

doi <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2022id7413>
ARTIGO ORIGINAL

SUBMETIDO 30/11/2022


APROVADO 14/02/2023

PUBLICADO ON-LINE 18/02/2023

PUBLICADO 10/10/2024

EDITORA ASSOCIADA
Mariana Amorim Fraga

Argamassa de revestimento produzida a partir da substituição do agregado natural por subproduto de scheelita e pó de pedra

 Jeandson Willck Nogueira de Macedo ^[1] *

 Jonatas Macêdo de Souza ^[2]

 Vamberto Monteiro da Silva ^[3]

 Wilson Acchar ^[4]

[1] jeandson_ufrn@hotmail.com

[2] jonatasm2@hotmail.com

[4] wacchar@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

[3] vamberto.silva@ifpb.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), João Pessoa, Paraíba, Brasil

* Autor para correspondência.

RESUMO: A exploração de agregados envolve a extração de recursos naturais não renováveis e, com isso, modifica-se o meio ambiente, causando impactos ambientais. Com o propósito de mitigar esses impactos, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas objetivando o aprimoramento de tecnologias que substituam os agregados naturais por subprodutos, como aqueles gerados na britagem de rochas para obtenção de brita de construção e do beneficiamento da scheelita. Nesse contexto, a presente pesquisa tem como objetivo o estudo de argamassas de revestimento produzidas com substituição total do agregado natural por uma areia constituída de pó de pedra e subproduto de scheelita. Para isso foram formuladas argamassas no traço de 1:3, em volume, as quais foram analisadas quanto às suas propriedades no estado fresco e endurecidas, incluindo análises de microestrutura. A argamassa produzida a partir da combinação, em partes iguais, do pó de pedra e do subproduto de scheelita, no estado fresco, embora mais densa, obteve melhor consistência e teor de ar incorporado semelhante ao da argamassa de referência. No estado endurecido, a formulação alcançou elevada resistência mecânica, maior densidade de massa e menor absorção de água. Aplicada como revestimento, a formulação obteve resistência de aderência à tração superior aos valores estabelecidos pelas normas brasileiras, o que ratifica a viabilidade da utilização da composição binária proposta como agregado para argamassas.

Palavras-chave: areia artificial; areia de britagem; pó de pedra; scheelita; tungstênio.

Coating mortar produced from the replacement of natural aggregate by a by-product of scheelite and stone dust

ABSTRACT: The exploitation of aggregates involves the extraction of non-renewable natural resources and, as a result, modifies the environment, causing environmental impacts. With the purpose of mitigating these impacts, several



studies have been carried out with the aim of improving technologies that replace natural aggregates with by-products, such as those generated in the crushing of rocks to obtain gravel for construction and the processing of scheelite. In this context, the present research aims to study coating mortars produced with total replacement of the natural aggregate by sand consisting of stone dust and a by-product of scheelite. For this, mortars were formulated in the ratio of 1:3, by volume, which were analyzed for their properties in the fresh and hardened state, including microstructure analyses. The mortar produced from the combination, in equal parts, of stone dust and the by-product of scheelite, in the fresh state, although denser, obtained better consistency and incorporated air content similar to the mortar reference. In the hardened state, the formulation achieved high mechanical strength, higher mass density and lower water absorption. Applied as a coating, the formulation achieved tensile strength superior to the values established by Brazilian standards, which confirms the viability of using the proposed binary composition as an aggregate for mortars.

.....
Keywords: *artificial sand; crushed sand; scheelite; stone dust; tungsten.*

1 Introdução

Com o aumento populacional nas cidades e o fenômeno da urbanização evidenciados nas últimas décadas, a construção civil ampliou o consumo de matérias-primas, especialmente agregados naturais. Os agregados – precisamente, a areia e a brita – atendem às demandas da sociedade moderna e constituem setor peculiar da mineração por estabelecerem forte ligação com os centros urbanos, sendo o mercado brasileiro atendido por uma extensa e diversificada gama de produtores (IBRAM, 2020).

No entanto, nos últimos anos, muitas reservas de agregados têm sido impedidas de serem exploradas devido à falta de planejamento, aos zoneamentos restritivos e às disputas pelo uso do solo, deslocando os produtores de agregados a distâncias cada vez maiores dos grandes centros consumidores – o que tem aumentado os custos de frete e, em razão disso, onerado o preço de comercialização dos agregados naturais (Valverde, 2020).

Esse cenário tem fomentado a substituição da areia natural por novos materiais, como, por exemplo, o pó de pedra (PDP), que é o subproduto gerado no processo de britagem das rochas para obtenção da brita de construção (Ramos Filho, 2021). Nos últimos anos, esse material, que também é conhecido como areia artificial de britagem, tem se tornado uma alternativa viável para utilização como agregado (Santos *et al.*, 2019). No entanto, o formato comumente anguloso de suas partículas e o elevado teor de finos (Carasek *et al.*, 2016) são aspectos limitadores para a inserção desse passivo ambiental na indústria da construção civil, em especial, na produção de concretos e argamassas.

No intuito de aumentar cada vez mais o mercado consumidor do pó de pedra, os produtores de brita têm investido em novas tecnologias e na implementação de britadores modernos, objetivando corrigir o formato dos grãos, a composição granulométrica e o teor de finos (Hickel *et al.*, 2018). Todavia, a utilização do processo convencional ainda é predominante, especialmente nas regiões onde há abundância de reservas de agregados naturais, visto que o investimento em novas tecnologias, muitas vezes, acaba sendo inviabilizado em virtude do baixo custo do agregado natural comercializado

nessas localidades. No processo convencional, o subproduto gerado normalmente é depositado ao ar livre, no pátio das pedreiras, podendo acarretar diversos impactos ambientais, como o assoreamento dos rios, a poluição atmosférica, além da contaminação do solo (Almeida, 2006).

Outro subproduto gerado em quantidade expressiva no contexto da mineração potiguar – e que, como o pó de pedra, também possui potencial para uso como agregado para a construção – é o subproduto do beneficiamento de scheelita (SBS). O Rio Grande do Norte (RN) concentra as maiores reservas de scheelita do Brasil, com destaque para a mina Brejuí – considerada a maior mineradora de exploração de scheelita da América do Sul –, situada no município de Currais Novos, onde se estima uma produção na ordem de 6,5 milhões de toneladas de subprodutos (Ramos Filho, 2021) acumulados a céu aberto, formando pilhas volumétricas, que modificam a estética da paisagem natural e causam inúmeros danos ao meio ambiente (Gerab, 2014).

Desse modo, a adoção de práticas sustentáveis – como a preservação dos recursos naturais, a redução das perdas e a incorporação de novos materiais residuais – são pontos fundamentais para a mitigação dos impactos gerados pela indústria da construção. Nesse viés, o reaproveitamento de subprodutos representa uma alternativa que conecta a economia à sustentabilidade, em especial, pela sua capacidade de reduzir os custos de produção e, ao mesmo tempo, promover a redução do consumo dos recursos naturais, assim como proporcionar o manejo adequado para resíduos de diversas indústrias, entre eles, aqueles oriundos do processo de beneficiamento da scheelita e da britagem de rochas.

Nessa perspectiva, diversos estudos vêm sendo realizados buscando ratificar a viabilidade técnica do uso do pó de pedra como agregado em concretos (Benyamina *et al.*, 2019; Shen *et al.*, 2018) e argamassas (Antunes; Gonçalves, 2021; Canova; Angelis Neto; Bergamasco, 2015; Dobiszewska; Barnes, 2020; Kazmierczak; Rosa; Arnold, 2016; Mattana *et al.*, 2012; Tokarski *et al.*, 2018), comprovando o seu potencial; e do subproduto do beneficiamento de scheelita em permuta à areia natural no concreto (Medeiros *et al.*, 2021) e na argamassa (Medeiros *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2019), apresentando resultados promissores, que indicaram o potencial do emprego desse subproduto.

Contudo, a maioria dessas pesquisas limitou-se à incorporação dos subprodutos em substituição total ou parcial à areia natural, sendo escassos os estudos dedicados à produção de areias binárias constituídas integralmente pela combinação de resíduos, o que motiva a realização desta pesquisa. Além disso, o trabalho também é estimulado pela possibilidade de ajustar as propriedades granulométricas do PDP originário de britador convencional, através da simples inserção do SBS, que também representa um passivo ambiental importante da indústria mineral do Rio Grande do Norte.

Assim, diante das limitações para a utilização individual do PDP como agregado na produção de concretos e argamassas, sobretudo daqueles gerados por britadores convencionais, a presente pesquisa estuda a viabilidade técnica do emprego da combinação do SBS e do PDP, como agregado, na produção de argamassas de revestimento, buscando contribuir para a inserção desses insumos nas práticas da construção civil e, por consequência, colaborar para a mitigação dos impactos causados pelas atividades mineradoras de brita, scheelita e areia de construção.

No restante do artigo são apresentados os materiais e métodos utilizados na pesquisa, com foco no programa experimental (seção 2); os resultados e discussões das análises experimentais na seção 3; e, por fim, as conclusões na seção 4.

2 Materiais e métodos da pesquisa

Nesta seção são descritos os materiais e métodos empregados na pesquisa.

2.1 Materiais

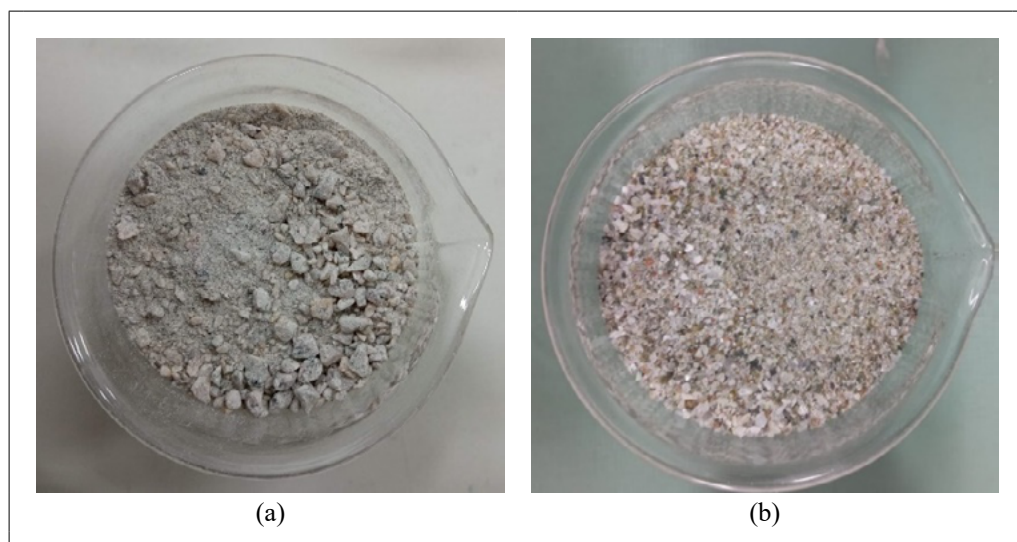
Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado o cimento Portland composto, CP II-F 32, com o aglomerante armazenado de acordo com as recomendações técnicas da NBR 16697 (ABNT, 2018), Cimento Portland – Requisitos.

O subproduto da scheelita foi cedido por uma mineradora situada no município de Currais Novos, interior do Rio Grande do Norte. O pó de pedra granítico foi coletado de uma indústria de mineração situada em Macaíba, região metropolitana de Natal (RN). A areia natural é originária de jazidas da região da grande Natal e foi fornecida pela Diretoria de Manutenção (DIMAN) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). As amostras utilizadas nos ensaios foram preparadas conforme NBR 16915 (ABNT, 2021). Na Figura 1, é possível observar as amostras de pó de pedra e subproduto de scheelita.

Figura 1 ►

Amostras de pó de pedra (a) e subproduto de scheelita (b).

Fonte: arquivo dos autores



A água potável utilizada na produção das argamassas foi proveniente da rede de distribuição que abastece a UFRN, campus Natal.

2.2 Métodos

Nesta subseção são apresentadas as metodologias utilizadas para a caracterização dos insumos e para a definição das composições das argamassas estudadas.

2.2.1 Caracterização das matérias-primas

As matérias-primas utilizadas na confecção das argamassas foram caracterizadas, incluindo-se as análises de microestrutura dos subprodutos. Os ensaios para determinação das propriedades físicas dos agregados foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECAM) da UFRN. O Quadro 1 descreve os ensaios realizados, os métodos e as normas empregadas.

Quadro 1 ►

Resumo dos ensaios realizados com os agregados.

Fonte: dados da pesquisa

Propriedade	Método	NBR
Composição granulométrica	Peneiramento	NM 248/2003
Massa específica	Frasco de Chapman	NM 52/2009
Massa unitária e índice de vazios	C - Material solto	NM 45/2006

2.2.2 Definição do traço e proporção da composição com subprodutos

As argamassas foram produzidas no traço 1:3, em proporção de cimento e agregado. Essa composição foi adotada em virtude de ser uma das principais dosagens utilizadas pela Diretoria de Manutenção da UFRN, setor que cooperou na realização desta pesquisa, como também pela sua presença em diversas publicações correlatas, como os estudos de Cechin *et al.* (2016) e Tokarski *et al.* (2018). O Quadro 2 descreve a nomenclatura dos traços adotados e suas composições.

Quadro 2 ►

Nomenclatura das composições ensaiadas.

Fonte: dados da pesquisa

Traço	Nomenclatura	Composições
1:3	C+A+A	Cimento + areia natural + água
Cimento	C+PDP+A	Cimento + PDP + água
Areia	C+CR2+A	Cimento + (PDP + SBS) + água

Com o intuito de desenvolver argamassas de desempenho superior às produzidas com agregados naturais – especificamente no que diz respeito à resistência mecânica e à porosidade –, foram confeccionadas novas areias a partir da combinação entre o PDP e o SBS, com base em análises do empacotamento entre as partículas, através da relação entre as massas específicas e unitárias, e da distribuição granulométrica (Baali *et al.*, 2011; Carasek *et al.*, 2016).

Para isso, foram formuladas combinações entre o pó de pedra e o subproduto da scheelita, nas seguintes proporções, em volume: 50% e 50%, 75% e 25%, e 25% e 75%. Para a confecção das argamassas, dessas três combinações, foi escolhida aquela que apresentou o maior coeficiente de empacotamento entre as partículas e a melhor distribuição granulométrica, considerando-se, para isso, os limites das zonas estabelecidas pela NBR 7211 (ABNT, 2009a).

2.2.3 Ensaio das argamassas nos estados fresco e endurecido

Todos os ensaios para determinação das propriedades físicas das argamassas nos estados fresco e endurecido foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção, do DECAM da UFRN. Os ensaios executados para as argamassas nos estados fresco e endurecido, aos 28 dias, estão listados no Quadro 3, bem como as metodologias e normas consideradas nos experimentos.

Quadro 3 ►

Resumo dos ensaios realizados com as argamassas nos estados fresco e endurecido.

Fonte: dados da pesquisa

Estado	Propriedade	Método	NBR
Fresco	Consumo de água	Mesa de consistência	13276/2016
	Densidade de massa e teor de ar incorporado	Molde cilíndrico	13278/2005
Endurecido	Resistência à compressão	Prensa	13279/2005
	Resistência à tração na flexão	Prensa	13279/2005
	Densidade de massa	Molde prismático	13280/2005
	Porosidade	Absorção de água por imersão	9778/2009
		Absorção de água por capilaridade	15259/2005
Resistência de aderência à tração	Arrancamento	13528/2019	

2.2.4 Análises de microestrutura por MEV

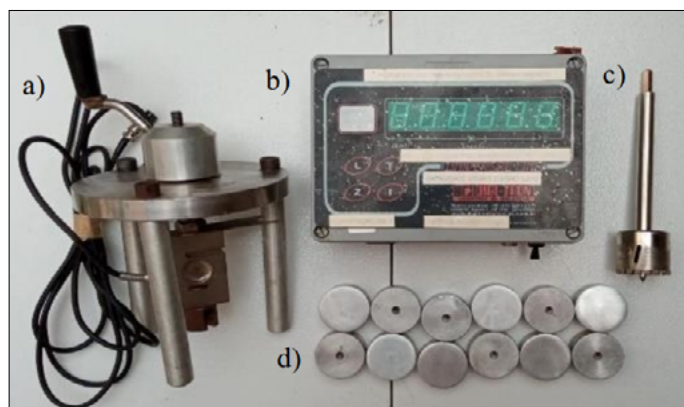
Com o objetivo de observar a morfologia das partículas dos subprodutos e a superfície de fratura dos corpos de provas das argamassas, aos 28 dias, foram feitas análises microscópicas através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais, do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMat) da UFRN, através do equipamento Hitachi, modelo TM3000.

2.2.5 Resistência de aderência à tração

As argamassas de revestimento confeccionadas nesta pesquisa foram avaliadas aos 28 dias quanto ao desempenho de aderência à tração. Para realização das análises, foram executados painéis de revestimentos argamassados de 70 cm × 70 cm × 2 cm, seguindo as orientações da NBR 7200 (ABNT, 1998), com a formulação referência e a da argamassa que apresentou os melhores resultados (maior resistência mecânica e menor absorção de água) entre as produzidas com subprodutos. Na escolha da espessura do revestimento, foram consideradas as recomendações da NBR 13749 (ABNT, 2013), que estabelece as espessuras de 5 mm a 20 mm para revestimento interno de paredes e de 20 mm a 30 mm para o revestimento externo. Os painéis foram executados sobre um substrato de tijolos cerâmicos, que foi devidamente chapiscado com traço de 1:3 (cimento e areia grossa) 48 horas antes da execução do revestimento. A Figura 2 apresenta os equipamentos utilizados no ensaio: dinamômetro, painel digital, pastilhas e serra copo.

Figura 2 ►

Aparelhagem do ensaio de aderência à tração: dinamômetro (a), painel digital (b), serra copo (c) e pastilhas (d).
Fonte: arquivo dos autores



3 Resultados e discussões

Nesta seção são expostos os resultados e as discussões da pesquisa, com ênfase na caracterização das matérias-primas utilizadas na confecção das argamassas e na avaliação das propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.

3.1 Caracterização dos agregados

Na Tabela 1 são dispostos os resultados referentes às propriedades físicas dos agregados. Como observado, a combinação entre 50% de pó de pedra e 50% do subproduto de scheelita apresentou o maior fator de empacotamento (60,37%) em comparação à areia natural (54,62%) e ao pó de pedra isolado (55,68%). Portanto, a incorporação do SBS ao PDP promoveu o melhor arranjo entre as partículas, pois os vazios entre as partículas do pó de pedra, as quais são maiores e possuem formato lamelar, foram preenchidos pelos grãos mais esféricos e mais finos do subproduto de scheelita (Ramos Filho, 2021).

Tabela 1 ▼

Propriedades físicas dos agregados.
Fonte: dados da pesquisa

Composição	Módulo de finura	Diâmetro máximo (mm)	% finos < 0,15 mm (%)	Massa unitária (MU) (g/cm ³)	Massa específica (ME) (g/cm ³)	Porosidade (n) (%)	Fator de empacotamento (E) (%)
100% AN	2,00	2,4	6,92	1,42	2,60	45,38	54,62
100% SBS	1,73	2,4	13,25	1,64	2,92	43,77	56,23
100% PDP	2,44	4,8	22,17	1,47	2,64	44,32	55,68
25% PDP 75% SBS	1,92	2,4	15,88	1,65	2,83	41,70	58,30
50% PDP 50% SBS	2,11	4,8	17,16	1,67	2,77	39,63	60,37
75% PDP 25% SBS	2,30	4,8	18,68	1,63	2,70	39,71	60,19

$n = (ME - MU) / ME$; $E = 100 - n$ (Carasek *et al.*, 2016).

Pôde-se verificar na Tabela 1 que o subproduto de scheelita possui massas específica (2,96 g/cm³) e unitária (1,64 g/cm³) superiores às da areia natural (2,60 g/cm³ e 1,42 g/cm³) e às do pó de pedra (2,64 g/cm³ e 1,47 g/cm³), o que era esperado, em função da alta densidade do tungstato de cálcio (CaWO₄). Quanto ao teor de partículas finas, o SBS tem

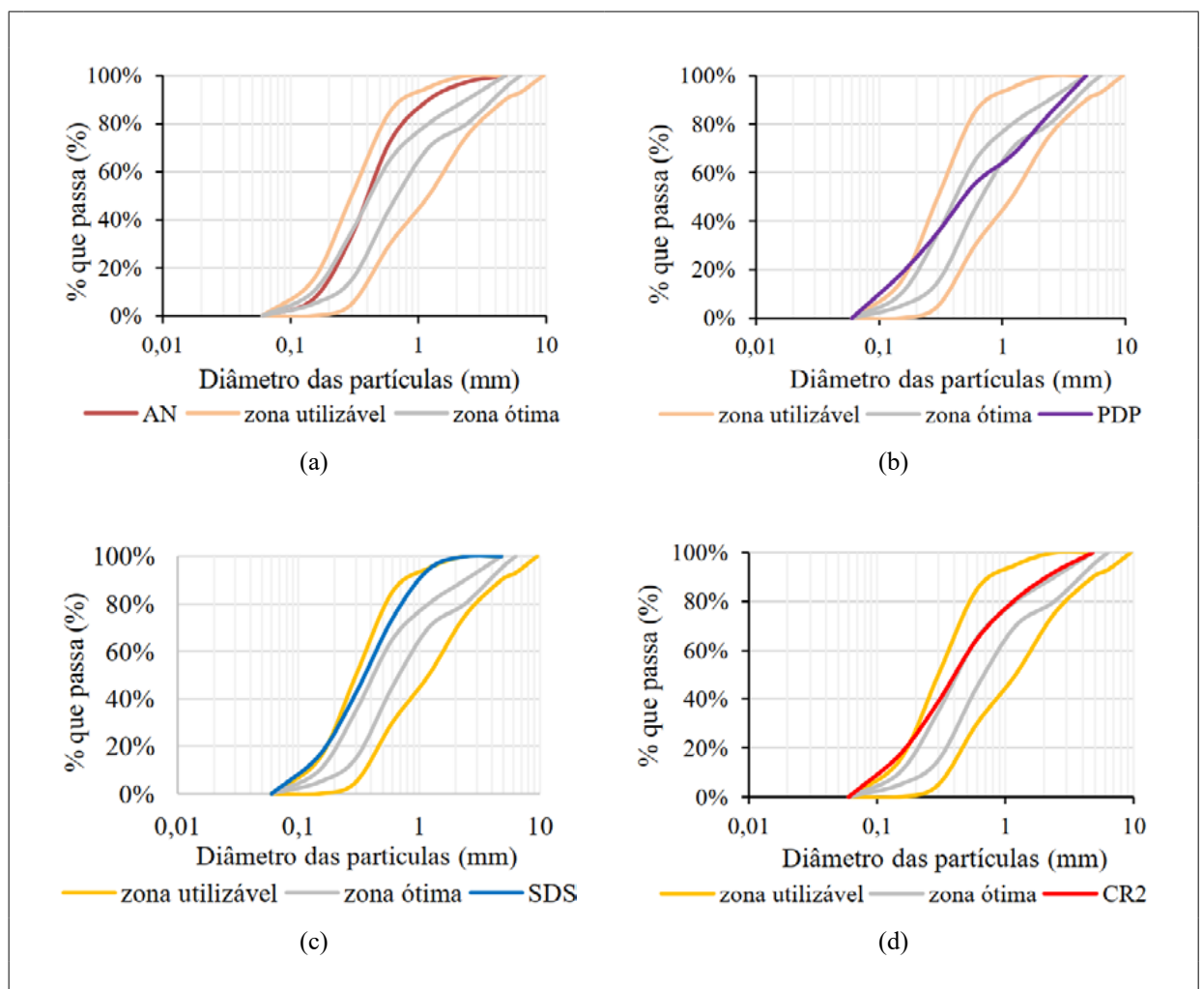
módulo de finura igual a 1,73 e maior teor de finos (13,25%) quando comparado à areia natural (MF = 2,00 e %Finos = 6,93%). O PDP, por outro lado, tem MF igual a 2,44, no entanto, tem alto teor de finos: cerca de 22% do material passa na peneira de número #100.

3.1.1 Composição granulométrica

A Figura 3 apresenta a distribuição granulométrica da areia natural (a), do pó de pedra (b), do subproduto de scheelita (c) e da composição CR2 (d). Constata-se nas Figuras 3a e 3c a semelhança das curvas granulométricas da areia natural e do subproduto de scheelita, sendo este último constituído por um maior percentual de finos. A distribuição granulométrica do pó de pedra tem graduação contínua, em virtude da notável maior variação dimensional dos grãos constituintes do material, o que pode ser observado pelo formato característico da curva apresentada na Figura 3b. As curvas da areia natural e do SBS estão próximas à zona ótima da NBR 7211 (ABNT, 2009a) (Figuras 3a e 3c), enquanto a do PDP encontra-se na sua maior parte dentro da zona ótima, todavia, o elevado teor de finos faz com que parte da sua curva encontre-se plotada fora da zona utilizável (Figura 3b).

Figura 3 ▼

Curvas granulométricas da areia natural (a), do PDP (b), do SBS (c) e da composição CR2 (d).
Fonte: dados da pesquisa



A composição CR2 (50% PDP + 50% SBS), como observado na Figura 3d, possui distribuição granulométrica bem graduada e módulo de finura (MF = 2,11)

pouco superior ao da areia natural ($MF = 2,00$), estando, em sua maior parte, dentro da zona ótima definida na NBR 7211 (ABNT, 2009a). Logo, a incorporação do SBS promoveu o ajuste da granulometria do PDP e o maior empacotamento entre as partículas. Assim, a composição CR2 foi a escolhida para a confecção das argamassas, visto que foi o agregado que apresentou o melhor desempenho quanto ao empacotamento (Tabela 1) e quanto à distribuição granulométrica (Figura 3d) em relação à norma supramencionada.

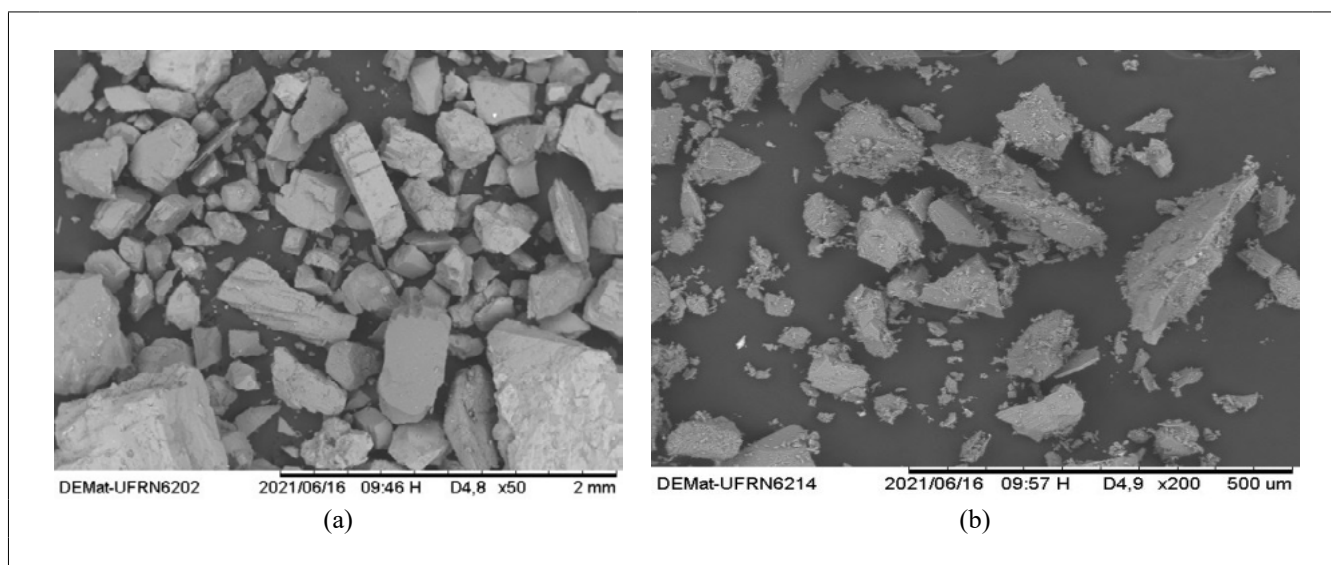
3.1.2 Morfologia das partículas

Figura 4 ▼

MEV: subproduto de scheelita 50x (a) e pó de pedra 200x (b).

Fonte: dados da pesquisa

O formato e a textura superficial das partículas de PDP e SBS foram avaliados a partir das imagens obtidas por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Como observado na Figura 4a, o SBS é constituído por partículas de dimensões variáveis e formato mais arredondado, com arestas e vértices mais regulares, assemelhando-se aos resultados descritos por Medeiros *et al.* (2019).



Quanto ao PDP granítico, constata-se na Figura 4b a presença de grãos de formato preponderantemente irregular e lamelar, com arestas e vértices angulares, de superfície áspera, o que corrobora análises morfológicas encontradas na literatura, em autores como Kazmierczak, Rosa e Arnold (2016), Tokarski *et al.* (2018) e Dobiszewska e Barnes (2020). Observa-se ainda que o SBS apresenta superfície menos rugosa e textura aparente menos porosa em comparação ao PDP (Figura 4b), o que corrobora as análises realizadas por Souza, Anjos e Sá (2021).

3.2 Caracterização das argamassas no estado fresco

Nesta subseção são apresentadas as discussões dos resultados acerca das propriedades das argamassas no estado fresco avaliadas na pesquisa – consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado.

3.2.1 Consumo de água e consistência das argamassas

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos no ensaio de índice de consistência das argamassas formuladas na pesquisa. Como evidenciado, a substituição total da areia natural pelo pó de pedra ocasiona, na argamassa, o aumento na relação água/materiais secos, como se esperava, em virtude do elevado teor de finos e das características morfológicas das partículas britadas, corroborando os resultados apresentados por Canova, Angelis Neto e Bergamasco (2015).

Tabela 2 ▶

Relação água/materiais secos.

Fonte: dados da pesquisa

Traço	C+A+A	C+PDP+A	C+CR2+A
Água/secos	0,1570	0,1767	0,1422

A argamassa composta pela composição CR2 apresentou menor teor de água/materiais secos, mesmo contendo maior percentual de finos em comparação à areia natural. Geralmente, areias constituídas de grãos de maior superfície específica tendem a demandar mais água, todavia, em certas granulometrias, a incorporação controlada de finos pode mitigar o consumo de água das argamassas, para uma mesma consistência, o que tende a melhorar suas propriedades mecânicas, conforme evidenciado por Khyaliya, Kabeer e Vyas (2017) e Gupta e Vyas (2018). Ademais, o melhor empacotamento e distribuição granulométrica, além de características intrínsecas à morfologia das partículas de subproduto de scheelita, também influenciaram a menor demanda de água evidenciada.

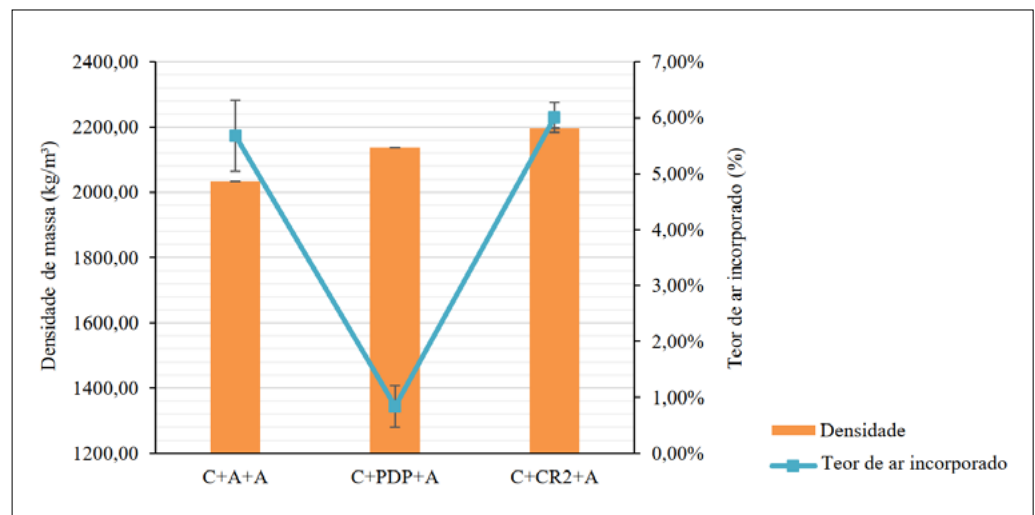
3.2.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Os resultados referentes ao ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado são apresentados na Figura 5. Nota-se a maior densidade de massa no estado fresco da argamassa produzida com pó de pedra em relação à confeccionada com areia natural. Isso ocorre porque, conforme descrito na Tabela 1, o PDP utilizado na pesquisa, em comparação à areia natural, possui maior coeficiente de empacotamento (55,68% versus 54,62%) e, principalmente, maior massa específica (2,92 g/cm³ versus 2,60 g/cm³), o que corrobora os resultados alcançados por Tokarski *et al.* (2018).

Figura 5 ▶

Densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas.

Fonte: dados da pesquisa



No que se refere ao teor de ar incorporado, os valores correspondentes à argamassa produzida com pó de pedra foram inferiores aos da formulação de referência, uma vez que, teoricamente, os valores de densidade de massa no estado fresco são inversamente proporcionais ao teor de ar incorporado. Como descrito por Canova, Angelis Neto e Bergamasco (2015) e Cechin *et al.* (2016), esses valores de densidade de massa são, geralmente, superiores para os agregados com maiores percentuais de partículas finas.

Para as argamassas produzidas com a composição CR2, os valores de ar incorporado foram superiores, embora a formulação tenha alcançado a maior densidade de massa entre todas as avaliadas. O maior teor de ar incorporado dessa argamassa é resultado, possivelmente, da inserção das partículas mais esféricas do SBS, que promoveu redução do atrito entre as partículas e melhorou a rolagem dos grãos, resultando na maior disponibilidade de pasta na mistura, pois quanto maior o volume de pasta entre os agregados, maior a possibilidade de incorporação de ar e maior a sensibilidade às variáveis do processo (Romano; Cincotto; Pileggi, 2018). Essa maior disponibilidade de pasta, possivelmente, também é beneficiada pela morfologia superficial dos grãos do SBS, visto que seus grãos, por serem menos porosos, tendem a absorver menos água, restando mais pasta na interface matriz-agregado.

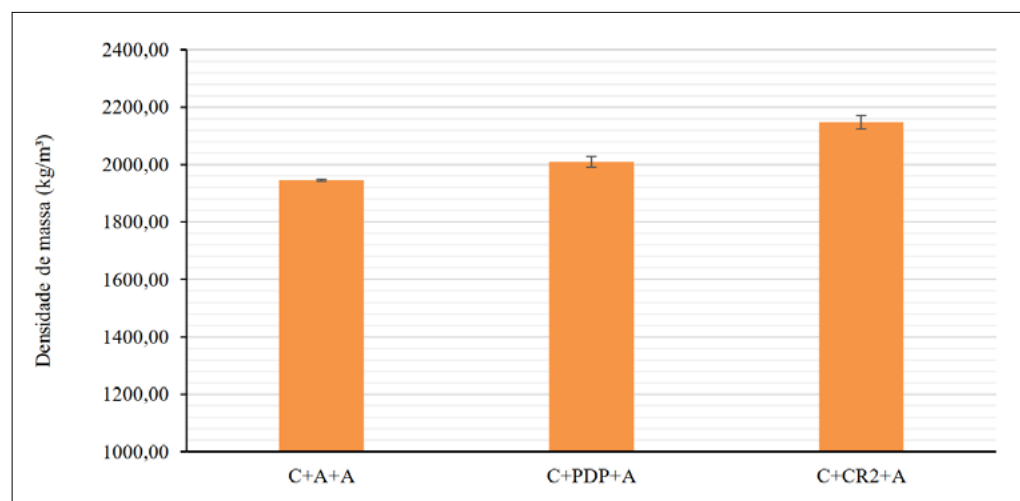
3.3 Caracterização das argamassas no estado endurecido

Nesta subseção, são exibidas as discussões das avaliações das propriedades das argamassas no estado endurecido, das análises de microestrutura da superfície de fratura dessas, como também do estudo do desempenho dos revestimentos argamassados quanto à aderência à tração.

3.3.1 Densidade de massa

A Figura 6 apresenta os resultados da densidade de massa no estado endurecido, aos 28 dias, das argamassas estudadas. Como esperado, as argamassas produzidas com a substituição do agregado natural pela CR2 apresentaram maior densidade de massa ($2147,50 \pm 6,32 \text{ kg/m}^3$), quando comparadas às demais formulações cimentícias, em virtude da elevada massa específica dos agregados constituintes, do melhor grau de empacotamento dos grãos constituintes e da menor relação água/materiais secos.

Figura 6 ►
Densidade de massa das argamassas.
Fonte: dados da pesquisa

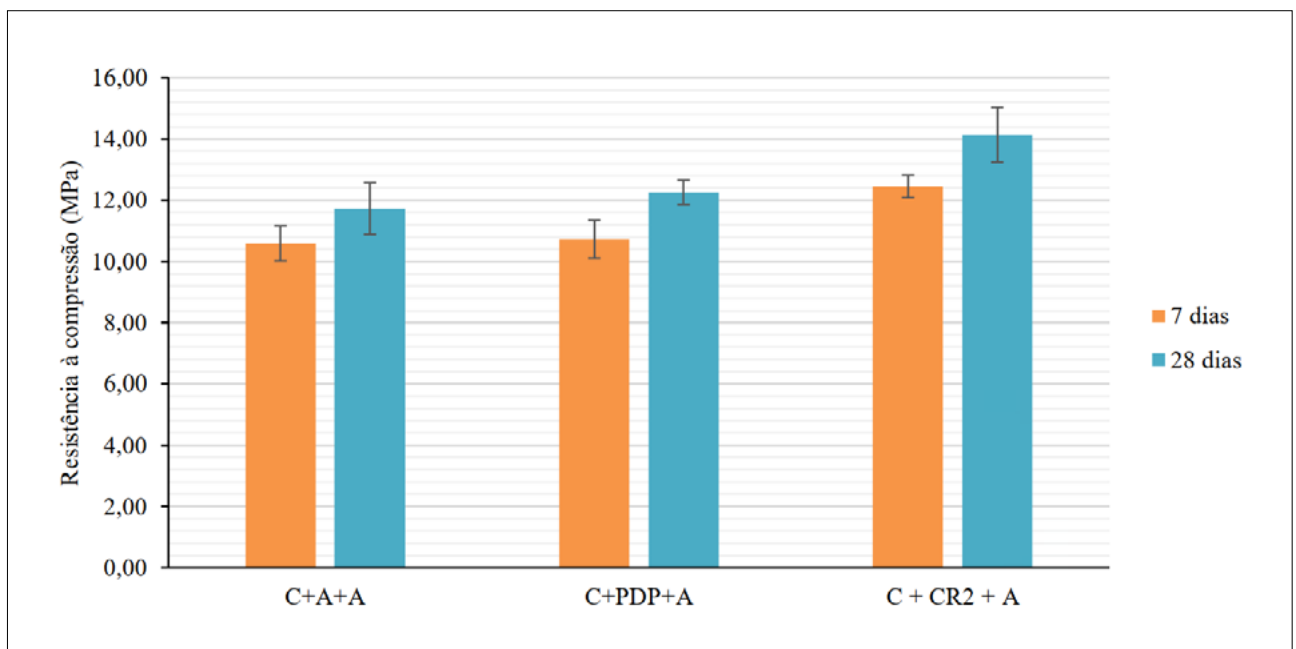


Para as argamassas confeccionadas com o agregado composto por 100% de pó de pedra, embora o traço tenha consumido maior quantidade de água – o que era esperado, em razão das características morfológicas do pó de pedra e da maior superfície específica de suas partículas –, o melhor empacotamento e a maior massa específica desse material acarretaram uma argamassa com maior densidade aparente ($2010,23 \pm 8,03 \text{ kg/m}^3$) que a de referência ($1940,26 \pm 13,86 \text{ kg/m}^3$).

3.3.2 Resistência à compressão e à tração na flexão

Os resultados correspondentes ao ensaio de resistência à compressão axial, aos 7 e 28 dias, estão dispostos na Figura 7. Aos 28 dias, como se esperava, em virtude dos resultados de densidade de massa no estado endurecido e da menor relação água/materiais secos, a argamassa com melhor desempenho quanto à resistência à compressão foi a formulada com a substituição do agregado natural pela composição CR2, obtendo $14,14 \pm 0,90 \text{ MPa}$, enquanto a argamassa de referência alcançou $11,73 \pm 0,57 \text{ MPa}$ e a produzida com agregado de 100% de pó de pedra atingiu $12,26 \pm 0,62 \text{ MPa}$. Os resultados corroboraram a tese de que matrizes cimentícias compostas por sistemas de agregados melhor empacotados tendem a apresentar maior resistência mecânica (Balasubramanian; Gopal; Periakaruppan, 2016).

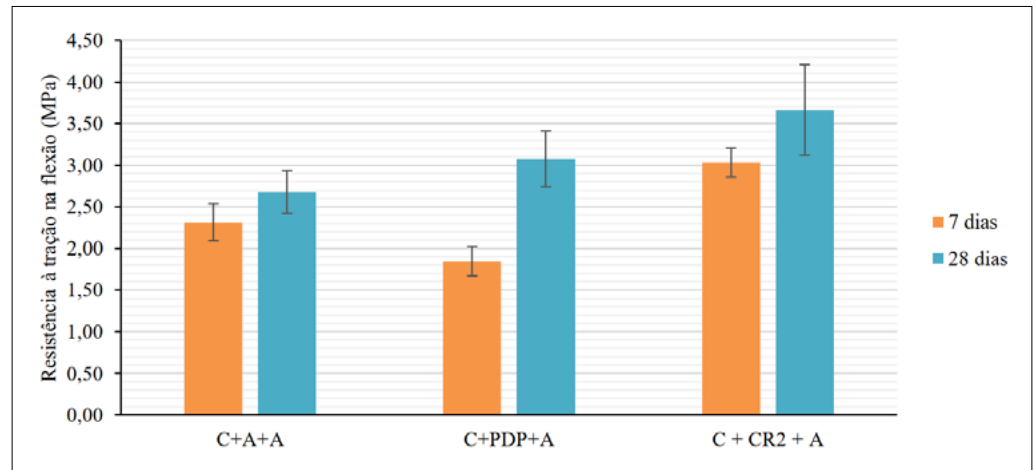
Figura 7 ▼
Resistência à compressão das argamassas.
Fonte: dados da pesquisa



Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão, aos 7 e 28 dias, das argamassas formuladas estão expressos na Figura 8. Na idade de 28 dias, como se aguardava, em razão dos resultados de densidade de massa e resistência à compressão, a argamassa com maior resistência à tração na flexão foi a produzida com a composição CR2 ($3,66 \pm 0,54 \text{ MPa}$), superando em cerca de 37% os valores obtidos para a argamassa de referência ($2,68 \pm 0,26 \text{ MPa}$).

Figura 8 ►

Resistência à tração na flexão das argamassas.
 Fonte: dados da pesquisa



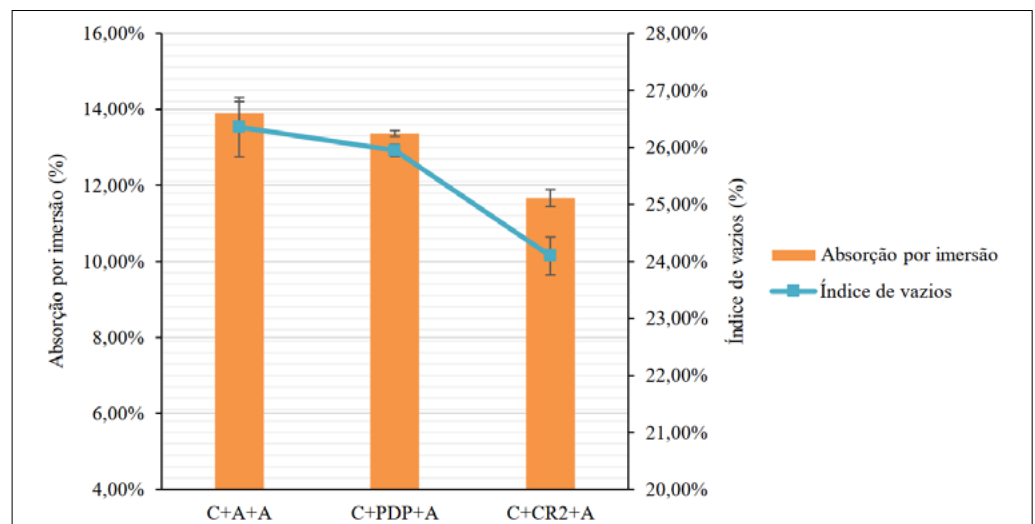
Analisando os resultados quanto ao grupo das argamassas produzidas com subprodutos *versus* a confeccionada com agregado natural, aos 28 dias (Figura 8), evidencia-se que os valores alcançados para a resistência à tração na flexão de todas as argamassas compostas por subprodutos superaram os resultados referentes à argamassa convencional, corroborando Balasubramanian, Gopal e Periakaruppan (2016) e Cechin *et al.* (2016). Nesse caso, sustenta-se a hipótese de que as características morfológicas dos grãos dos subprodutos, que são mais angulares e rugosos em comparação à areia natural, foram decisivas para a melhor aderência física na matriz pasta-agregado, culminando na maior resistência à tração na flexão das argamassas (Santos *et al.*, 2019).

3.3.3 Absorção por imersão e índice de vazios

Os resultados alusivos ao ensaio de absorção por imersão e índice de vazios são exibidos na Figura 9. Para todas as formulações, percebeu-se que quanto menor a densidade de massa no estado endurecido, mais elevado será o índice de vazios e o teor de absorção por imersão. Por isso, os melhores resultados referentes a essas propriedades foram obtidos pela formulação C+CR2+A (A imersão = $11,67 \pm 0,23\%$ e I vazios = $24,10 \pm 0,33\%$), possivelmente em virtude do excelente grau de empacotamento da CR2 (60,37%) e do menor consumo de água dessa formulação.

Figura 9 ►

Absorção por imersão e índice de vazios das argamassas.
 Fonte: dados da pesquisa



Para a formulação com C+PDP+A, apesar do maior consumo de água de amassamento, os valores de absorção por imersão e índice de vazios (A imersão = $13,36 \pm 0,08\%$ e I vazios = $25,94 \pm 0,11\%$) foram levemente inferiores aos obtidos com a argamassa de referência (A imersão = $13,89 \pm 0,31\%$ e I vazios = $26,35 \pm 0,52\%$), o que corrobora os resultados obtidos nos ensaios de densidade de massa e resistência mecânica, conforme apresentado nas subseções 3.3.1 e 3.3.2.

Esses resultados convergem com as análises realizadas por Santos *et al.* (2019) – autores que estudaram a influência do tipo de agregado miúdo (natural e artificial) nas características e dosagem de argamassas de revestimento mistas. Segundo os pesquisadores, a angulosidade dos grãos e o maior teor de finos do pó de pedra associado à sua maior massa específica favoreceram a densificação das argamassas no estado endurecido, resultando em argamassas menos porosas, que tendem a absorver menos água em comparação às argamassas produzidas com areia natural.

3.3.4 Absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade

No que diz respeito à absorção por capilaridade, como evidenciado na Tabela 3, os valores obtidos são diretamente proporcionais à relação água/materiais secos e, portanto, crescem com o aumento do consumo de água de amassamento pelo traço. Dessa forma, a argamassa C+CR2+A – a menos porosa entre as três formulações – alcançou valor 17% menor que a formulação referência, o que corrobora todos os demais resultados obtidos para essa formulação no estado endurecido.

Tabela 3 ▼

Absorção por capilaridade aos 10 min e 90 min, e coeficiente de capilaridade.

Fonte: dados da pesquisa

Composição	A10	A90	Coefficiente de capilaridade ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$)	Relação água/ materiais secos
C+A+A	$0,25 \pm 0,01$	$0,56 \pm 0,03$	$5,03 \pm 0,31$	0,1570
C+PDP+A	$0,26 \pm 0,02$	$0,70 \pm 0,04$	$6,94 \pm 0,39$	0,1767
C+CR2+A	$0,20 \pm 0,02$	$0,46 \pm 0,04$	$0,26 \pm 0,02$	0,1422

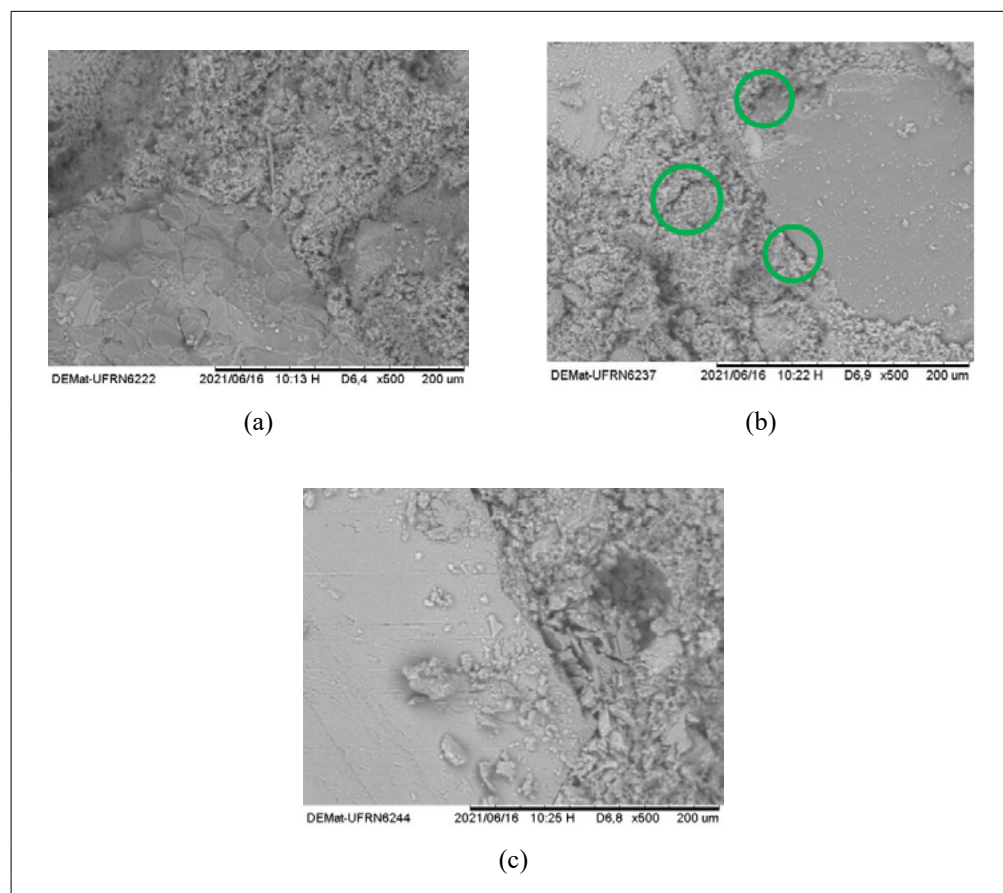
A argamassa C+PDP+A, diferentemente do desempenho alcançado no ensaio de absorção por imersão, que foi sensivelmente inferior ao do traço referência, obteve absorção por capilaridade em torno de 37% maior em comparação à formulação referência. Conforme descrito por Canova, Angelis Neto e Bergamasco (2015), que realizaram análise semelhante em argamassa com areia britada de calcário, esse resultado pode estar associado à formação de microfissuras devido ao alto teor de finos da areia artificial e à redução dos raios capilares da argamassa, que aumenta a tensão superficial. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o fenômeno da capilaridade não está relacionado apenas à presença de vazios, mas também ao diâmetro dos microporos e suas conexões, que são fatores que afetam a absorção por capilaridade e a durabilidade das argamassas.

As análises também convergem com os resultados obtidos por Kazmierczak, Rosa e Arnold (2016), em estudo de argamassas produzidas com pó de pedra basáltica e adição de até 30% de finos. Todas as argamassas com pó de pedra basáltica apresentaram maior quantidade de poros capilares e macroporos, e, por consequência, maiores coeficientes de capilaridade em comparação à argamassa com areia natural, apesar da densidade e resistência mecânica maiores, fruto do efeito *filler*. Os resultados do ensaio de absorção por capilaridade também podem ter sido influenciados pela maior porosidade superficial dos grãos de pó de pedra granítico, como constatado por Antunes e Gonçalves (2021).

3.4 Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da superfície de fratura

As Figuras 10a, 10b e 10c exibem, respectivamente, as imagens referentes às análises de Microscopia Eletrônica de Varredura – com magnificação de 500x – das argamassas produzidas com areia natural, pó de pedra e composição CR2. Observa-se a maior densificação da argamassa C+CR2+A (Figura 10c) em relação às formulações C+A+A (Figura 10a) e C+PDP+A (Figura 10b), o que corrobora os resultados obtidos nos ensaios de absorção por imersão e capilaridade.

Figura 10 ►
MEV 500x de argamassa com areia natural (a), 100% PDP (b) e CR2 (c).
Fonte: dados da pesquisa



Constatou-se uma maior quantidade de microporos e microfissuras nas superfícies de fratura – referentes às amostras coletadas do corpo de prova no ensaio de resistência à compressão – da argamassa C+PDP+A em comparação à argamassa C+A+A, ainda que a formulação C+PDP+A tenha apresentado maior densidade de massa e menor absorção por imersão. Isso ocorre porque a densidade de massa representa uma estimativa qualitativa da microestrutura, haja vista que a porosidade depende de inúmeras variáveis, como o tamanho máximo dos poros, o tipo e, sobretudo, a conectividade entre os microporos constituintes (Faheem; Rizwanc; Bierd, 2021).

Assim, pode-se concluir que a maior absorção de água por capilaridade da argamassa C+PDP+A (Tabela 3) está associada, possivelmente, a uma formação mais contundente de microfissuras e microporos em relação às demais formulações, como evidenciado nas Figuras 10a, 10b e 10c, e a uma provável maior conectividade entre esses vazios. As características morfológicas e o alto teor de finos do pó de pedra tendem a provocar

a maior demanda por água de amassamento, acarretando a intensificação do fenômeno da retração e, por consequência, a formação de microfissuras.

3.5 Caracterização do revestimento – Resistência de aderência à tração

Tabela 4 ▼
Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração.
Fonte: dados da pesquisa

Na Tabela 4 são expressos os resultados obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração, aos 28 dias, dos revestimentos formulados com as argamassas C+A+A e C+CR2+A. Evidencia-se que o revestimento argamassado produzido com a substituição total da areia natural pela composição CR2 obteve resultados aproximados aos da argamassa de referência e superiores aos valores mínimos estabelecidos pela NBR 13749 (ABNT, 2013) para revestimentos internos ($\geq 0,20$ MPa) e externos ($\geq 0,30$ MPa).

Amostra	C+A+A				C+CR2+A			
	Peso (N)	Tensão (MPa)	Tipo de ruptura	Umidade (%)	Peso (N)	Tensão (MPa)	Tipo de ruptura	Umidade (%)
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	636,00	0,40	A	4,19	410,00	0,26	A	3,42
3	544,00	0,34	A	3,24	460,00	0,29	A	3,63
4	-	-	-	-	394,00	0,25	A	3,32
5	638,00	0,40	S-C	-	862,00	0,55	A	-
6	454,00	0,29	A	3,10	430,00	0,27	S-C	-
7	752,00	0,48	A	-	858,00	0,54	S	-
8	751,00	0,47	A	-	628,00	0,41	S	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-
10	940,00	0,59	A	-	788,00	0,50	A	-
11	-	-	-	-	418,00	0,26	A	-
12	664,00	0,42	A	-	-	-	-	-
Média		0,42	-	3,51	-	0,38	-	3,46
Desvio máximo		0,52	-	4,11	-	0,51	-	3,62
Desvio mínimo		0,33	-	2,91	-	0,25	-	3,29

Legenda: A: argamassa; S-C: substrato-chapisco; S: substrato

Em análises de aderência de argamassa, Medeiros *et al.* (2019) formularam revestimentos com argamassas no traço de 1:2:9, em volume, com substituição total do agregado natural por SBS. Assim como nos resultados desta pesquisa, os autores também alcançaram valores de resistência de aderência à tração semelhantes aos obtidos com o revestimento produzido com o agregado natural.

Para Santos *et al.* (2019), o formato anguloso dos grãos britados favorece a aderência em virtude da melhor ancoragem dos grãos na pasta. No entanto, segundo os autores, essa propriedade também depende da distribuição granulométrica e do fator água/cimento,

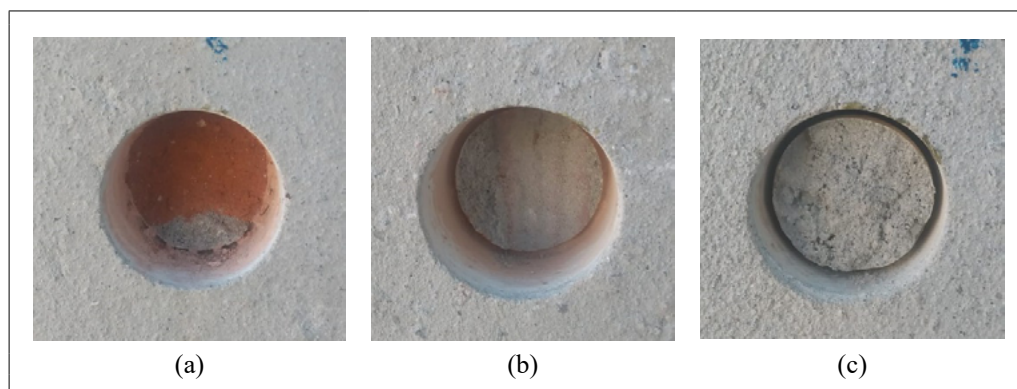
o que corrobora os expressivos resultados obtidos para a argamassa composta por 50% de pó de pedra e 50% de SBS.

A respeito da tipologia de ruptura, como observado na Tabela 4, a maioria das rupturas (76,47%) evidenciadas no ensaio de aderência ocorreram no interior da argamassa (tipo coesiva) (Figura 11c), com resistências expressivas, assemelhando-se aos resultados obtidos por Medeiros *et al.* (2019).

Figura 11 ►

Tipos de ruptura:
substrato (a),
substrato-chapisco (b)
e argamassa (c).

Fonte: dados da pesquisa



As demais rupturas (23,53%) ocorreram na interface substrato-chapisco (adesiva) (Figura 11b) e no interior do substrato (coesiva) (Figura 11a), com valores de resistência de aderência à tração superiores aos limites estabelecidos pela NBR 13749 (ABNT, 2013), o que ratifica a viabilidade da utilização da composição CR2 como agregado para a produção de argamassas de revestimento.

4 Conclusão

O estudo do empacotamento e da distribuição granulométrica dos agregados permitiu a confecção de uma areia binária (CR2) a partir da combinação, em partes iguais, do PDP com o SBS.

A argamassa produzida com a areia binária, embora tenha alcançado densidade de massa cerca de 8% maior em relação à argamassa de referência – especialmente devido à elevada densidade do SBS –, em razão do seu maior coeficiente de empacotamento entre as partículas, apresentou menor consumo de água de amassamento nas análises de consistência, e teor de ar incorporado cerca de 6% maior que o da argamassa convencional.

Os melhores resultados referentes às propriedades no estado endurecido foram obtidos pela formulação C+CR2+A, que, em comparação à argamassa de referência, apresentou maiores valores de resistência à compressão (14,14 MPa *versus* 11,73 MPa) e à tração na flexão (3,66 MPa *versus* 2,68 MPa), como também menor absorção de água, tanto por imersão (11,67% *versus* 13,89%) quanto por capilaridade (0,26 g/dm².min^{0,5} *versus* 5,03 g/dm².min^{0,5}).

A respeito do desempenho dos revestimentos quanto à resistência de aderência à tração, a argamassa C+CR2+A obteve resultados aproximados aos da argamassa C+A+A – 0,38 MPa e 0,42 MPa, respectivamente – e superiores aos valores mínimos estabelecidos pelas normas brasileiras para revestimentos internos e externos.

Portanto, a utilização conjunta, em frações iguais, do pó de pedra e do subproduto de scheelita, substituindo a areia natural em argamassas de revestimentos, pode proporcionar melhorias nas propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.

Além das vantagens técnicas, o reaproveitamento desses subprodutos na produção de argamassas pode promover a mitigação dos impactos ambientais causados tanto pela exploração dos agregados naturais quanto pela indústria da mineração de scheelita e brita.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuições ao artigo

MACEDO, J. W. N.; SOUZA, J. M.; SILVA, V. M.; ACCHAR, W.: concepção ou desenho do estudo/pesquisa; análise e/ou interpretação dos dados; revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. Todos os autores participaram da escrita, discussão, leitura e aprovação da versão final do artigo.

Nota

Este artigo é derivado de dissertação do curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/33351>.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200:** Execução de revestimento de paredes e tetos com argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16915**: Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios. Norma Mercosul. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009c.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ALMEIDA, M. V. V. **Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos**. 2006. 140 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12876>. Acesso em: 13 set. 2022.

ANTUNES, C. B.; GONÇALVES, M. R. F. Analysis of the use of grains from crushing sand of granitic origin in the production of coating mortars. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, e39110414312, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14312>.

BAALI, L.; NACERI, A.; RAHMOUNI, Z.; NOUI MEHIDI, M. W. Experimental study of the possibility to make a mortar with ternary sand (natural and artificial fine aggregates). **Physics Procedia**, v. 22, p. 275-285, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.11.044>.

BALASUBRAMANIAN, J.; GOPAL, E.; PERIAKARUPPAN, P. Strength and microstructure of mortar with sand substitutes. **Gradevinar**, v. 68, n. 1, p. 29-37, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.1245.2015>.

BENYAMINA, S.; MENADI, B.; BERNARD, S. K.; KENAI, S. Performance of self-compacting concrete with manufactured crushed sand. **Advances in Concrete Construction**, v. 7, n. 2, p. 87-96, 2019. DOI: <https://doi.org/10.12989/ACC.2019.7.2.087>.

CANOVA, J. A.; ANGELIS NETO, G.; BERGAMASCO, R. Dry ripened mortar with quarry waste and rubber powder from unserviceable tires. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, n. 1, p. 25-31, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v37i1.19907>.

CARASEK, H.; ARAÚJO, R. C.; CASCUDO, O.; ANGELIM, R. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 21, n. 3, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160003.0068>.

CECHIN, L.; TORKARSKI, R. B.; TRENTO, T. P. W.; MATOSKI, A. Utilização da areia industrial em argamassas de revestimento. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, n. 29, p. 77-87, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18265/1517-03062015v1n29p77-87>.

DOBISZEWSKA, M.; BARNES, R. W. Properties of mortar made with basalt powder as sand replacement. **ACI Materials Journal**, v. 117, n. 2, p. 3-9, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14359/51722392>.

FAHEEM, A.; RIZWANC, S. A.; BIERD, T. A. Properties of self-compacting mortars using blends of limestone powder, fly ash, and zeolite powder. **Construction and Building Materials**, v. 286, 122788, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122788>.

GERAB, A. T. F. S. C. **Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias**. 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/19515>. Acesso em: 13 jun. 2022.

GUPTA, L. K.; VYAS, A. K. Impact on mechanical properties of cement sand mortar containing waste granite powder. **Construction and Building Materials**, v. 191, p. 155-164, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.203>.

HICKEL, G. C.; BOAVENTURA, G. C.; SOUZA, R. A.; CALÇADA, L. M.; CASALI, J. M.; BETIOLI, A. M.; OLIVEIRA, A. L. Influence of crusher type in the

shape of fine crushed aggregate grains. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, n. 4, p. 902-930, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952018000400013>.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2020**: ano base 2019. Brasília, DF: Instituto Brasileiro de Mineração, 2020. 84 p. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Economia-Mineral-Brasileira-IBRAM-2020.pdf>. Acesso em: 13 out. 2022.

KAZMIERCZAK, C. S.; ROSA, M.; ARNOLD, D. C. M. Influência da adição de filler de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 7-19, abr./jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000200076>.

KHYALIYA, R. K.; KABEER, K. I. S. A.; VYAS, A. K. Evaluation of strength and durability of lean mortar mixes containing marble waste. **Construction and Building Materials**, v. 147, p. 598-607, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.199>.

MATTANA, A. J.; MEDEIROS, M. H. F.; SILVA, N. G.; COSTA, M. R. M. M. Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 63-79, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000400006>.

MEDEIROS, A. G.; GURGEL, M. T.; SILVA, W. G.; OLIVEIRA, M. P.; FERREIRA, R. L. S.; LIMA, F. J. N. Evaluation of the mechanical and durability properties of eco-efficient concretes produced with porcelain polishing and scheelite wastes. **Construction and Building Materials**, v. 296, 123719, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123719>.

MEDEIROS, B. A.; NEVES, G. A.; BARBOSA, N. P.; MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. C. Mechanical properties of mortar produced with the replacement of natural sand by scheelite residue. **Cerâmica**, v. 65, n. 375, p. 443-451, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132019653752571>.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

RAMOS FILHO, R. E. B. **Estudo da combinação de resíduo de scheelita, pó de pedra e manipueira com aglomerantes para produção de tijolos ecológicos**. 2021. 155 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/31917>. Acesso em: 10 set. 2022.

ROMANO, R. C. O.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 2, p. 289-308, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000200255>.

SANTOS, W. J.; ALVARENGA, R. C. S.; SILVA, R. C.; PEDROTI, L. G.; SOUZA, A. T.; FREIRE, A. S. Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 271-288, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000400355>.

SHEN, W.; LIU, Y.; WANG, Z.; CAO, L.; WU, D.; WANG, Y.; JI, X. Influence of manufactured sand's characteristics on its concrete performance. **Construction and Building Materials**, v. 172, p. 574-583, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.139>.

SOUZA, M. H. O.; FRANÇA NETA, M. L. X.; BARROS, S. V. A.; DANTAS, G. C. B.; NEVES, G. A.; CARTAXO, J. M.; PIMENTEL, P. M. Influência do tipo de cura no comportamento mecânico de argamassas confeccionadas com areia de scheelita. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 14, n. 2, p. 91-94, 2019. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/698/482>. Acesso em: 14 set. 2022.

SOUZA, M. M.; ANJOS, M. A. S.; SÁ, M. V. V. A. Using scheelite residue and rice husk ash to manufacture lightweight aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 270, 121845, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121845>.

TOKARSKI, R. B.; MATOSKI, A.; CECHIN, L.; WEBER, A. M. Comportamento das argamassas de revestimento no estado fresco, compostas com areia de britagem de rocha calcária e areia natural. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 3, e12196, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0530>.

VALVERDE, F. M. O “novo normal” na indústria de agregados. **Revista Areia & Brita**, São Paulo, ed. 76, p. 15-17, dez. 2020. Disponível em: <https://anepac.org.br/revistas/edicao-76-dezembro-2020/>. Acesso em: 13 jun. 2022.