

PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÕES PARCIAIS DO CIMENTO POR LODO DE CARBONÁTICO DE CÁLCIO

Palavras-Chave: ARGAMASSA, SUSTENTABILIDADE, LODO DE CARBONÁTICO DE CÁLCIO

Autoras:

ARIANE SERPELONI ALEIXO, FT – UNICAMP

PROF^a. DR^a. LUÍSA ANDRÉIA GACHET (orientadora), FT – UNICAMP

ME. ARIANE ROBERTO BECKER (coorientadora), FT – UNICAMP

INTRODUÇÃO

De acordo com a ABNT NBR 13281-1 (2023), argamassas são misturas de aglomerantes, agregados miúdos e água, podendo incluir aditivos e adições. As argamassas são muito utilizadas na construção civil, como em drenagem urbana, bueiros, canaletas, construção de alvenarias, muros de contenções e nas obras de pontes e viadutos. Atualmente no Brasil, é muito utilizado o cimento Portland como aglomerante nos preparos de argamassas (Carasek, 2010).

Segundo Medeiros *et al* (2022), a produção do cimento é responsável por 7% da emissão de dióxido de carbono, além de consumir recursos minerais e naturais do planeta, portanto sua utilização em larga escala causa impactos ambientais significativos. Felizmente, tem-se utilizado cada vez mais resíduos industriais a fim de reduzir o consumo de materiais cimentícios, sem comprometer suas propriedades reológicas (Diniz *et al*, 2018).

De acordo com Benini *et al* (2019), durante a produção de celulose e papel, por meio do beneficiamento da madeira, é gerado uma grande quantidade de resíduos, entre eles, temos o lodo de carbonato de cálcio. Esse resíduo acende o alerta sobre o impacto ambiental se não for descartado corretamente. Para minimizar o impacto ambiental e a favor da sustentabilidade, são estudados diversos usos para utilização do lodo de carbonático, como na produção de argamassas, que é a proposta de estudo desse projeto.

O objetivo principal deste projeto é estudar as propriedades mecânicas das argamassas substituindo o cimento Portland por lodo de carbonato de cálcio da indústria papelreira.

METODOLOGIA

A pesquisa iniciou com uma revisão bibliográfica sobre o tema. Foram realizadas pesquisas preliminares, sumarização de bibliografias, artigos e normas, além do estudo da dosagem do traço para

a produção da argamassa. Os ensaios ocorreram no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Tecnologia – FT Unicamp, campus I de Limeira - SP.

Para a produção dos corpos de provas prismáticos, foram utilizados os seguintes materiais: Cimento Portland CPV-ARI, areia fina, água e o lodo de carbonato de cálcio, que foi seco em estufa por 12h à 105°C e posteriormente, foi realizada a moagem com o auxílio do moedor de grãos.

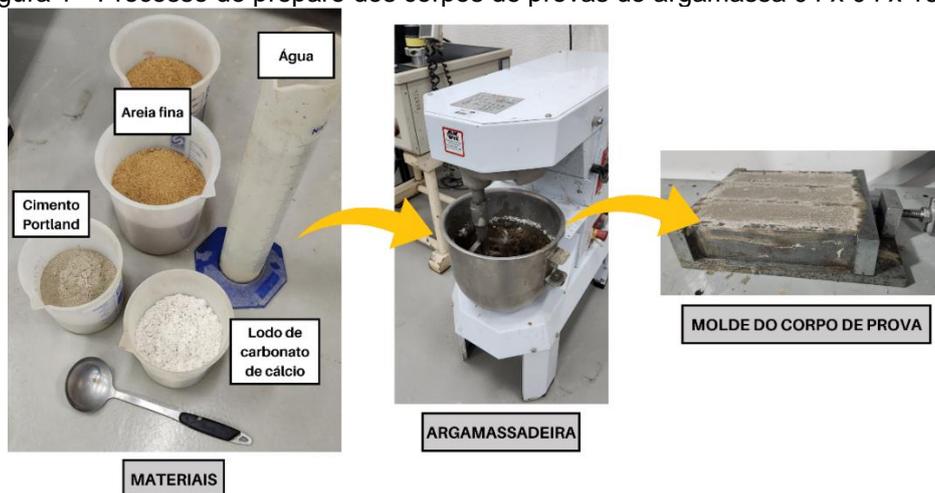
Utilizou-se o traço 1:3:0,65 (cimento/agregado miúdo/ relação água/cimento) (Becker, 2021) para a produção das argamassas. Foram moldados 12 corpos de provas prismáticos de 4 x 4 x 16 cm, para cada traço definido por meio da redução de porcentagem da quantidade de Cimento Portland. As dosagens dos traços moldados foram o traço de referência 1:3 e para a redução do cimento Portland em teores de 10%, 20%, 40%, 60% e 80%, totalizando 72 corpos de provas. A composição de cada traço encontra-se na Tabela 1 e a Figura 1 ilustra o processo de preparo dos corpos de provas.

Tabela 1 - Composição dos traços estudados para a produção das argamassas

Materiais	Cimento (kg)	Areia (kg)	Água (kg)	Lodo (kg)
Ref	3	9	1,92	0,0
R10	2,7	9	1,92	0,023
R20	2,4	9	1,92	0,045
R40	1,8	9	1,92	0,091
R60	1,2	9	1,92	0,136
R80	0,6	9	1,92	0,182

Fonte: próprio autor

Figura 1 - Processo de preparo dos corpos de provas de argamassa 04 x 04 x 16 cm

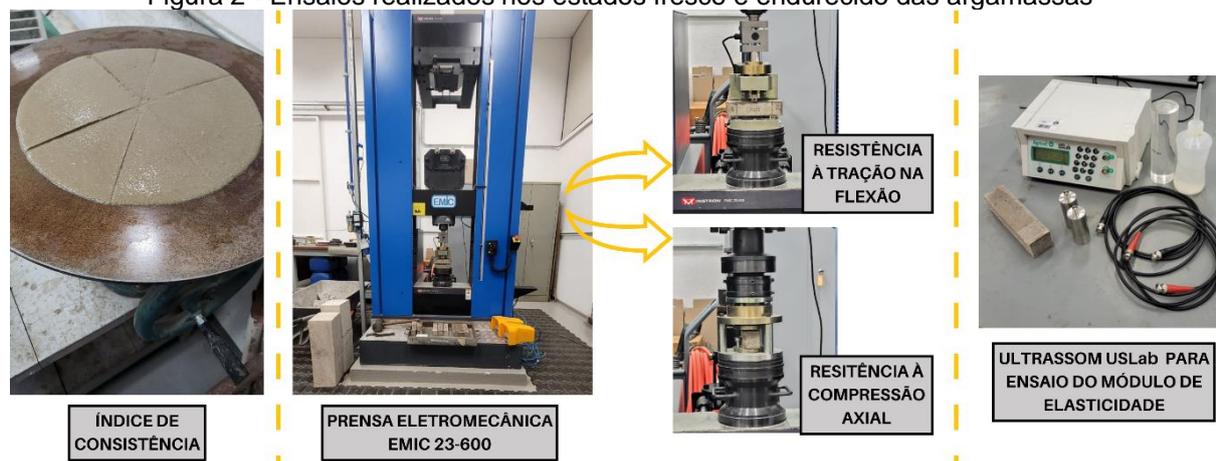


Fonte: próprio autor

Durante a pesquisa foram realizados os ensaios mecânicos para determinar o índice de consistência no estado fresco conforme a norma ABNT NBR 13276 (ABNT, 2016). No estado endurecido, foram realizados ensaios para determinar a resistência à tração e a resistência à compressão de acordo com a norma ABNT NBR 13279 (ABNT, 2005), densidade de massa aparente de acordo com a norma da ABNT NBR 13280 (ABNT, 2005) e módulo de elasticidade por ultrassom de acordo com a norma da ABNT NBR 15630 (ABNT, 2009).

Além disso, foi estudada a microestrutura da argamassa utilizando como técnica a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) no Laboratório Multiusuário de Microscopia Eletrônica (LAMME) da FT/Unicamp. A Figura 2 ilustra os ensaios realizados nos estados fresco e endurecido das argamassas.

Figura 2 - Ensaios realizados nos estados fresco e endurecido das argamassas



Fonte: próprio autor

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de índice de consistência no estado fresco são apresentados na Tabela 2 em conjunto com os dados dos ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial em estado endurecido aos 7 dias de idade e aos 28 dias de idade.

Tabela 2 - Resultado dos ensaios de índice de consistência (estado fresco), de resistência à tração na flexão e à compressão axial (estado endurecido) aos 7 dias de idade e aos 28 dias de idade

Traço	7 dias de idade			28 dias de idade	
	Índice de consistência média (cm)	Tração média (MPa)	Tração média (MPa)	Compressão média (MPa)	Compressão média (MPa)
REF	33,03	6,29	6,76	28,83	34,39
R10	32,80	5,49	5,79	21,30	26,52
R20	31,13	4,52	4,90	15,95	18,57
R40	27,37	2,44	2,71	6,81	8,12
R60	21,97	1,06	1,08	2,22	2,73
R80	16,50	0,23	0,26	0,56	0,60

Fonte: próprio autor

Os resultados do ensaio de índice de consistência mostraram uma queda na trabalhabilidade das argamassas com o aumento da quantidade de lodo carbonático, obtendo uma maior retenção de água na mistura e com menores índices de espalhabilidade. Nos ensaios de resistência à tração e compressão aos 7 e 28 dias de idade é possível observar um aumento significativo da resistência em relação ao tempo de cura, como esperado devido à progressão das reações de hidratação do cimento.

A Tabela 3 apresenta a média dos resultados obtidos da densidade de massa aparente no estado endurecido e a média dos valores do resultado do módulo de elasticidade para os traços aos 28 dias de idade. A densidade de massa aparente diminuiu com o aumento do percentual de substituição, indicando que o lodo carbonático é menos denso que o cimento. Além disso, o módulo de elasticidade diminuiu com a maior substituição de cimento por lodo carbonático, reduzindo a capacidade elástica da argamassa.

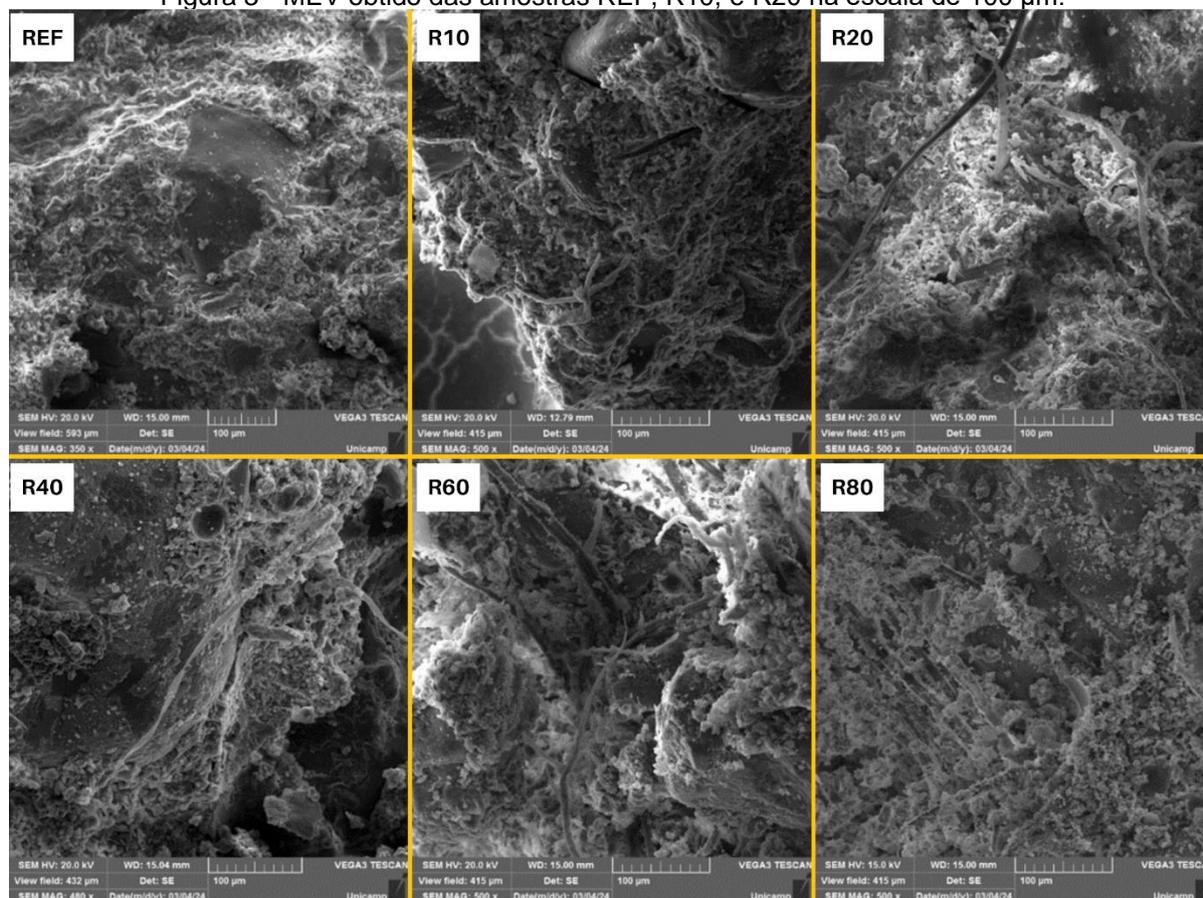
Tabela 3 - Resultado dos ensaios de densidade de massa aparente

Traço	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	Módulo de Elasticidade Dinâmico (GPa)
REF	2186,08	29,966
R10	2113,924	26,279
R20	2059,132	23,015
R40	1936,760	16,366
R60	1888,692	9,669
R80	1833,335	3,002

Fonte: próprio autor

A Figura 3 mostra imagens de MEV das amostras REF, R10, R20, R40, R60 e R80 na escala de 100 µm. A amostra REF revelou uma aderência da areia à pasta de cimento, com uma zona de transição quase imperceptível. Na amostra R10, a presença de lodo carbonático modifica a microestrutura da argamassa como indicado pelas fibras e partículas observadas. Na amostra R20, nota-se a presença de agregados e fibras do lodo carbonático, com uma superfície rugosa e distribuição heterogênea de partículas menores.

Figura 3 - MEV obtido das amostras REF, R10, e R20 na escala de 100 µm.



Fonte: próprio autor

Na amostra R40, diferentes texturas e formações indicam uma reação complexa do lodo com o cimento. A alta taxa de substituição por lodo carbonático (60%) na amostra R60 impacta a uniformidade e integridade estrutural da argamassa, sugerindo uma possível redução na homogeneidade e nas propriedades mecânicas. Na amostra R80, a textura é extremamente porosa e irregular, com muitos

vazios e agregados mal integrados, indicando baixa adesão entre os componentes e comprometimento da resistência mecânica.

CONCLUSÕES

Conclui-se que os resultados obtidos são satisfatórios, sinalizando para uma boa aplicabilidade do lodo de carbonático de cálcio na produção das argamassas para revestimento, colaborando para a redução de porcentagem da quantidade de Cimento Portland CPV-ARI. Essa redução mostra ser uma alternativa promissora para a redução do impacto ambiental da indústria da construção civil.

Os resultados da pesquisa indicam que a substituição do cimento por lodo carbonático influencia significativamente as propriedades mecânicas das argamassas. Os ensaios mostraram que há uma diferença significativa entre as argamassas com diferentes porcentagens de substituição de lodo carbonático.

BIBLIOGRAFIA

- ABNT NBR 13276. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. 2016
- ABNT NBR 13279. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. 2005
- ABNT NBR 13280. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. 2005
- ABNT NBR 13281-1. Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. 2023
- ABNT NBR 15630. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. 2009
- BECKER, A. B. **Estudo das propriedades físico-mecânicas e acústicas de argamassas produzidas com substituição parcial do agregado miúdo por argila expandida.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia, na Área de Ciências dos Materiais. Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira -SP, 2021.
- BENINI, G. L.; FRÖHLICH, J.; BREHM, F. A.; KULAKOWSKI, M. P.; MIRANDA, L. A. S.; MODOLO, R. C. E. **Avaliação do potencial de valorização da lama de carbonato de cálcio como coproduto em diferentes setores.** Revista O PAPEL vol. 80, num. 10, pp. 90 – 07, 2019.
- CARASEK, H. Argamassas. In: Isaia, G.C. (ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: IBRACON. 2ª ed. São Paulo - SP, v 2, 2010.
- DINIZ, H. A. A.; OLIVEIRA, J. N.; SILVA, L. P.; MACÊDO, M. S.; SOUZA, M. M. **Caracterização e avaliação das propriedades de concretos autoadensáveis com adições minerais e baixo consumo de cimento.** HOLOS, Ano 34, Vol. 05. 2018
- MEDEIROS, F.K.; ANJOS, M.A.S.; SÁ, M.V.V.A.; FARIAS, E. C.; NASCIMENTO, R. F. **Concretos autoadensáveis com baixo consumo de cimento e incorporação da casca do arroz e metacaulim.** Revista Matéria, v.27, n.1, 2022.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica e Bolsa Produtividade Processo 310375/2020-7. E à FAPESP pelo Projeto de Pesquisa processo 2023/05479-4.