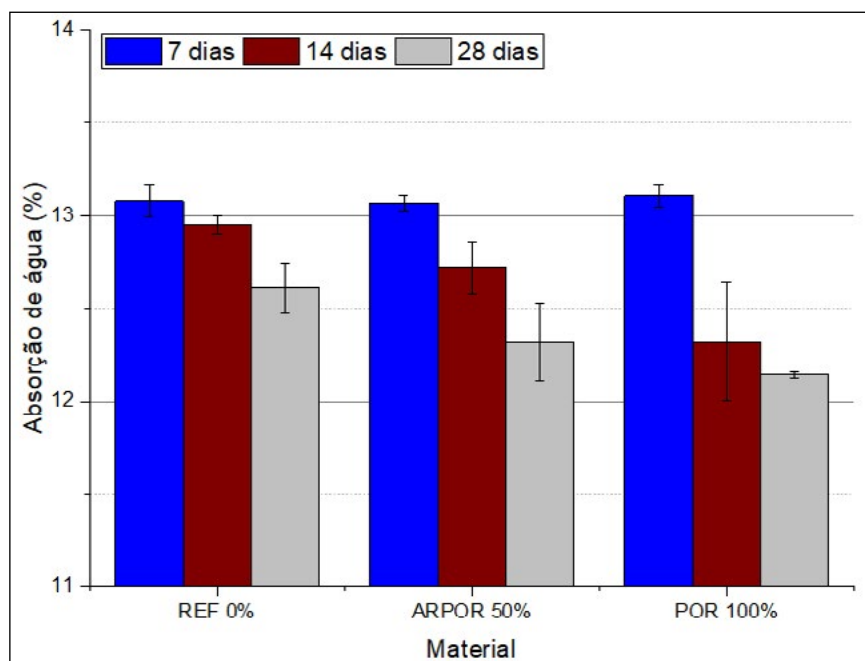
A Tabela 2 apresenta os resultados das médias, desvio padrão e coeficiente de variação da absorção de água nas argamassas estudadas.

Tabela 2: Resultado da variação da absorção de água (%) nas argamassas, número de amostras (n) = 3.

TRAÇO	7 DIAS			14 DIAS			28 DIAS		
	<i>Média</i> (%)	<i>Desvio</i> <i>Padrão</i> (%)	<i>Coef.</i> <i>Variação</i> (%)	<i>Média</i> (%)	<i>Desvio</i> <i>Padrão</i> (%)	<i>Coef.</i> <i>Variação</i> (%)	<i>Média</i> (%)	<i>Desvio</i> <i>Padrão</i> (%)	<i>Coef.</i> <i>Variação</i> (%)
REF 0%	13,08	0,09	0,71	12,95	0,05	0,39	12,61	0,13	1,00
ARPOR 50%	13,07	0,04	0,29	12,72	0,14	1,08	12,32	0,21	1,69
POR 100%	13,11		0,46	12,32	0,32	2,57	12,14	0,02	0,14
	0,06								

A Figura 2 traz a comparação entre os dados de absorção de cada traço, em cada uma das idades.

Figura 2: Absorção de água das argamassas.



Pelos resultados apresentados, pode-se dizer que, de maneira geral, quanto maior for a idade da argamassa, menor é o teor de água absorvido. Pode-se perceber também que, aos 28 dias, o traço com menor absorção de água foi aquele em que ocorreu a substituição de todo o agregado miúdo natural pelo chamote.

A Tabela 3 apresenta os resultados das análises estatísticas, para a absorção de água, nas respectivas idades de cura. Essa análise foi necessária para se verificar se os valores obtidos são de fato provenientes dos tratamentos realizados na variável de interesse ou devido a fatores externos que não se tinha controle durante a realização dos ensaios.

Tabela 3: Análise estatística - Absorção de água nas argamassas, n=3. Valor-p: probabilidade de significância, se menor que 0,05 existe diferença significativa entre os traços. Agrupamento: Traços que não compartilham a mesma letra são diferentes entre si.

TRAÇO	7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
	Valor-p = 0,7071		Valor-p = 0,0226		Valor-p = 0,0184	
	A (%)	Agrupamento	A (%)	Agrupamento	A (%)	Agrupamento
REF 0%	13,08	A	12,95	B	12,61	B
ARPOR 50%	13,07	A	12,72	A/B	12,32	A/B
POR 100%	13,11	A	12,32	A	12,14	A

Pode-se perceber que aos 7 dias as amostras não apresentam diferenças significativas entre si, uma vez que o Valor-p experimental é de 0,7071, maior que 0,05. Isso pode ser explicado pelo pouco tempo de cura. Ensaios realizados por Garcia et al. (2011) mostram que somente após o oitavo dia todas as reações de hidratação do cimento se completam e as argamassas apresentam suas estruturas consolidadas. A cura não traz somente o aumento na resistência do concreto, como também ajuda na redução da permeabilidade e da porosidade (ALMEIDA, 2020).

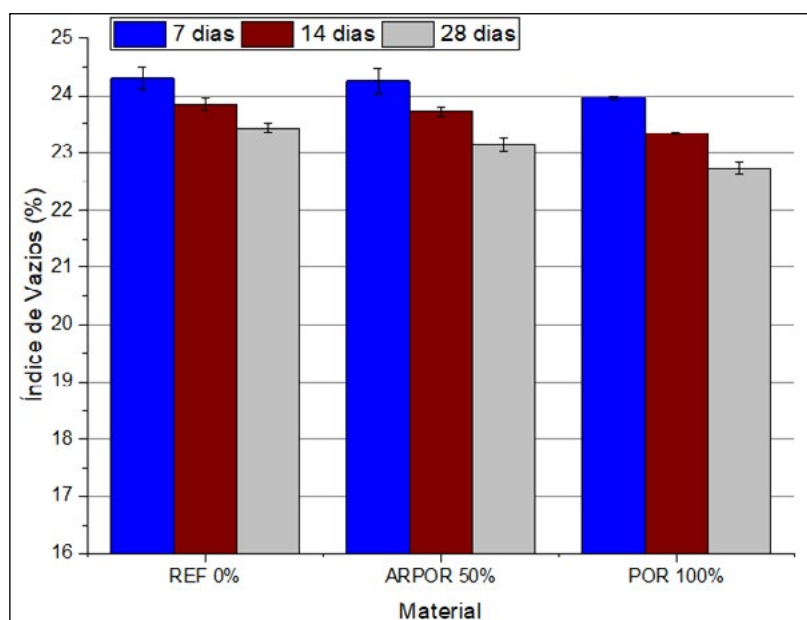
Observa-se que aos 14 dias a análise de variância (ANOVA) indicou a existência de pelo menos uma diferença significativa entre os traços, uma vez que o Valor-p experimental (0,0226) foi menor que o Valor-p teórico de 5% (0,05). O teste de Tukey indicou que os traços de referência (REF 0%) e o traço no qual houve a substituição total da areia pelo chamote (POR 100%) foram os que diferiram entre si, já que essas amostras pertencem a agrupamentos diferentes. Essa discordância ficou mais acentuada aos 28 dias, pois o Valor-p foi reduzido para 0,0184. Essa análise comprova que a utilização do chamote de porcelanato contribui para a redução da absorção de água pela argamassa, no estado endurecido.

O mesmo comportamento foi obtido para o índice de vazios, conforme pode ser observado na Tabela 4 e na Figura 3. Esse fato pode ser explicado pelo maior empacotamento entre as partículas proporcionado pelo aumento no teor de finos presentes no chamote. Com o passar do tempo, também ocorre a densificação das amostras, o que resulta na diminuição do índice de vazios e na correspondente redução na taxa de absorção de água.

Tabela 4: Resultado da variação do índice de vazios (%) nas argamassas, n=3.

TRAÇO	7 DIAS			14 DIAS			28 DIAS		
	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Coef. Variação (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Coef. Variação (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Coef. Variação (%)
REF 0%	24,30	0,20	0,82	23,84	0,10	0,41	23,43	0,08	0,36
ARPOR 50%	24,26	0,22	0,91	23,72	0,09	0,36	23,14	0,12	0,53
POR 100%	23,96	0,04	0,17	23,34	0,02	0,07	22,73	0,10	0,45

Figura 3: Índice de vazios das argamassas.



Podemos perceber que, aos 28 dias, o traço com menor índice de vazios foi aquele em que ocorreu a substituição de todo o agregado miúdo natural pelo chamote. Esse resultado era de se esperar, tendo em vista que esse traço também apresentou menor absorção de água no mesmo intervalo de cura.

A Tabela 5 apresenta os resultados da ANOVA e do Teste de Tukey para o índice de vazios.

Tabela 5: Análise estatística - Índice de vazios nas argamassas, n=3. Valor-p: probabilidade de significância, se menor que 0,05 existe diferença significativa entre os traços. Agrupamento: Traços que não compartilham a mesma letra são diferentes entre si.

TRAÇO	7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
	Valor-p = 0,1017		Valor-p = 0,0005		Valor-p = 0,0005	
	I.V. (%)	Agrupamento	I.V. (%)	Agrupamento	I.V. (%)	Agrupamento
REF 0%	24,30	A	23,84	B	23,43	C
ARPOR 50%	24,26	A	23,72	B	23,14	B
POR 100%	23,96	A	23,34	A	22,73	A

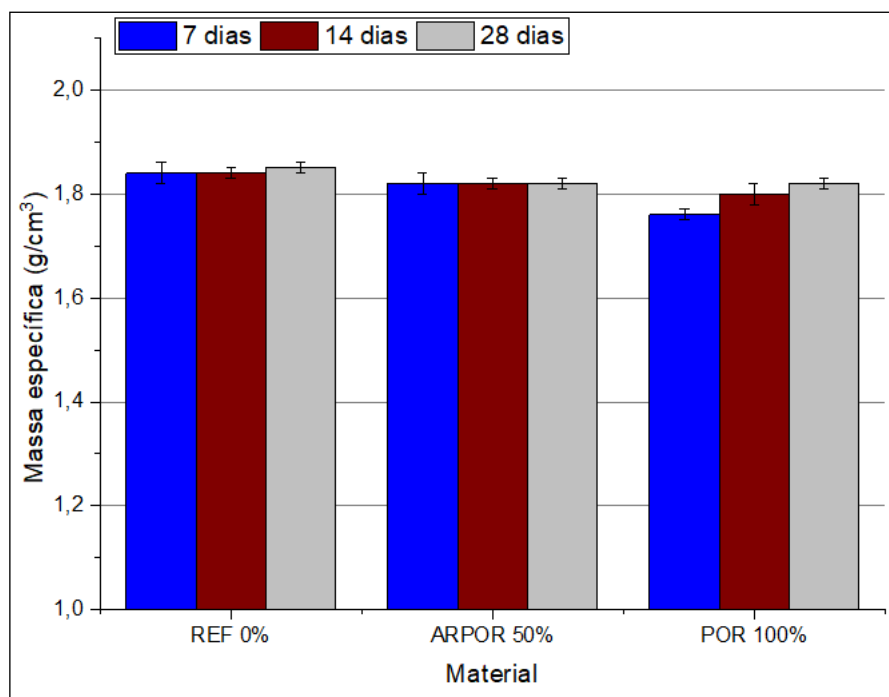
De acordo com a análise estatística, somente a amostra constituída por chamote (POR 100%) diferenciou-se significativamente das demais, aos 14 dias. Porém, após 28 dias de cura, os três traços apresentam comportamentos diferentes em relação ao índice de vazios.

Por fim, a Tabela 6 e a Figura 4 mostram a variação da massa específica de cada traço, em cada uma das idades.

Tabela 6: Resultado da variação da massa específica (g/cm³) nas argamassas, n=3.

TRAÇO	7 DIAS			14 DIAS			28 DIAS		
	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)	Coef. Variação (%)	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)	Coef. Variação (%)	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)	Coef. Variação (%)
REF 0%	1,84	0,02	1,13	1,84	0,01	0,63	1,85	0,01	0,62
ARPOR 50%	1,82	0,02	0,84	1,82	0,01	0,32	1,82	0,01	0,32
POR 100%	1,76	0,01	0,65	1,80	0,02	0,85	1,82	0,01	0,32

Figura 4: Massa específica das argamassas.



Observa-se que, de maneira geral, quanto maior for a idade da argamassa, maior será sua massa específica, devido ao empacotamento das partículas. Pode-se perceber também que para todas as idades de cura, a argamassa constituída somente por areia apresenta maior massa específica.

Apesar da argamassa de referência, REF 0%, possuir maior porosidade no estado endurecido, esse comportamento pode ser justificado pela propriedade do agregado em si, indicando que a areia utilizada possui maior massa específica que o chamote de porcelanato aplicado nos demais traços. Essa observação fica mais evidente ao se analisar o traço POR 100%.

A Tabela 7 apresenta os resultados da ANOVA e do Teste de Tukey para esta propriedade.

Tabela 7: Análise estatística - Massa específica nas argamassas, n=3. Valor-p: probabilidade de significância, se menor que 0,05 existe diferença significativa entre os traços. Agrupamento: Traços que não compartilham a mesma letra são diferentes entre si.

TRAÇO	7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
	Valor-p = 0,0033		Valor-p = 0,0156		Valor-p = 0,0033	
	ρ_s (g/cm ³)	Agrupamento	ρ_s (g/cm ³)	Agrupamento	ρ_s (g/cm ³)	Agrupamento
REF 0%	1,84	B	1,84	B	1,85	B
ARPOR 50%	1,82	B	1,82	A/B	1,82	A
POR 100%	1,76	A	1,80	A	1,82	A

De acordo com a análise estatística, somente a amostra constituída por areia (REF 0%) diferenciou-se significativamente das demais, aos 28 dias de cura.

Os resultados dos ensaios de desempenho físico das argamassas confirmam os dados levantados na literatura. Matos et al. (2016) observaram que com o aumento da idade de cura e com o acréscimo do chamote de porcelanato, em substituição ao material natural, a argamassa obteve um aumento em sua massa específica e uma redução na sua porosidade e em seu índice de vazios. Torres e Matias (2016) observaram que à medida que se substitui o agregado miúdo natural pelo resíduo de porcelanato ocorre à diminuição da porosidade e da absorção de água da argamassa no estado endurecido. Esses autores obtiveram o teor de absorção de água, aos 28 dias, entre 8% e 17%, ao substituir areia por resíduos cerâmicos na formulação de suas argamassas. Já Dallagnol (2018), em seu estudo sobre as propriedades das argamassas no estado endurecido, obteve o teor de absorção de água variando de 16% a 18% e o índice de vazios variando de 26 % a 29%. Todos esses resultados reforçam que os valores obtidos neste estudo, para o índice de vazios e absorção de água, estão dentro dos limites aceitáveis.

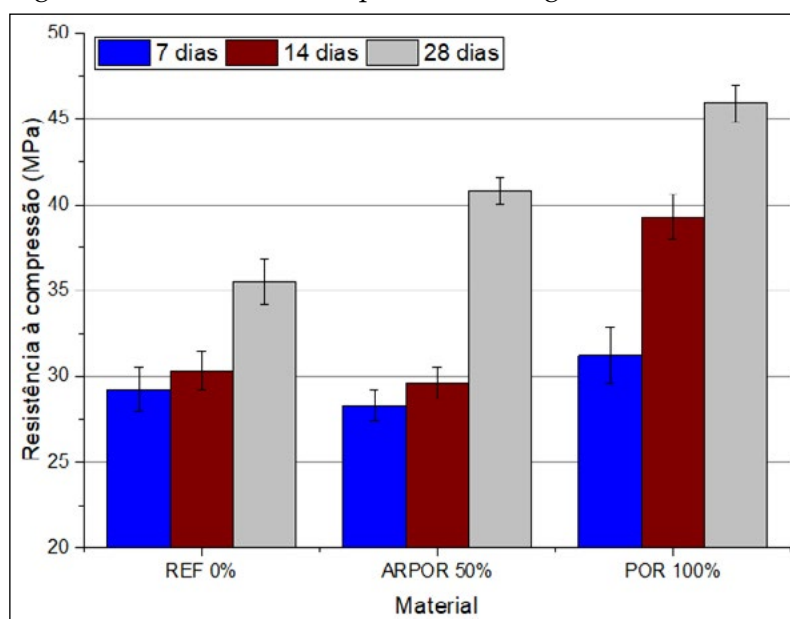
3.3 Resistência à compressão

Os resultados referentes à resistência à compressão estão apresentados na Tabela 8 e na Figura 5.

Tabela 8: Resultados da variação da resistência à compressão das argamassas, n=4

TRAÇO	7 DIAS			14 DIAS			28 DIAS		
	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
REF 0%	29,2	1,30	4,44	30,3	1,13	3,74	35,5	1,36	3,83
ARPOR 50%	28,3	0,88	3,12	29,6	0,92	3,12	40,8	0,77	1,88
POR 100%	31,2	1,60	5,13	39,9	1,28	3,22	45,9	1,07	2,33

Figura 5: Resistência à compressão das argamassas.



A argamassa preparada somente com o chamote de porcelanato (POR 100%), obteve uma resistência quase 30% maior que a argamassa confeccionada somente com a areia natural (REF 0%), aos 28 dias. Quando se substitui metade da areia pelo resíduo, observa-se um ganho de aproximadamente 15% na resistência, no mesmo tempo de cura.

Segundo FARINHA et al. (2016), a adição do chamote contribui para o efeito filler, no qual os agregados miúdos passam a ocupar os vazios que antes eram preenchidos por água, essa, após sua evaporação, criaria poros na argamassa endurecida. Isso pode justificar o aumento da resistência para a argamassa POR 100%. Outra hipótese levantada é devido à presença de muita

no resíduo de porcelanato. Segundo Matos (2015), o porcelanato possui em sua constituição grande quantidade de óxido de alumínio e caulinita, que em sua constituição predominante pós queima, forma a mulita. Essa, devido a sua estrutura acicular, atua como esqueleto do corpo contribuindo para o aumento da resistência mecânica do material. A boa resistência à compressão da mulita (LIMA et al., 2022) influencia diretamente nos resultados da argamassa POR 100%.

Quanto à argamassa constituída por areia, como ela apresenta maior porosidade, era de se esperar que ela também apresentasse menor resistência à compressão, como evidenciado pelos ensaios. De acordo com Quarcioni et al. (2009), a formação de poros na pasta de cimento geralmente está associada à hidratação do cimento e à evaporação da água livre. Uma vez que a relação água/cimento de todos os traços foi mantida a mesma, a quantidade de água livre na argamassa de referência foi maior, devido a seu baixo teor de finos. A água que não reagiu possivelmente gerou poros na microestrutura, após sua evaporação, justificando a menor resistência mecânica da argamassa com 100% de areia. A Tabela 9 apresenta os resultados das análises estatísticas da resistência à compressão.

Tabela 9: Análise estatística - Resistência à compressão nas argamassas, n=4. Valor-p: probabilidade de significância, se menor que 0,05 existe diferença significativa entre os traços. Agrupamento: Traços que não compartilham a mesma letra são diferentes entre si.

TRAÇO	7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
	Valor-p = 0,0310		Valor-p < 0,0001		Valor-p < 0,0001	
	σ_c (MPa)	Agrupamento	σ_c (MPa)	Agrupamento	σ_c (MPa)	Agrupamento
REF 0%	29,23	A/B	30,30	A	35,50	A
ARPOR 50%	28,30	A	29,60	A	40,83	B
POR 100%	31,32	B	39,90	B	45,85	C

Percebe-se que existe diferença significativa para a resistência à compressão desde os 7 dias, sendo que essa diferença se acentua com o passar do tempo, evidenciado pela redução do Valor-p. Pode-se observar também que até os 14 dias as argamassas constituídas somente por areia (REF 0%) e as com areia e resíduo (ARPOR 50%) não se diferem significativamente entre si. Porém aos 28 dias todos os traços apresentam comportamentos diversos uns com os outros.

Os resultados dos ensaios à compressão confirmam alguns dados levantados na literatura. De acordo com Lima et al. (2016), o aumento das proporções de chamote, em substituição ao agregado miúdo, eleva o desempenho mecânico da argamassa. Já Torres e Matias (2016) observaram

que as argamassas que continham maiores quantidades de resíduos cerâmicos obtiveram resistências à compressão superiores as argamassas com areia natural.

4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, percebe-se que a utilização do chamote de porcelanato para a confecção de argamassas, tem grande potencial. À medida que se substitui à areia comercial pelo chamote, o índice de vazios e a absorção de água das argamassas diminuem. Isto representa uma vantagem em relação à durabilidade das argamassas e maior proteção a entrada de agentes agressivos.

Em relação às propriedades mecânicas, apesar do elevado fator água/cimento no traço, constatou-se um ganho de resistência ao se substituir a areia pelo resíduo de porcelanato. A argamassa confeccionada totalmente por chamote apresentou um aumento de 30% na resistência à compressão aos 28 dias. Dessa forma, infere-se que o chamote proveniente da moagem do porcelanato, além de contribuir como agregado miúdo tenha agido diretamente no efeito filler, diminuindo a porosidade da argamassa resultante.

Esta pesquisa demonstrou que o melhor traço, entre os analisados, foi o POR 100%. De acordo com os ensaios realizados até aqui, o uso do chamote em relação ao agregado miúdo comercial, nas argamassas de assentamento, apresenta grande potencial. No entanto, se fazem necessários mais estudos para comprovar a total viabilidade do seu uso. No presente trabalho, foi possível a reutilização de 100% desse material, dispensando a necessidade de se selecionar faixas granulométricas específicas. Assim, o chamote apresentou como um produto com grande valor econômico e social agregado, reduzindo a degradação ambiental oriunda da extração de areias e da deposição desse resíduo na natureza.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CEFET – MG/Belo Horizonte e ao Campus Santa Luzia do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) pela infraestrutura disponibilizada para a realização dos experimentos.

Referências

ALMEIDA, M. S.; CHOUKRI, M. C.; FERREIRA, D. C.; CURVELLO, M. S. Avaliação da influência dos métodos de cura na resistência à compressão de concreto reforçado com fibras de aço. Revista Científica Integrada. São Paulo, v. 4, e. 5, p. 1-22, 2020.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7211 – Agregados para concreto - Especificação. Rio Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 17054 – Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio Janeiro, 2022.

BARBOZA, L. S.; BATISTA, V. M.; NEVES, K. S.; SANTOS, R. S. Estudo da viabilidade de utilização de resíduos de polimento e retificação de cerâmica para fabricação de argamassa. *Matéria*. Rio de Janeiro, v. 25, n. 04, 2020.

DALLAGNOL, G. H. Estudo sobre as características nos estados fresco e endurecido de uma argamassa para revestimentos estabilizada por 72 horas variando o tempo de aplicação a partir de sua mistura na central dosadora. Trabalho de conclusão - 139f. Engenharia Civil, Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, 2018.

DEVORE, J. L. Probabilidade e estatística para engenharia e ciências. 9ª Ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning; 2018.

FARINHA, C.; DE BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars. *Construction and Building Materials*, v. 83, p. 194-206, 2016.

GARCIA, G. C. R.; SANTOS, E. M. B.; RIBEIRO, S. Efeito do tempo de cura na rigidez de argamassas produzidas com cimento Portland. *Cerâmica*. São Paulo, n. 57, p. 94-99, 2011.

KABIRIFAR K.; MOJTAHEDI M.; WANG C.; TAM V.W.Y. Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. *Journal of Cleaner Production*. Sydney: v. 263, 2020.

LIMA, W.E.F.; ROCHA, D.M.A.; Almeida, A.O; MONTE JUNIOR, I. Avaliação de argamassas com substituição do agregado miúdo natural por resíduos cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS – CBECIMAT, 22., Natal, 2016. Anais..., 2016. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/22cbecimat/>> Acesso em: 17 abr. 2020.

LIMA, L. K. S.; SILVA, K. R.; MENEZES, R. R.; SANTANA, L. N. L.; LIRA, H. L. Microstructural characteristics, properties, synthesis and applications of mullite: a review. *Cerâmica*. São Paulo, v. 68, p. 126 – 142, 2022.

MATIELO A. L. Estudo do desempenho físico e mecânico da argamassa de revestimento com a substituição do agregado miúdo por resíduos de porcelanato. Trabalho de conclusão - 95f. Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari Univates, Lajeado, 2019.

MATOS, D. C. Reaproveitamento do chamote de porcelanato para o desenvolvimento de novos compósitos cimentícios. Dissertação (Mestrado). - 91f. Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MATOS, D. C.; SILVA, I. P. P.; CALADO, C. R.; BEZERRA, A. C. Cementitious composite from porcelain tile grog: analysis of their properties and application for sustainability. In: 41st. IAHS WORLD CONGRESS: Sustainability and Innovation for the future. Algarve, Portugal, 2016.

NONI JUNIOR, A.; HOTZA, D.; SOLER, V.C.; VILCHES, E.S. Influence of composition on mechanical behavior of porcelain tile. Part I: Microestrutural characterization and developed phases after firing. Materials Science & Engineering. Espanha, v. 527, p. 1730 – 1735, 2010.

PAIXÃO, C. A. B. Utilização de refugos de revestimentos cerâmicos (porcelanato e azulejo) em substituição à areia em argamassas cimentícias. Dissertação (Mestrado). - 72f. Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PCZIECZEK, A. Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis. Dissertação (Mestrado). - 141f. Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

QUARCIONI, V. A.; CHOTOLI, F. F.; ÂNGULO, S. C.; GUILGE, M. S.; CAVANI, G. R.; CASTRO, A. L.; CINCOTTO, M. A. Estimativa da porosidade de argamassas de cimento e cal pelo método de cálculo de volumes. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 175-187, 2009.

SARTOR, R. P.; SPECK, J. A.; SAVI, A. E.; PIVA, J. H.; ANTUNES, E. G. P. Estudo da influência da aplicação de pó residual do processo de retífica a seco de placas cerâmicas em argamassas colantes industrializadas. MIX Sustentável. Florianópolis, v. 7, n. 3, p.29-40, 2021.

TORRES, I.; MATIAS, G. Sustainable mortars for rehabilitation of old plasters. Engineering Structures. Portugal: v. 129, p. 11-17, 2016.