



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE SCHEELITA PARA
PRODUÇÃO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE**

THAYSE BEZERRA DA SILVA

POMBAL – PB

2022

THAYSE BEZERRA DA SILVA

ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE SCHEELITA PARA
PRODUÇÃO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador(a): Prof.(a) Ma. Fernanda Karolline de Medeiros

POMBAL – PB

2022

S586e Silva, Thayse Bezerra da.

Estudo da incorporação de resíduo de scheelita para produção de argamassa autonivelante / Thayse Bezerra da Silva. – Pombal, 2022. 84 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Profa. Ma. Fernanda Karolline de Medeiros.”.
Referências.

1. Argamassa. 2. Agregados residuais - Argamassa autonivelante. 3. Construção civil - Materiais alternativos. 4. Rejeito de mineração. I. Medeiros, Fernanda Karolline de. II. Título.

CDU 691.53(043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

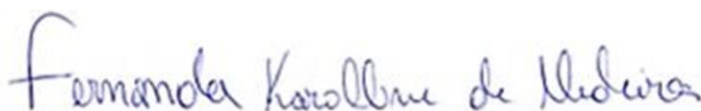
PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

THAYSE BEZERRA DA SILVA

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE SCHEELITA PARA
PRODUÇÃO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso do discente THAYSE BEZERRA DA SILVA **APROVADO** em 20 de junho de 2022 pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande.


Registre-se e publique-se.



Prof. Ma Fernanda Karolline de Medeiros
(Orientadora – UFCG)



Prof.ª. Dr.ª. Suelen Silva Figueiredo Andrade
(Membro Interno – UFCG)



Palloma Karolayne Santos Oliveira
(Membro Externo)

Dedico este trabalho ao meu Deus, criador do mundo e, autor da minha vida. Á minha mãe (in memoriam), que sempre sonhou os meus sonhos. E, a toda minha família que sempre foi minha base e fonte de apoio.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me permitido realizar essa conquista segundo os seus planos, por ser tão presente em minha vida, e por ser meu sustento diário, em meio as adversidades. Ele, com toda a sua bondade e fidelidade, me cerca com sua graça e seu amor incondicional todos os dias. Graças lhe dou por tantas bênçãos em minha vida. À Ele, toda honra e toda glória.

À minha mãe Maria de Fátima (*in memoriam*), que nunca mediu esforços para que eu pudesse realizar os meus sonhos. Obrigada por todo ensinamento, apoio, incentivo, educação e amor incondicional enquanto esteve presente fisicamente ao meu lado. À ti, mãe, dedico esta conquista, pois, ela é mais sua do que minha. Sempre foi por você, e para você.

Ao meu pai Adesisto Vieira, por todo apoio e incentivo nos estudos, mostrando-me que a educação é essencial.

Agradeço à toda minha família por todo apoio e incentivo, em especial, a minha tia Maria Dalva, que é como uma mãe para mim. Sempre incentivando, apoiando, ajudando e acreditando em mim. Obrigada por todo o seu amor e contribuição em todas as conquistas da minha vida.

À minha irmã gêmea, Tamires Bezerra, por todo o seu apoio, incentivo nos dias mais difíceis da graduação, por seu amor e cuidado diário para comigo. Obrigada por acreditar no meu potencial, por ser meu abrigo, consolo e parceira em todos os momentos da minha vida.

À minha irmã, Haysa Bezerra, por sempre torcer pelas minhas conquistas, por todo o seu apoio e incentivo. À minha sobrinha Heloísa, que nasceu durante essa caminhada acadêmica, e veio como um valioso presente de Deus trazendo leveza e alegria às nossas vidas.

Em especial, a minha vó materna Dona Noca (*in memoriam*) e minha tia Daguia (*in memoriam*), anjos que Deus me presentou para que eu pudesse chegar até aqui. Obrigada por todo amor, cuidado, incentivo, apoio e dedicação na minha criação e educação.

À minha tia Adalmira, por ser minha maior incentivadora a realizar todos os meus sonhos, por compartilhar ensinamentos espirituais, e me aconselhar nos

momentos que mais precisei nessa caminhada. Obrigada por acreditar em mim, pelo apoio, incentivo e, principalmente, por me motivar a vencer os desafios da vida.

À minha querida orientadora, Professora Ma. Fernanda Karolline de Medeiros, sempre solícita e prestativa. Obrigada pelas suas atribuições nessa pesquisa, por todo conhecimento compartilhado, por toda assistência e dedicação nesse trabalho, pela motivação, paciência e solidariedade quando precisei. Sua empatia tornou tudo mais fácil e leve. Obrigada por tudo!

Ao técnico do laboratório, Eudes, agradeço imensamente, por toda disponibilidade, e ajuda na execução dos ensaios. Obrigada também pela sua ajuda na coleta e transporte dos materiais. Sua contribuição foi fundamental para conclusão dessa pesquisa.

As minhas meninas do quarto 6, Raiana Almeida e Márcia Lacerda, com quem tive o prazer de dividir quarto na residência universitária. Obrigada por todos os momentos compartilhados, por todo apoio, cuidado e carinho. Levarei vocês para sempre em meu coração.

Aos grandes amigos, Danielly Silva, Adla Vieira, Ana Leticia, Kawanna Sousa, Pedro Henrique, Helton Rijkaard, Ian Marques, Léo Guedes e William Medeiros por toda parceria durante a graduação, por toda ajuda nos trabalhos e projetos acadêmicos, pelos conhecimentos compartilhados e pelas madrugadas de estudo. Obrigada pelos momentos vivenciados. Vocês alegraram os meus dias e tornaram tudo mais leve. Em especial, Adla e Ana Letícia por toda ajuda nessa pesquisa, e pela hospedagem durante a execução deste trabalho.

À empresa GCP, pela doação do aditivo utilizado na pesquisa.

Ao meu amigo, Helton, pela doação da areia utilizada neste trabalho.

Enfim, a todos, que me ajudaram direta ou indiretamente, meus sinceros agradecimentos.

“A mente que se abre para alguma coisa nova, nunca mais será a mesma.”

Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar a influência da incorporação do subproduto fino do beneficiamento da scheelita substituído parcialmente ao agregado natural na composição de argamassas autonivelantes. Para a realização do estudo, inicialmente, foi feita a caracterização física dos materiais, por meio da granulometria, massa específica e unitária. Em seguida, foram realizados testes prévios de estudo de dosagens, através do mini slump, para a determinação do traço e teor de aditivo superplastificante, definidos a partir da revisão bibliográfica. As argamassas foram formuladas na proporção de traço 1:2, em massa, utilizando teores de substituição do resíduo nas proporções de 0%, 40%, 50% e 60%. A análise das argamassas foi realizada quanto as suas propriedades no estado fresco (mini slump) com o intuito de obter o resultado de dosagem ótima da argamassa e, posteriormente analisados quanto as suas propriedades no estado endurecido (resistência à compressão, resistência à tração na flexão, densidade de massa aparente, absorção de água por imersão e capilaridade) na idade de 7, 14 e 28 dias. Analisando os resultados obtidos, observou-se que a incorporação do resíduo conferiu as argamassas um melhor empacotamento dos grãos, o que proporcionou melhorias nas propriedades das argamassas estudadas. No estado fresco, através do ensaio de mini slump, foi possível chegar à dosagem ótima. Evidenciando que, as argamassas produzidas com resíduos, obtiveram maior fluidez e melhor desempenho, se comparadas a formulação de referência. No que tange ao estado endurecido, as argamassas com rejeitos obtiveram maior resistência mecânica tanto à compressão, quanto à tração na flexão, maior densidade de massa, menor absorção de água, tanto por imersão, como por capilaridade. Todavia, pode-se considerar que a argamassa que melhor apresentou desempenho foi a AAN com 50% do resíduo, se comparada a argamassa de referência. Portanto, conclui-se que, o resíduo fino do beneficiamento da scheelita possui alto potencial para inserção de substituição do agregado miúdo natural.

Palavras-chave: Agregados residuais. Materiais alternativos. Rejeito de mineração.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Referências bibliográficas utilizadas para escolha do traço	33
Figura 2 - Dimensões de mini cone para mini slump.....	35
Figura 3 - Referência bibliográfica espalhamento mini slump	36
Figura 4 - Análise da espessura das bordas. (a) Bordas espessas, sem tendência à segregação. (b) Bordas líquidas, com tendência à segregação	37
Figura 5 - Análise Visual da Borda: Tendência a segregação	37
Figura 6 - Amostra do Resíduo fino utilizado na pesquisa	39
Figura 7 - Fluxograma do procedimento experimental	40
Figura 8 - Execução do ensaio de massa unitária do resíduo	41
Figura 9 - Composição Granulométrica do agregado miúdo	42
Figura 10 - Determinação da massa específica: (a) Preparação da amostra; (b) Amostra com formato do molde tronco-cônico; (c) Frasco com amostra	43
Figura 11 - Execução do ensaio de massa específica	43
Figura 12 - Frasco volumétrico utilizado no ensaio de massa específica	44
Figura 13 - Testes de dosagens feitos na argamassa: (a) argamassa sem fluidez; (b) argamassa com segregação	45
Figura 14 - Argamassa enrijecida após uso do AMV	46
Figura 15 - Argamassadeira utilizada na produção das AAN's	47
Figura 16 - Equipamentos utilizados no mini slump	48
Figura 17 - (a) Argamassa com exsudação; (b) Argamassa ótima; (c) Medição do espalhamento da argamassa	49
Figura 18 - Moldagem dos corpos-de-prova: (a) Cilíndricos; (b) Prismáticos.....	49
Figura 19 - (a) Ensaio de resistência a tração na flexão; (b) Corpo de prova rompido	51
Figura 20 - Ensaio de resistência à compressão.....	51
Figura 21 - Ensaio de densidade: (a) Medições do corpo de prova; (b) Registro da massa dos cp's.....	53
Figura 22 - Ensaio de absorção por imersão: amostra imersa na água	54
Figura 23 - (a) Ensaio de absorção por capilaridade; (b) Verificação da distribuição de água no cp.....	55
Figura 24 - Curva Granulométrica do agregado miúdo in natura	57

Figura 25 - Análise visual das argamassas	61
Figura 26 - Resistência à compressão das argamassas	64
Figura 27 - Resistência à tração na flexão das argamassas	66
Figura 28 - Distribuição de densidade de massa aparente no estado endurecido	67
Figura 29 - Resultados dos índices de absorção de água por imersão.....	69
Figura 30 - Resultados dos índices de absorção de água por capilaridade	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da areia quanto ao diâmetro dos grãos.....	27
Tabela 2 - Referência bibliográfica de espalhamento de mini slump	36
Tabela 3 - Informações sobre o aditivo utilizado na pesquisa	39
Tabela 4 - Apresentação dos critérios de ensaios estabelecidos pelas normas	50
Tabela 5 - Classes de argamassas de acordo com a resistência à compressão	52
Tabela 6 - Classes de argamassas de acordo com a resistência a tração na flexão	52
Tabela 7 - Densidade de massa aparente no estado endurecido	53
Tabela 8 - Massa específica e unitária do resíduo	56
Tabela 9 - Análise granulométrica do agregado miúdo natural	57
Tabela 10 - Classificação do agregado quanto ao módulo de finura.....	58
Tabela 11 - Massa específica e unitária do agregado natural	58
Tabela 12 - Massa específica e unitária do cimento	59
Tabela 13 - Traços utilizados na pesquisa	60
Tabela 14 - Resultados de espalhamento das argamassas.....	60
Tabela 15 - Resultados do ensaio de resistência à compressão das argamassas ...	63
Tabela 16 - Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão	65
Tabela 17 - Resultados do ensaio de densidade de massa aparente.....	67
Tabela 18 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão	68
Tabela 19 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade	70

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Siglas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção;
- ASTM - *American Society for Testing and Materials*;
- AAN – Argamassa Autonivelante;
- AAN'S – Argamassas Autonivelantes;
- CAA – Concreto Autoadensável;
- CP – Corpo-de-Prova;
- CP's – Corpos-de-provas;
- CP II F-32 – Cimento Portland composto com fíler;
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral;
- DRX – Difração de raios X;
- FRX - Fluorescência de raios-X;
- IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração;
- MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura;
- Mpa – Megapascal;
- NBR – Norma Brasileira;
- PB – Paraíba;
- RS – Resíduo de scheelita;
- RN – Rio Grande do Norte;
- Sp – Superplastificante.

Símbolos

- a/c – Relação água/cimento;
- CaO – Óxido de cálcio;
- W – Tungstênio.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	17
1.1.	Justificativa	19
1.2.	Objetivos.....	20
1.2.1.	<i>Objetivo Geral</i>	20
1.2.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	20
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1.	A indústria da mineração e seus impactos ambientais.....	21
2.2.	Mineração de scheelita e seu impactos	22
2.2.1.	<i>Aplicação do resíduo de scheelita como agregado em concretos e argamassas</i>	23
2.3.	Materiais Constituintes da Argamassa	26
2.3.1.	<i>Agregado Miúdo</i>	26
2.3.2.	<i>Aglomerante</i>	27
2.3.3.	<i>Água de Hidratação</i>	28
2.4.	Argamassa Autonivelante	29
2.5.	Aditivos.....	32
2.6.	Revisão literária dos estudos de traços das argamassas autonivelantes	33
2.7.	Métodos de Dosagem de argamassa autonivelante	34
2.8.	Mini Slump.....	35
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1.	Materiais.....	38
3.1.1.	<i>Cimento</i>	38
3.1.2.	<i>Areia Natural</i>	38
3.1.3.	<i>Resíduo de scheelita</i>	38
3.1.4.	<i>Água</i>	39
3.1.5.	<i>Aditivo Superplastificante</i>	39
3.2.	Métodos.....	40
3.2.1.	Beneficiamento dos materiais	41
3.2.2.	Caracterização física dos materiais	41
3.2.2.1.	Resíduo de scheelita	41
3.2.2.1.1.	Massa específica e massa unitária.....	41

3.2.2.2. Agregado miúdo	42
3.2.2.2.1. Granulometria.....	42
3.2.2.2.2. Massa específica e unitária	42
3.2.2.3. Aglomerante	44
3.2.2.3.1. Massa específica.....	44
3.2.3. Estudos de Dosagens	44
3.2.3.1. Procedimento de mistura	46
3.2.4. Ensaio no estado fresco	47
3.2.4.1. Ensaio de mini slump	47
3.2.5. Moldagem e cura dos corpos de prova	49
3.2.6. Ensaio no estado endurecido	50
3.2.6.1. Resistência à compressão e à tração na flexão	50
3.2.6.2. Densidade de massa aparente no estado endurecido	52
3.2.6.3. Absorção de água por imersão	54
3.2.6.4. Absorção de água por capilaridade	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1. Caracterização física	56
4.1.1. Resíduo de Scheelita	56
4.1.1.1. Massa específica e unitária	56
4.1.2. Agregado miúdo	56
4.1.2.1. Granulometria.....	56
4.1.2.2. Massa específica e unitária	58
4.1.3. Aglomerante	59
4.1.3.1. Massa específica e unitária	59
4.2. Estudos de dosagens	59
4.3. Ensaio no estado fresco	60
4.3.1. Ensaio de Mini slump	60
4.4. Ensaio no estado endurecido	63
4.4.1. Resistência à compressão e tração na flexão	63
4.4.2. Densidade de massa aparente no estado endurecido	67
4.4.3. Absorção de água por imersão	68
4.4.4. Absorção de água por capilaridade	70
5. CONCLUSÕES	73

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
--	-----------

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado como o maior produtor de minérios do mundo, sendo o setor da mineração um dos pilares da sustentação econômica do país. Em 2019, o IBRAM apurou que as exportações minerais brasileiras atingiram mais de US\$ 32,5 bilhões, com cerca de 358 milhões de toneladas, correspondentes, principalmente, a bens minerais primários (IBRAM, 2020).

Segundo Chaves (2017), o Brasil possui um enorme patrimônio mineral, e é classificado como um dos maiores produtores e exportadores de minérios. O âmbito da mineração é de suma importância para o país, possuindo influência significativa no PIB, bem como na geração de empregos.

O setor da construção civil tem forte influência no desenvolvimento socioeconômico de qualquer país, seja na geração de empregos e renda, pela oferta de habitações e infraestrutura. O campo promove uma grande expansão em áreas estratégicas para o crescimento das cidades (MACEDO, 2021).

Em contrapartida, a construção civil ainda impacta diretamente no meio ambiente. Estudos apontam que, o consumo de agregados na construção civil aumentou no ano de 2016, totalizando cerca de 542 milhões de toneladas de agregados, correspondente, a 230 milhões de toneladas de brita e 312 milhões de toneladas de areia (DNPM, 2017).

O processo de obtenção dos agregados, por sua vez, também gera impactos ambientais, uma vez que, a extração da areia produzida no território brasileiro, em sua maioria, é retirada dos leitos dos rios e outras áreas de sedimentação, ocasionando, graves danos ao meio ambiente, devido a remoção da cobertura vegetal nas regiões a serem lavradas (ALLMEIDA & LUZ, 2012), causando, assoreamento dos rios, erosão do solo e supressão da vegetação (NOBRE FILHO *et al.*, 2011).

Em seus estudos, Pinto (2018) aponta como impactos ambientais negativos gerados pela construção civil fatores como: alteração da qualidade do ar, dos níveis de pressão sonora, da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, assoreamento de cursos d'água, afugentamento e perturbações da fauna, aumento da ocorrência de infecções por doenças tropicais.

Diante desse cenário, é nítida a necessidade do gerenciamento adequado dos recursos naturais. Com isso, o uso de tecnologias construtivas e materiais alternativos que otimizam prazos e aumentam a produtividade no canteiro de obras vem se tornando cada vez mais presente na construção civil. Exemplos disso, são as empresas fabricantes que vêm adequando seus produtos, com os materiais disponíveis hoje no mercado, procurando viabilizar o uso dessas tecnologias, em busca de novas soluções e condições técnico-econômicas que venham ao encontro dessas novas necessidades (RUBIN, 2015).

À exemplo de materiais alternativos, o resíduo de scheelita (RS) possui grande potencial para uso como agregado para a construção. Nesse cenário, destaca-se a mina Brejuí, situada no município de Currais Novos, no estado do Rio Grande do Norte, concentrando as maiores reserva de scheelita de tungstênio do Brasil. Estima-se, que, exista cerca de 6,5 milhões de toneladas de resíduos grossos e finos (RAMOS FILHO, 2021) amontoados como dunas, formando pilhas de resíduos, que alteram a estética da paisagem natural e causam inúmeros danos ao meio ambiente (GERAB, 2014).

O setor da construção civil possui grande capacidade de incorporar rejeitos de outras atividades em sua cadeia produtiva e sempre surgem novas tecnologias e produtos para tentar mitigar os impactos causados pela mesma e/ou aumentar a produtividade de seus processos. Dentre essas novas tecnologias se encontra a argamassa autonivelante (GAMA, 2017).

Inserido no mercado da construção civil, a argamassa autonivelante surge como um produto inovador para aplicação de contrapiso, permitindo a regularização e nivelamento desde os mais novos aos antigos, apresentando-se como um produto vantajoso e competitivo, capaz de acelerar o processo construtivo (SILVA, 2016a).

Neste contexto, a argamassa autonivelante chega ao Brasil como uma técnica alternativa para a execução de contrapisos ou enchimentos. Assim, o entendimento das propriedades mecânicas dessas argamassas se faz necessário para a extinção de manifestações patológicas como problemas de segregação, fissuras, retração e falta de aderência, que já se mostram nas obras do Brasil (GOMES & GONÇALVEZ, 2013).

Assim, visando o emprego de técnicas sustentáveis e a incorporação de novos materiais residuais, a presente pesquisa estuda a viabilidade técnica do

emprego do resíduo de scheelita, como agregado, na produção de argamassas autonivelantes, buscando contribuir com a inserção destes resíduos na produção dessas argamassas com o intuito de estudar o melhoramento das propriedades mecânicas dessas argamassas com diferentes proporções de substituições de resíduo de scheelita.

1.1. Justificativa

A expansão das cidades e a ocorrência da urbanização gradativamente mais frequente em grandes centros evidenciados nas últimas décadas, têm ampliado consideravelmente o setor da construção civil e, conseqüentemente, o consumo de insumos, como os agregados naturais, que vem sendo constantemente aplicados na produção de materiais alternativos (IBRAM, 2020).

A argamassa autonivelante já é um material conhecido, entretanto, é pouco utilizada no Brasil, isso deve-se ao fato que ainda no território brasileiro existe uma grande falta de pesquisa e estudos bibliográficos sobre o comportamento e propriedades para este tipo de argamassa e, os estudos existentes, em sua grande maioria, referem-se a concretos autoadensáveis.

Jonh e Agopyan (2003) destacam que a construção civil é uma grande produtora de impactos ambientais, parte dos seus efeitos, está na elevada emissão de poluentes, extração de recursos naturais e alta produção de rejeitos. Nesse contexto, o reaproveitamento de subprodutos, a adoção de práticas sustentáveis, como preservação dos recursos naturais e a incorporação de materiais alternativos são técnicas essenciais para a mitigação dos impactos gerados pela indústria de construção.

Nessa perspectiva, o reaproveitamento de subprodutos retrata uma alternativa capaz de conectar a economia à sustentabilidade, principalmente, pelo seu potencial de reduzir custos de produção, ao passo que, tem capacidade de promover a redução do consumo dos recursos naturais, bem como, promover o manejo adequado de resíduos de diversas indústrias, como por exemplo, o resíduo de scheelita.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Analisar a influência da substituição parcial do agregado miúdo (areia), pelo resíduo de scheelita na produção de argamassa autonivelante.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização física do resíduo e dos materiais por meio de ensaios realizados em laboratórios;
- Avaliar o comportamento da argamassa autonivelante no estado fresco e no estado endurecido;
- Obter o resultado de dosagem ótima para se ter uma argamassa autonivelante com alta fluidez, sem tendência à exsudação e segregação;
- Apresentar uma alternativa que reduza os impactos ambientais ocasionados pela falta de destino adequado dos resíduos das mineradoras.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A indústria da mineração e seus impactos ambientais

Levando em consideração a grande produção e riqueza de minérios que se encontram no nosso país, muitos pesquisadores consideram este, como afirma Chaves (2017) um país com enorme patrimônio mineral, podendo classificá-lo como maior produtor e exportador de minério, influenciando positivamente na economia e geração de empregos. Entretanto, apesar de, apresentar grande benefício econômico, por outro lado, traz consigo uma problemática de grande impacto ambiental negativo, uma vez que, a extração mineral a partir da sua fase inicial da lavra até o transporte e beneficiamento do minério, altera de forma desregular o meio físico, provocando desmatamentos, erosão, contaminação dos corpos hídricos, alterações na paisagem e etc (BERMANN; C, 2016).

Para Gerab (2014), às atividades exercidas pelas mineradoras se caracterizam naturalmente como exercícios agressivos ao meio ambiente, e quando realizadas sem o atendimento às políticas ambientais vigentes, as consequências podem ser muito severas. Dentre os principais problemas gerados pela atividade mineradora, o autor destacou em seu trabalho que estes, podem ser divididos em quatro categorias, a saber: Poluição da água, poluição do ar, poluição sonora e subsidência do terreno.

Devido às drásticas mudanças na paisagem, alteração significativa na estética e biodiversidade local, ocasionados pelas atividades mineradoras, a mesma tem sido veementemente criticada por conservacionistas e ambientalistas, caracterizando-as como de elevado potencial de degradação ambiental (NASCIMENTO *et al*, 2015).

Em seus estudos, Okada *et al.*, (2013) menciona que pouco mais da metade dos materiais extraídos da natureza retorna como resíduos, visto que, todo produto no final de sua vida útil, se transforma em lixo ou resíduo pós-uso. Para isso, ademais estudos apontam como método para sanar esta problemática, a incorporação de resíduos agrícolas ou industriais na produção de materiais para a construção civil.

Segundo pesquisas realizadas por outros autores, os impactos ambientais gerados pela atividade mineradora atingem substancialmente as populações, de

maneira que estes impactos sobre a vida dessas pessoas não prevalecem somente durante o tempo de vida útil de uma mina, mas podem perdurar por dezenas de anos ou mesmo por séculos. Na maioria dos casos, a mina se esgota, a empresa transfere suas atividades para outra localidade, e à população restam escavações abandonadas, pilhas de rejeitos, contaminação do ar, do solo, dos rios e dos lençóis freáticos, além de doenças, decadência econômica e empobrecimento (ARAÚJO; OLIVIERI; FERNANDES, 2014).

2.2. Mineração de scheelita e seu impactos

A scheelita é definida como mineral tipicamente cristalino, de elevada dureza e densidade (5,9-6,1 g/cm³), composto de tungstato de cálcio cuja fórmula química é CaWO₄, (Ca - 19,4% e WO₃ - 80,6%), e constitui importante fonte de Tungstênio (W). A scheelita é encontrada em pegmatitos graníticos, nos depósitos de metamorfismos de contato e jazidas de hidrotermais de altas temperaturas associadas com rochas graníticas; encontradas nas cores branca, verde, amarela e marrom (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2015).

Conforme o DNPM (2018), os principais depósitos de minério de scheelita estão no Brasil, especificamente no Nordeste Brasileiro, na região Seridó dos estados da Paraíba (PB) e Rio Grande do Norte (RN), sendo o estado potiguar um dos maiores detentores de reserva nacional de scheelita de tungstênio. Ainda, conforme o órgão, o estado do RN foi responsável por toda a produção brasileira de tungstênio do ano de 2017, o equivalente a 593 toneladas de minério, acumulando R\$ 21,1 milhões.

Grande parte desta produção, concentra-se na mina Brejuí, localizada no município de Currais Novos - RN, sendo esta, a maior mineradora de exploração de scheelita da América do Sul (RAMOS FILHO, 2021). Quanto ao processo de beneficiamento da scheelita, o mesmo gera quantidades expressivas de subprodutos, que por sua vez exercem forte impacto ambiental sobre as regiões produtoras (Souza *et al.*, 2021).

Segundo Gerab (2014), do total extraído durante o beneficiamento da scheelita, apenas 0,8% representa, efetivamente, o minério. Cerca de 99,2% se perde no processo de produção, ficando acumuladas a céu aberto, formando pilhas volumétricas de resíduos, depositas no solo alterando a paisagem natural da

localidade, bem como, causando diversos danos ao meio ambiente, ocasionando a poluição atmosférica, que afeta a saúde das pessoas envolvidas, diretamente ou indiretamente na atividade mineradora.

O processo de beneficiamento do minério é basicamente mecânico, utilizando principalmente água e mesas vibratórias. Durante o processo ocorre o reaproveitamento de parte da água utilizada, em contrapartida, cerca de 50m³ são resíduos produzidos na mina Brejuí, resultantes em rejeitos que são depositados no meio ambiente, totalizando aproximadamente 18.000m³ de resíduo por ano (GERAB, 2014). Estima-se, ainda que, exista cerca de 6,5 milhões de toneladas de resíduos acumulados, sendo 4,0 milhões de toneladas da fração grossa e 2,5 milhões da fração fina (RAMOS FILHO, 2021).

O resíduo grosso da scheelita obtido no início da extração, possui em sua composição grãos de formatos arredondados, semelhantes as areias naturais, fazendo com que sua granulometria se aproxime das areias utilizadas na construção civil. Já a parcela fina do resíduo da scheelita é extraída através da secagem da lama gerada no beneficiamento, todavia, sua granulometria é típica de areia muito fina, uma vez que mais de 65% das partículas passam na peneira de #200 (0,075 mm) (RAMOS FILHO, 2021).

Diante deste contexto, na perspectiva de reaproveitamento de subprodutos, a incorporação de tais na fabricação de concretos e argamassas viabilizam vantagens econômicas, fomentando interligar a economia à sustentabilidade, visto que, tem a capacidade de agregar valor ao produto residual, em consequência da mitigação dos impactos causados pela exploração dos recursos naturais.

Nesse sentido, é válido buscar avaliar as propriedades dos materiais alternativos a serem empregados na construção civil aplicados como agregados ou até mesmo aglomerantes em composições de concretos ou argamassas, como o resíduo de scheelita, que será explorado mais adiante.

2.2.1. Aplicação do resíduo de scheelita como agregado em concretos e argamassas

Com o avanço da construção civil, o consumo de agregados para produção de argamassas e concretos, por exemplo, tem se intensificado cada vez mais. Em

virtude disto, o aumento de trabalhos e estudos referentes à substituição de agregados naturais da construção civil por resíduo, tem alavancado o setor da tecnologia, já que, a demanda por matérias-primas é crescente, como também, a poluição e degradação dos recursos naturais têm crescido gradativamente (ANEPAC, 2015).

A procura pela melhoria de materiais de construção, modificando as propriedades destes materiais, aumentaram a busca por produtores inovadores, com isso, o tema tem sido um dos mais recorrentes nos dias atuais. A tentativa de substituição de materiais utilizados na construção civil por materiais oriundos de resíduos industriais, tendo como exemplo, o resíduo do minério de scheelita constitui uma forma de tentar promover melhorias nas propriedades dos novos materiais alternativos, bem como promover um benefício ambiental à medida que impede o descarte deste resíduo de forma inadequada no meio ambiente (MEDEIROS, 2016).

Inserido nesse cenário, o resíduo de scheelita tem sido utilizado como agregado aplicado a concretos e argamassas, tornando-se objeto de estudo por diversos pesquisadores. Todavia, vale ressaltar que, na maioria das pesquisas é predominante a utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita, ou a utilização conjunta dos dois tipos de RS, contudo, o subproduto fino do beneficiamento da scheelita em uso isolado tem potencial para aplicação, principalmente em argamassas e concretos autoadensáveis que necessitem de adição de finos.

Em seus estudos, Paiva (2013) avaliou o comportamento do concreto de cimento Portland substituindo o agregado miúdo por resíduo de scheelita. O autor analisou o material nas seguintes proporções: 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100%, totalizando 11 traços de concretos na proporção 1:2:3:0,60, em massa. Em seu trabalho, o autor relata que o traço com substituição de 60% do RS foi o que melhor apresentou resultados quanto aos parâmetros de durabilidade e resistência.

Alves *et al.*, (2016) realizaram um estudo comparativo entre a areia natural e o resíduo de scheelita. Objetivando analisar a viabilidade do RS, os autores analisaram propriedades como massa específica, massa unitária e distribuição granulométrica. Evidenciando uma certa aproximação entre os valores do agregado

miúdo e do resíduo de scheelita, este foi apontado como uma alternativa de substituto do agregado natural em argamassas e concretos.

Em pesquisa correlata, Souza (2019) utilizou em seu trabalho cerca de 75% de resíduos grossos e 25% de resíduos finos geridos a partir do beneficiamento da scheelita, a fim de, confeccionar areia residual do minério para produzir argamassas. A combinação das duas frações proporcionou um melhor empacotamento das partículas, influenciando na produção de argamassas menos porosas que, conseqüentemente, absorvem menos água por imersão e capilaridade. Em geral, os resultados demonstraram soluções favoráveis referentes a elevada compacidade alcançada, apresentando melhorias nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido quando comparado àquelas produzidas com areia natural.

Macedo (2021), em seus estudos formulou argamassas na proporção de 1:3, em volume, com substituição total da areia natural por areias residuais provenientes do beneficiamento de scheelita e britagem. O autor destaca que, a combinação entre 50% da areia de britagem e 50% da parcela grossa do resíduo do beneficiamento da scheelita, apresentou o maior fator de empacotamento (60,37%), por sua vez, a composição equivalente a 75% de areia de britagem e 25% do resíduo de scheelita fino, atingiu o maior grau de empacotamento (56,67%). Concluindo que, o ajuste granulométrico realizado em sua pesquisa, conferiu as argamassas um melhor grau de empacotamento entre os grãos, permitindo a produção de uma areia residual de alta qualidade a partir da combinação, em partes iguais, do pó de pedra e o resíduo da scheelita grosso.

Já Queiroz Neto *et al.*, (2016) desempenharam o estudo de substituição do agregado miúdo, em argamassas, por resíduo de scheelita, analisando o comportamento da argamassa, dando ênfase à propriedade de consistência do material. Realizaram três traços, o de referência com 100% de areia e outros dois com 20% e 40% de RS, em substituição a areia, para o traço de 1:3:0,6. Segundo os autores, os resultados apresentaram aumento nos índices de consistência da argamassa, conforme aumenta a proporção do RS, concluindo, assim que, a composição mineralógica do resíduo de scheelita interfere no espalhamento da argamassa.

Objetivando avaliar as propriedades mecânicas de argamassa de revestimento produzida com substituição da areia natural por resíduo de scheelita,

Medeiros *et al.* (2019), caracteriza o RS visando identificar sua similaridade com a areia natural para aplicação de argamassas mistas (cimento Portland tipo CP-II-F32 e o hidróxido de cálcio). Objetivando avaliar o comportamento do resíduo foram feitos ensaios mecânicos (resistência de aderência à tração e resistência à compressão), MEV e teste de absorção de água, já para a caracterização química foram feitos ensaios de granulometria a laser, densidade aparente e relativa, FRX, DRX e análise térmica.

Ramos Filho (2021), por sua vez, visando produzir tijolos ecológicos desenvolveu um estudo acerca das características e propriedades da combinação do resíduo fino do beneficiamento da scheelita, pó de pedra e manipueira com aglomerantes. O autor realizou ensaios de compactação para se avaliar a melhor combinação da mistura dos subprodutos minerais, sendo determinada em 50% de cada. Formulando Cp's cilíndricos com adição de cimento e/ou cal hidratados com água, obtendo resultados satisfatórios para as formulações com cimento. Os tijolos ecológicos apresentaram resultados satisfatórios, devido ao elevado empacotamento entre os minerais e propriedades da manipueira.

2.3. Materiais Constituintes da Argamassa

2.3.1. Agregado Miúdo

A ABNT NBR 9935/11 conceitua agregado como material granular pétreo, sem forma ou volume definido, em sua grande maioria é quimicamente inerte, de dimensões e propriedade adequadas para a preparação de argamassas e concretos. No que se refere à origem, podem ser classificados como naturais - aqueles lavrados diretamente na forma de fragmentos, como areia e pedregulho, e artificiais - os que são submetidos a processos de fragmentação, como pedra e areia britadas.

No que tange, a granulometria de seus grãos, segundo a ABNT NBR 7211/19 os agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de número 4,75mm e ficam retidos na peneira de malha de abertura de 150 μ m, são definidos como agregado miúdo. Entre os agregados miúdos existentes, Bauer (2008) afirma que o mais utilizado na construção civil é a areia, classificando-os de acordo com sua granulometria descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação da areia quanto ao diâmetro dos grãos

Classificação	Tamanho dos grãos (mm)
Areia Fina	0,6 a 0,15
Areia Média	2,4 a 0,6
Areia Grossa	4,75 a 2,4

Fonte: Bauer, 2008.

Em razão da sua função, Nascimento (2018) destaca que a principal função dos agregados miúdos (como a areia) na argamassa é a de enchimento. Todavia, características importantes como a composição granulométrica e a geometria dos grãos influenciam diretamente na qualidade das argamassas e concretos, sobretudo nos fatores relativos à trabalhabilidade, densidade, compacidade e resistência aos esforços mecânicos. Segundo Londero *et al.* (2017), quando o agregado possui granulometria contínua e bem graduada, colabora na redução do volume de vazios, atuando como efeito de preenchimento conhecido como efeito fíler o qual promove a diminuição da porosidade de um conjunto granular, aumentando a sua densidade de empacotamento.

Em seus estudos, Katsiadramis *et al.* (2010) relatam a influência que a granulometria promove nas propriedades reológicas do material final das argamassas autonivelantes. Segundo o autor, os agregados com granulometria mais grossas dificultam a fluidez da argamassa, enquanto, que os grãos menores agem como lubrificantes na pasta, melhorando sua fluidez e qualidade final.

Quanto às propriedades físicas e químicas dos agregados e das misturas ligantes, estas são essenciais para a vida das estruturas (obras) em que são utilizadas. Para Valverde (2016), os inúmeros casos de falência de estruturas são causados devido a seleção e uso inadequados dos agregados.

2.3.2. Aglomerante

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2017) caracteriza o cimento como um material de pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água, e mesmo depois de endurecido, ainda que sofra nova ação da água, o cimento Portland não se decompõe.

Ao que tange a confecção de argamassa autonivelante, Martins (2008) afirma que não existe um cimento específico a ser utilizado. Todavia, é necessário ressaltar que fatores como finura e o consumo de cimento presente na mistura irão influenciar diretamente nas propriedades mecânicas e reológicas da argamassa, assim como irão influenciar na reatividade e na velocidade das reações químicas durante o processo de pega e endurecimento do material (BAUER & SOUSA, 2005).

Souza (2013), afirma que o cimento que melhor atende as necessidades para a produção de AAN são aqueles que apresentam um teor reduzido de aluminato tricálcio (C3A), cerca de até 10% é responsável por controlar a reologia e o enrijecimento da mistura, em função do tempo.

Contudo, para produção das argamassas autonivelantes, em sua maioria, tem se utilizado o cimento Portland composto, CP II, pois além de atender os critérios estabelecidos pela EFNARC (2002) com relação à presença de C3A em sua composição, é encontrado com fácil acesso no mercado local (ALVES, 2020).

2.3.3. Água de Hidratação

AÏTCIN; e NEVILLE (2003), descreve que a relação água/cimento pode ser subdividida em duas partes: a primeira corresponde ao teor de água necessário para obter a total hidratação do cimento; e a segunda corresponde ao teor de água adicional para se obter uma trabalhabilidade adequada (água de trabalhabilidade). Dessa maneira, é de suma importância que a adição de água seja empregada de forma controlada nas dosagens de argamassas, supervisionando o comportamento de fluxo e reduzindo efeitos de exsudação e/ou segregação.

Em concordância, Cavalcanti (2006), em seus estudos descreve que a quantidade de água aplicada em pastas, argamassas ou concretos é determinada a partir da relação água/cimento (a/c), afirmando que este coeficiente possui condição determinante nas propriedades reológicas da mistura, no qual, quanto maior for o teor de água, menor será a tensão limite de escoamento, causando, assim, o aumento da deformabilidade e acentuada redução de viscosidade. Além disto, o excesso de água adicionado à pasta pode ocasionar segregação, para evitar esse problema, o autor recomenda a aplicação de aditivos superplastificantes.

2.4. Argamassa Autonivelante

Define-se como argamassa autonivelante (AAN), uma pasta cimentícia com alto desempenho, com elevada capacidade de espalhamento preenchendo os espaços vazios e se auto consolidar sobre o efeito da gravidade e própria capacidade de fluxo, sem apresentar segregação (MARTINS, 2009; SILVA, 2016a; NENEVÊ, 2017).

Schaefer (2013) descreve argamassa autonivelante como uma mistura fluida variando seu espalhamento de 250 a 270 mm com espessura sucinta sem demandar método de vibração e nivelamento.

Devido à necessidade de racionalizar recursos naturais e atender a demanda de soluções construtivas rápidas estão sendo desenvolvidas argamassas autonivelantes para contrapiso. O material pode ser bombeado, e por se auto nivelar pela ação do peso próprio e da gravidade é capaz de reduzir o número de trabalhadores envolvidos no processo construtivo, acelerando a execução dessa etapa em canteiro de obras se comparado com o sistema tradicional (Mendes et al. 2020, pág. 403 – 418).

Analisando o comportamento reológico, Martins (2009) caracteriza as AAN's como uma suspensão de partículas, isto é, composto do tipo sólido-líquido no qual as partículas se distribuem de forma proporcional e uniforme através do meio líquido. Para assegurar as características de resistência e durabilidade do produto final é preciso que haja homogeneidade entre seus compostos, conseqüentemente, é importante que a mistura apresente alta estabilidade (CARVALHO, 2015).

No que concerne à confecção das argamassas autonivelantes, Freitas *et al.* (2010) menciona que a seleção dos materiais que irão compor a mistura deve ser criteriosa, bem como a definição da dosagem, para assim se obter uma reologia adequada capaz de exercer o auto nivelamento, visto que, a qualidade dos componentes determina as características finais da pasta (TUTIKIAN, 2004).

A influência dos materiais nas AAN's se remete a sua composição de facilitar a maior trabalhabilidade dos compostos da pasta. Neville e Brooks (2013) comentam que para o alcance de uma boa trabalhabilidade, indicadores como área superficial da partícula, volume aparente, índice de vazios, tendência à segregação e quantidade de finos dos agregados devem ser considerados.

Vale salientar que para a composição da argamassa autonivelante é necessário que o agregado seja de granulometria fina. Segundo a EFNARC (2002), os finos são definidos como partículas menores que 0,125mm, incluindo as dos

agregados. Contudo, além de exercerem resistência à segregação da mistura, os finos desempenham uma função significativa para a durabilidade, tanto física quanto quimicamente.

As vantagens e desvantagens da argamassa autonivelante se remetem a questão da qualidade do produto final, uma vez que, estas dependem diretamente de fatores como: tipo de argamassa utilizada, dosagem dos materiais constituintes, tipo de agregados e cimento, além de, outros cuidados como o transporte do material (RUBIN, 2015).

Uma das características positivas das AAN'S se deve ao fato de, sua consistência fluida e elevada capacidade de espalhamento apenas pela ação do próprio peso, acarretando em um preenchimento mais uniforme e homogêneo no local destinado, promovendo melhor acabamento final ao piso e/ou contrapiso (MARTINS, 2009).

Quando comparada à argamassa convencional, à argamassa autonivelante tem como vantagem a rápida execução, evitando o desperdício de material em excesso e economia de mão de obra. Carvalho (2015), afirma que a aplicação mecanizada, através de caminhões bomba e betoneira, aprimora o transporte vertical reduzindo a demanda de materiais e mão de obra no elevador cremalheira. Ademais, otimiza fatores como: maior controle de qualidade, cura mais rápida, maior resistência à compressão e arrancamento também devem ser considerados.

As AAN'S destacam-se, ainda, por ser um material de construção extremamente versátil, rápido de ser instalado e que pode ser utilizado em diversos ambientes (NAKAKURA, BUCHER, 1997). Conforme complementa Engle (2010), essa argamassa pode servir de base para o assentamento de inúmeros revestimentos, como piso cerâmico, carpete, tábuas corridas, mármore e porcelanato, sem qualquer modificação no acabamento.

No que tange às desvantagens, podem ser mencionados (KATSIADRAMIS; SOTIROPOULOU; PANDERMARAKIS, 2010; SOUZA, 2013; GOMES; GONÇALVES, 2013; RUBIN, 2015; CARVALHO, 2015; JÚNIOR, 2016; YANG et al., 2019):

- Patologias como fissuração, e retração por secagem, retração autógena são as principais formas de dano e falha da argamassa autonivelante;

- A segregação e a exsudação, resultantes de dosagem inadequada ou erros de execução, podem ser possivelmente encontradas no estado fresco da argamassa;
- Ausência de mão de obra especializada para a execução do serviço, sendo necessário que as empresas fabricantes e usuários do produto, realizem treinamento para qualificar a mão de obra de operários;
- Durante a dosagem dos aditivos é necessário que haja um controle, pois se feita de maneira errônea, pode demandar maior tempo para cura e enrijecimento da argamassa, impedindo a liberação rápida do local;
- Outra função que requer utilização correta é a fluidez, pois se o contrapiso não estiver com a fluidez adequada, pode causar o entupimento dos mangotes durante o processo de bombeamento da argamassa.

As propriedades da argamassa autonivelante no estado fresco são analisadas verificando a sua qualidade segundo os parâmetros de trabalhabilidade, coesão, teor de ar, segregação e exsudação, dentre outros, pois os resultados isolados de resistência não são suficientes para garantir um bom desempenho do concreto e/ou argamassa, fazendo-se necessário a verificação de outros fatores, que vão desde a dosagem adequada até a sua cura (BARBAR, 2016).

Assim como a granulometria, a forma e a textura das partículas também influenciam o estado fresco. Se a AAN não possui uma trabalhabilidade adequada pode ocasionar efeitos desfavoráveis, como dificuldade de auto nivelamento, o que irá resultar em uma argamassa com maior índice de vazios, e conseqüentemente, menor resistência mecânica e durabilidade (CARVALHO, 2015).

Fatores como reações de hidratação, tempo de pega e capacidade de retenção de água das argamassas, influenciam na capacidade de manter a fluidez e trabalhabilidade ao longo do tempo, que varia em função da composição e propriedades dos materiais utilizados na mistura (CHAVES, 2019).

Quanto as propriedades no estado endurecido, Souza *et al.* (2012) destaca a resistência mecânica, ao impacto e à abrasão, bem como aderência superficial e profunda.

Outra propriedade fundamental das AAN's é a porosidade, pois em caso de material aplicado para piso acabado, a superfície que estiver em contato direto com o meio externo, facilitando o ataque de agentes agressivos, seja pela limpeza do

piso, intempéries, ou desgaste por abrasão devido ao tráfego de equipamentos, maquinários ou pessoas, devem apresentar pouca porosidade, na qual pode ser obtida facilmente por meio das adições que possibilitam o refinamento de poros (PARANDE et al., 2008; SILVA, 2016a).

2.5. Aditivos

Segundo a ASTM C 125, aditivo/adição é definido como qualquer material - exceto água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras - utilizados na composição do concreto ou argamassa, sendo estes adicionados à massa imediatamente antes ou durante a mistura.

A utilização dos aditivos tem como função garantir elevada fluidez e estabilidade adequada às misturas, impedindo a segregação ou exsudação, efeitos indesejáveis decorrentes da aplicação de elevadas dosagens de aditivos superplastificantes (MEIRELES, 2009).

Conforme Rubin (2015), os aditivos químicos são empregados nas argamassas de acordo com a necessidade de cada produto e certa finalidade, são responsáveis por modificar as propriedades no estado fresco e endurecido do material.

A classificação dos aditivos é feita a partir da sua função principal e tem como base a ABNT NBR 11768/19. Embora sejam todos eficientes, os aditivos superplastificantes (SP) e aditivos modificadores de viscosidades são considerados os mais importantes para a produção de argamassas autonivelante, visto que, a aglutinação destes produtos auxilia no desenvolvimento de argamassas de cimento com alto desempenho, com elevada fluidez e menores quantidades de água numa mesma coesão (CHRISTIANO, 2004).

Katsiadramis, Sotiropoulou, Pandermarakis (2010) sintetizam que os aditivos SP têm como uma de suas principais vantagens a redução no consumo de cimento, mantendo a estabilidade de consistência e resistência à compressão, reduzindo, conseqüentemente, problemas de retração, fazendo com que os grãos de cimento se dispersem de forma mais eficiente na pasta, melhorando a molhabilidade dos mesmos e dando à mistura uma composição mais homogênea. Esta, por sua vez, acarreta uma melhora na composição e mais eficiência de hidratação da pasta,

diminui a porosidade, atribuindo, por conseguinte, mais resistência, durabilidade e desempenho mecânico às argamassas autonivelantes.

Em seus estudos, Martins (2009) acrescenta como principais funções dos aditivos SP a redução do consumo de água para uma mesma consistência, aumentando a fluidez da mistura sem modificar a quantidade de água, bem como, promovendo a redução de custos, retração, fluência e tensões térmicas.

2.6. Revisão literária dos estudos de traços das argamassas autonivelantes

Ao que tange a definição do traço para composição das argamassas, diversos autores como Katsiadramis *et al.* (2010); Rizwan & Bier (2012); e Libre *et al.* (2010); evidenciaram em seus trabalhos resultados satisfatórios utilizando a relação a/c 0,5 para a fabricação de AAN's. Autores como Libre *et al.* (2010); e Carvalho (2015) adotaram o traço 1:2 em seus estudos acerca da argamassa autonivelante. Tendo como exemplo, Lopes *et al.* (2018) utilizaram uma relação a/c de 0,5 na confecção de AAN e testaram traços 1:1, 1:2 e 1:3, concluindo que o traço que melhor apresentou resultados foi o traço 1:2.

Os estudos de argamassas autonivelantes, em sua maioria, determinam a definição da dosagem com base nas revisões bibliográficas descritas por diversos pesquisadores, como apresentadas na Figura 1, a qual resume os traços aplicados por vários autores para a produção de argamassas autonivelantes.

Figura 1 - Referências bibliográficas utilizadas para escolha do traço

Autor	Molin Filho (2012)	Molin Filho (2012)	Martins (2009)	Souza, Ferreira e Azevedo (2012)	Souza, Ferreira e Azevedo (2012)	Souza, Ferreira e Azevedo (2012)	Souza (2013)	Yang, Zhang e Yan (2016)	Cambaz, Topçu e Atesin (2016)	Carvalho (2015)
Traço C:A:R	1:2:0,5	1:2:0,4	1:0:0,05	1:1,875:0,25	1:1,55:0,05	1:1,25:0,05	1:4,86:0,89	1:1,75:1,25	01:02	01:02
Proporção utilizada	Massa	Massa	Massa (sem areia)	Massa	Massa	Massa	Massa	Volume	Volume	Volume
W/Ms			0,67	0,232	0,220	0,236	0,159	0,042	0,167	0,167
SP	0,5% Policarboxilato	0,4% Policarboxilato	0,5% Policarboxilato	0,9% Policarboxilato	0,9% Policarboxilato	0,4% Policarboxilato	2,29%	-	1%	Variável entre 0,25 e 0,4% Policarboxilato
Resíduo	Cinza de bagaço de cana-de-açúcar	Cinza de bagaço de cana-de-açúcar	Sílica ativa SILMIX	Sílica ativa Tecnosil	Sílica ativa Tecnosil	Sílica ativa Tecnosil	Filer calcário	Filer calcário	-	Adições minerais variáveis entre 10 e 15% em substituição ao CP
MF areia	1,7	1,7	-	1,01	1,01	1,01	2,2	-	-	1,39
Cimento			CP V -ARI	CP V -ARI	CP V -ARI	CP V -ARI	CPII-F-32	-	-	CP V -ARI
W/C	0,5	0,5	0,7	0,73	0,57	0,54	1,07	0,21	0,5	0,5
AMV	-	-	0,80%	0,94%	0,94%	0,77%	-	-	-	-

C – Cimento; A – Areia; R – Resíduo; W – Água; Ms – Materiais secos; SP – Superplastificante; MF – Módulo de Finura; AMV – Aditivo Modificador de Viscosidade

Em estudos análogos, por exemplo, alguns autores adotam metodologias baseadas em trabalhos preexistentes, no entanto, adotam os traços que apresentam bons resultados adaptando-os para suas respectivas pesquisas. Como, Silva (2016a), que se baseou no estudo de traço feito por Souza *et al.* (2012), selecionando o traço que evidenciou melhor desempenho no estado fresco. Com o intuito de obter reduzidos efeitos de retração, Silva (2016a) propôs ajustes de produção com a incorporação de fibras sintéticas e a substituição parcial do cimento por cinza volante.

2.7. Métodos de Dosagem de argamassa autonivelante

Devido à falta de normas brasileiras que regulamentem este material, os estudos, métodos de dosagens e prescrições normativas empregadas para a análise de desempenho das AAN's são baseados em métodos para concreto autoadensáveis (RUBIN, 2015; SILVA, 2016a; LOPES *et al.* 2018; OLIVEIRA, 2019; CHAVES, 2019; MENDES; 2019).

Assim, no Brasil, as pesquisas elaboradas acerca da argamassa autonivelante são baseadas em métodos para o CAA e em normas internacionais como a EFNARC (2002), e a norma norte-americana ASTM C 1708 (2016), que descreve os métodos de ensaios apropriados para avaliar o desempenho de argamassas autonivelantes nos estados fresco e endurecido.

Em seu método de dosagem, Tutikian (2004) se baseia na técnica em que o concreto convencional vai se alterando para ser um concreto autoadensável ao adicionar um aditivo superplastificante, com a finalidade de se obter uma maior fluidez. Quanto a correção da exsudação no concreto autoadensável, o autor recomenda a adição de finos. Entretanto, a mesma deve ser realizada sem modificar as proporções iniciais dos materiais. Vale ressaltar ainda que o autor aconselha que se o fino for pozzolânico, este será substituído no cimento e se não for pozzolânico será substituído no agregado miúdo. Para dosagem do teor de superplastificante, ainda segundo o autor, sugere que sua incorporação se inicie com pequenas quantidades, na ordem de 0,30% de aditivo da massa de cimento, e assim, aumente a quantidade até chegar ao ponto ideal.

Em seus estudos de dosagens de argamassas auto adensáveis, Carvalho (2015) substituiu parte do cimento Portland CP V-ARI pelos finos de filler calcário

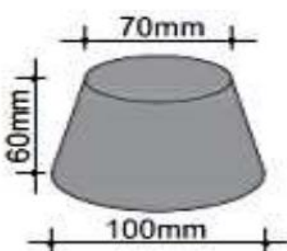
(FC), resíduos de construção e demolição (RCD) e cinza pesada (CZP). O autor objetivou analisar as propriedades da argamassa acerca do estado fresco, visando determinar o teor ótimo de aditivo e porcentagem de finos. A análise da dosagem foi feita de acordo com o diâmetro de espalhamento das argamassas na mesa de consistência utilizando o mini slump, sem sinal de segregação, conforme os critérios de aceitação sugeridos pela EFNARC (2002), de modo a obter misturas com características autonivelantes.

Os procedimentos de avaliação acerca das propriedades das AAN's no estado fresco são realizados através do ensaio de mini slump. Este ensaio pode ser realizado por meio do cone kantro, bem como o tronco do mini cone abrams, a depender da escolha do pesquisador. Contudo, é preciso que esse ensaio siga as prescrições e critérios estabelecidos pelas suas referentes especificações.

2.8. Mini Slump

O ensaio realizado em pastas e argamassas é semelhante ao concreto autoadensável, entretanto, no concreto o ensaio é executado por meio do cone abrams. Nas pastas e argamassas esse ensaio é denominado mini slump, realizado utilizando um tronco de cone (Figura 2) com dimensões reduzidas, estabelecidas em concordância com as prescrições da EFNARC (2002).

Figura 2 - Dimensões de mini cone para mini slump



Fonte: EFNARC (2002) - Adaptado por Chaves, (2019).

O teste de espalhamento consiste no enchimento de um mini tronco de cone, em seguida é retirado com o objetivo da argamassa se espalhar livremente sob seu peso próprio. Logo depois, coleta-se as medidas ortogonais através da leitura de dois diâmetros (CARVALHO, 2015).

Conforme Martins (2009), as dimensões para AAN's devem ser verificadas de acordo com sua fluidez, desse modo não se deve avaliar como método padrão, como nos ensaios de consistências, é necessário ter um critério específico para

analisar este material quanto a homogeneidade na mistura, coesão entre partículas e fluidez adequada.

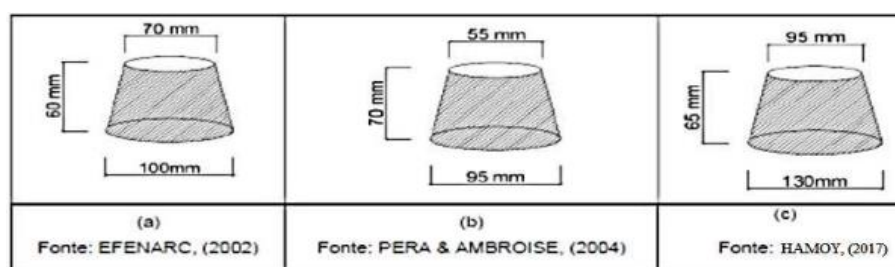
A EFNARC (2002), estabelece critérios de aceitação para experimentos de espalhamento em argamassas autonivelantes, em que suas medidas podem variar entre 24 e 26 cm. Todavia, é válido salientar que os tamanhos dos moldes de mini slump encontrados na literatura possuem volumes diferentes, ocasionando a alteração nas dimensões do espalhamento obtido, como demonstrados na Tabela 2 e Figura 3.

Tabela 2 - Referência bibliográfica de espalhamento de mini slump

Autores	Ano	Medida do espalhamento (mm)	Slump utilizado no ensaio (cm³)
EFNARC	2002	240 a 260	1375,32
Pera e Ambroise	2004	250 a 300	1266,26
Georgin et al.	2008	250 a 270	1375,32
Martin	2009	250 a 350	1375,32
Katsiadramis et al.	2010	240 a 260	1375,32
Barluenga e Olivares	2010	250 a 270	1375,32
Rizwan e Bier	2012	>260	1375,32
Jawaher et al.	2013	271 a 300	1375,32
Carvalho	2015	240 a 275	1375,32
Araújo et al.	2015	250 a 370	1375,32

Fonte: Alves, 2020 apud Hamoy, 2017.

Figura 3 - Referência bibliográfica espalhamento mini slump



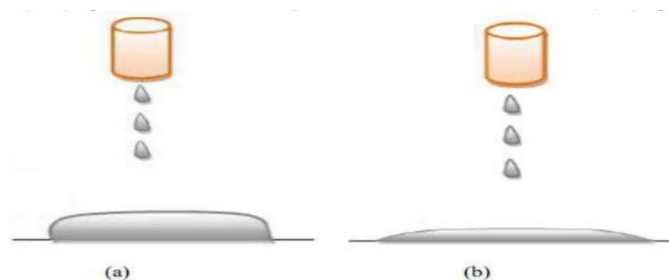
Fonte: Alves, 2020 apud Hamoy, 2017.

Um ponto importante abordado por Martins (2009), é o aspecto visual das bordas da pasta. Segundo o autor, quanto mais espessas e uniformes as bordas, mais coesão há entre os materiais e assim não haverá segregação. A espessura das

bordas (Figura 4) e a sua uniformidade (Figura 5) definirão se a pasta segregará ou exsudará.

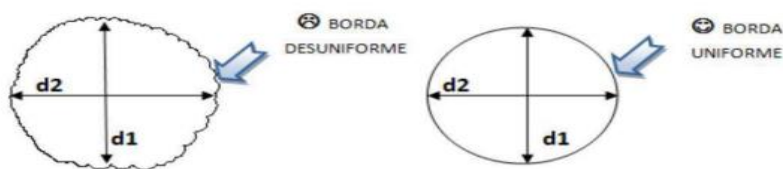
Nos estudos de Silva (2016a), a autora atesta que na análise visual das bordas da argamassa essas podem se apresentar altas ou baixas, fluidas em excesso ou não, com ou sem forma definida, e também se pode identificar a presença de sólidos aglomerados.

Figura 4 - Análise da espessura das bordas. (a) Bordas espessas, sem tendência à segregação. (b) Bordas liquidadas, com tendência à segregação



Fonte: Adaptado de Martins (2009).

Figura 5 - Análise Visual da Borda: Tendência a segregação



Fonte: Martins, 2009.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e os procedimentos metodológicos para a realização dos experimentos das argamassas autonivelantes (AAN's). O programa experimental foi elaborado tendo como base estudos que englobam esse tipo de tecnologia, dentre os quais se destacam Souza *et al.* (2012), Rubin (2015), Silva (2016a) e Carvalho (2015).

Os ensaios deste trabalho foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção e Processos Construtivos da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, no campus do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar – CCTA, situado no município de Pombal – PB.

3.1. Materiais

Neste item são delineadas todas as matérias-primas utilizadas na produção das argamassas avaliadas na pesquisa.

3.1.1. Cimento

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado o cimento Portland composto, CP II-F 32, fabricado pela empresa Zebu. A escolha desse tipo de cimento foi justificada por ser o mais utilizado na região.

3.1.2. Areia Natural

O agregado miúdo utilizado na pesquisa é de origem quartzosa natural, adquirido no município de Pombal – PB. A amostra de areia foi manuseada conforme recomenda a ABNT NBR 16915/21, Agregados - Amostragem, que estabelece os procedimentos para a amostragem de agregados, desde a sua extração e redução até o armazenamento e transporte das amostras representativas de agregados.

3.1.3. Resíduo de scheelita

Nesta pesquisa utilizou-se o resíduo do tipo fino (Figura 6). O subproduto da britagem e extração da scheelita foi coletado na Mina Brejuí, situada no município de

Currais Novos, interior do Rio Grande do Norte. A coleta foi realizada através do método descrito na ABNT NBR 16915/21 para amostragem em pilhas.

Figura 6 - Amostra do Resíduo fino utilizado na pesquisa



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.1.4. Água

A água utilizada na produção das argamassas foi proveniente da rede de distribuição da Companhia de Água e Rede de esgoto da Paraíba (CAGEPA).

3.1.5. Aditivo Superplastificante

O superplastificante (Sp) utilizado é constituído por uma solução aquosa a base de polímeros policarboxilatos. Este aditivo foi essencial para aumentar o índice de consistência das argamassas com uma quantidade de água de amassamento constante, tornando a mistura mais fluida sem a necessidade de aumentar a quantidade de água da mistura. Na Tabela 3 apresentam-se as principais características do aditivo superplastificante fornecidas pelo fabricante.

Tabela 3 - Informações sobre o aditivo utilizado na pesquisa

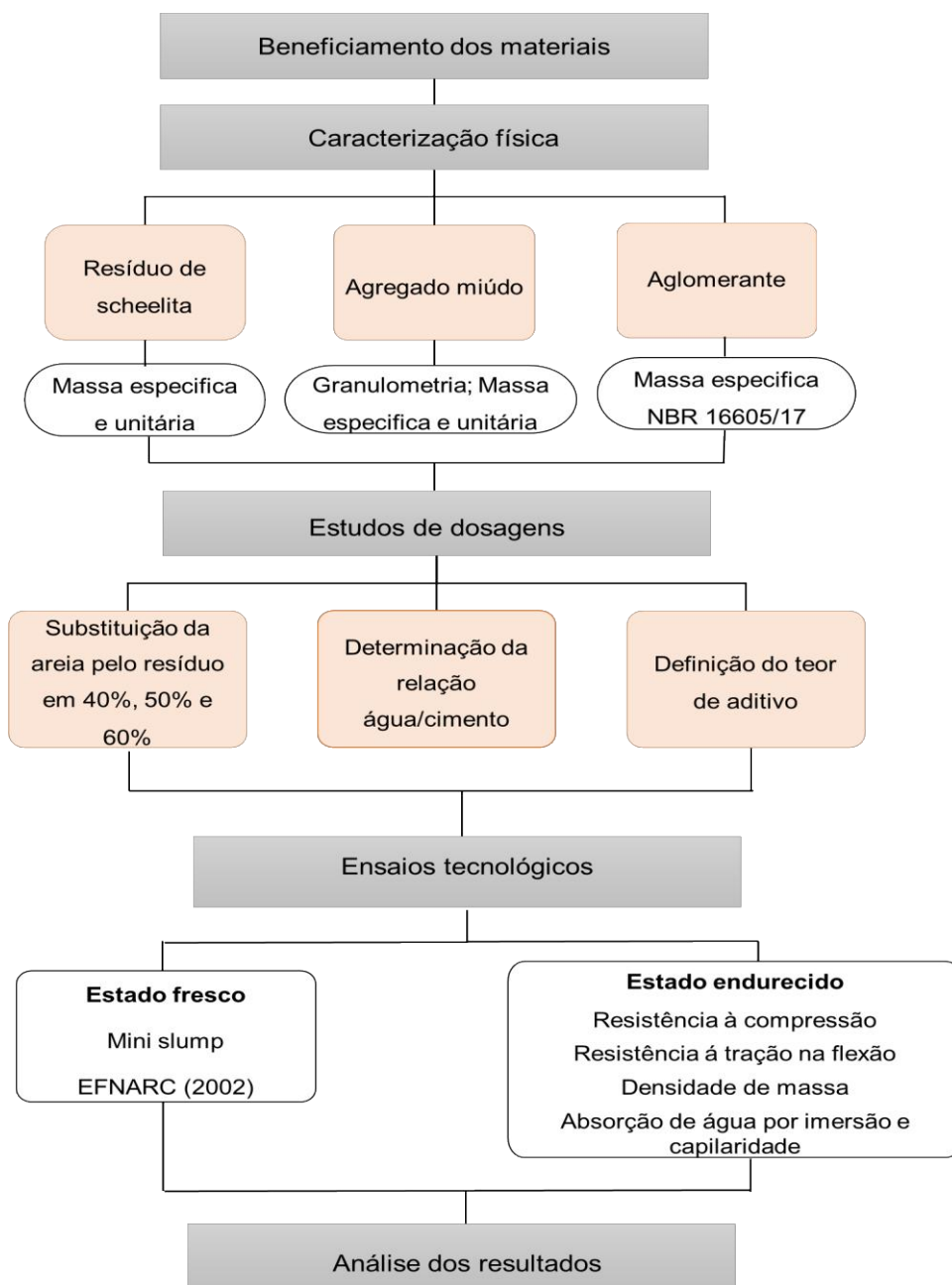
Características	Dados do Fabricante
Tipo de produto	Plastificante/Superplastificante
Aspecto/Cor	Amarelo
Dosagem Recomendada	0,3 a 1,2%

Fonte: Autoria própria, 2022.

3.2. Métodos

Com a finalidade de analisar as propriedades das argamassas estudadas na pesquisa, foram realizados ensaios, conforme indicado no programa experimental (Figura 7). Inicialmente os materiais utilizados na pesquisa foram caracterizados. Logo depois, foram confeccionadas as argamassas e, com base na revisão da literatura e nos resultados obtidos, finalmente foram realizadas as análises e discussões dos resultados.

Figura 7 - Fluxograma do procedimento experimental



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.2.1. Beneficiamento dos materiais

O processo de beneficiamento da areia natural e do resíduo de scheelita consistiu na secagem em estufa no qual os materiais foram expostos a uma temperatura de 105°C durante 24hrs para secagem completa. E, em seguida, foi feito o peneiramento do agregado natural na peneira de número 8 (malha 2,36mm) para retirada da matéria orgânica. Para o resíduo foi preciso realizar o destorroamento do material, logo após, foi feito o peneiramento utilizando a peneira de número 100 (malha 0,15mm).

3.2.2. Caracterização física dos materiais

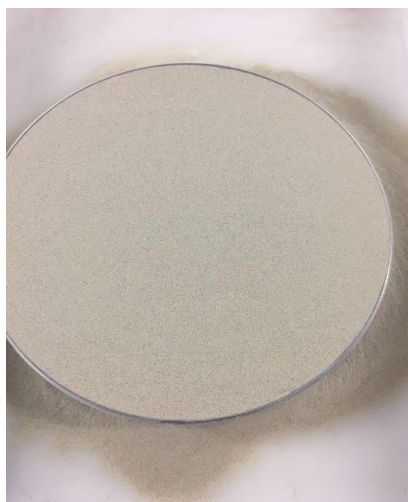
3.2.2.1. Resíduo de scheelita

3.2.2.1.1. Massa específica e massa unitária

Considerado um material em pó de caráter inerte, a caracterização da massa específica do subproduto fino do beneficiamento da scheelita foi executado segundo as prescrições da ABNT NBR 16605/17, por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier.

O procedimento para determinação da massa unitária do resíduo (Figura 8), foi executado seguindo as especificações estabelecidas pela ABNT NBR 16972/21. A massa unitária corresponde a massa da unidade de volume aparente dos agregados, sendo usada comumente para converter massa em volume e vice-versa.

Figura 8 - Execução do ensaio de massa unitária do resíduo



Fonte: Autoria própria, 2022.

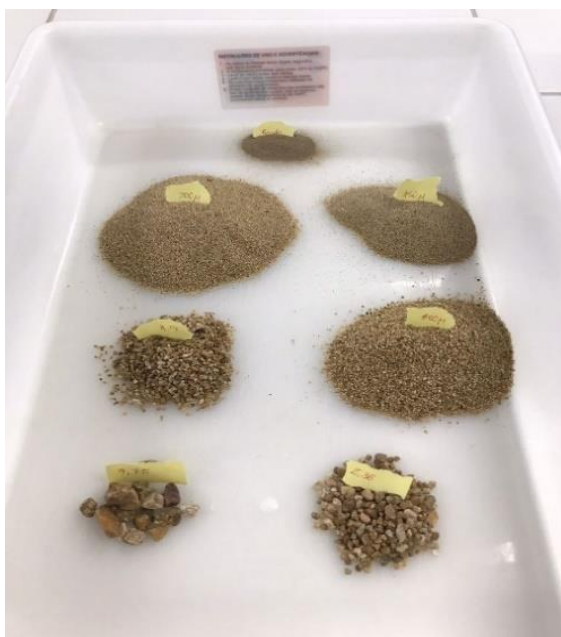
3.2.2.2. Agregado miúdo

3.2.2.2.1. Granulometria

A composição granulométrica do agregado miúdo natural (Figura 9) foi determinada conforme os procedimentos da ABNT NM 248/01. A realização deste ensaio é fundamental para determinar a distribuição das dimensões das partículas que compõe determinado agregado e, com isso, determinar o módulo de finura, a dimensão máxima característica e, a curva granulométrica dos agregados.

Para o ensaio foram pesadas duas amostras de 300g cada e, posteriormente iniciou-se o peneiramento nas peneiras de series normais, conforme descrita na norma ABNT NM 248/01. Em seguida, o material retido em cada peneira foi pesado. O procedimento foi realizado para ambas as amostras e ao final fez uma média de forma que a soma final representasse 100% das mesmas, com tolerância de 0,5% de variação. Subsequentemente, com os resultados das massas retidas acumuladas e passante plotou-se o gráfico da curva granulométrica.

Figura 9 - Composição Granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.2.2.2.2. Massa específica e unitária

A determinação da massa específica da areia (Figura 10), atendeu aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 16916/21, que estabelece o método para

determinação da densidade na condição seca, na condição saturada superfície seca e da absorção de água de agregado miúdo destinado ao uso em concreto.

Figura 10 - Determinação da massa específica: (a) Preparação da amostra; (b) Amostra com formato do molde tronco-cônico; (c) Frasco com amostra



(a)

(b)

(c)

Fonte: Autoria própria, 2022.

O ensaio de massa unitária seguiu as recomendações da norma ABNT NBR 16972/21. O procedimento foi semelhante ao item 3.2.2.1.2. Na Figura 11 está representada a execução do ensaio.

Figura 11 - Execução do ensaio de massa específica



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.2.2.3. Aglomerante

3.2.2.3.1. Massa específica

A determinação da massa específica do aglomerante seguiu as prescrições estabelecidas pela ABNT NBR 16605/17, executando o ensaio através do frasco volumétrico de Le Chatelier (Figura 12), que estabelece o método para determinação da massa específica de cimento Portland e outros materiais em pó.

Figura 12 - Frasco volumétrico utilizado no ensaio de massa específica



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.2.3. Estudos de Dosagens

O estudo de dosagem teve como base pesquisas feitas por outros autores, e a partir daí foi definida a escolha do traço e formulação da argamassa. As argamassas foram produzidas em traços de cimento e agregado na proporção de 1:2, em massa.

A definição do traço foi estabelecida baseando-se em pesquisas que utilizaram o mesmo traço conforme os autores como Libre *et al.* (2010); Rizwan e Bier (2012), Carvalho (2015), Lopes *et al.* (2018) e Chaves (2019) que analisaram parâmetros como fluxo, resistência, e microestrutura de sistemas de argamassa autonivelante, dentre outros. Os autores relatam em seus trabalhos que os resultados obtidos mostraram que as AAN's apresentaram uma melhoria com

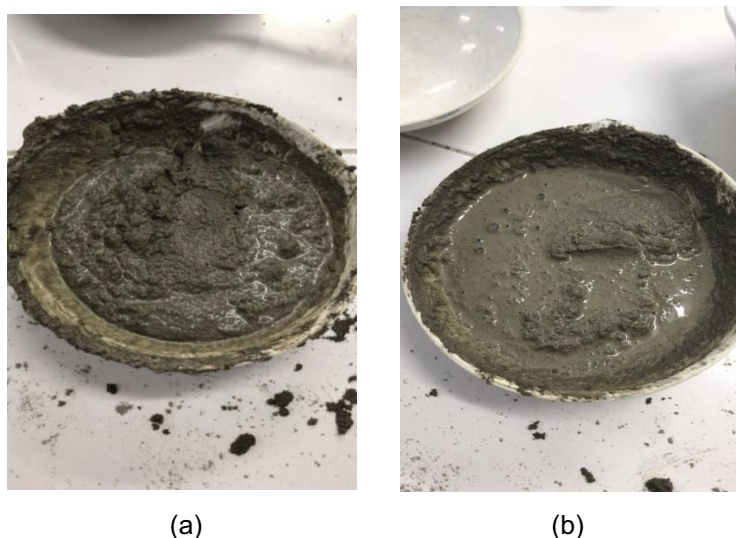
consistência na faixa de aceitação sem sinais de exsudação e segregação, mostrando bom desempenho mecânico e redução de retração por secagem.

Para a definição da escolha das porcentagens de substituições do agregado miúdo pelo resíduo, inicialmente, a escolha se definiu com uma porcentagem de 50%, para as demais porcentagens de teor de substituição foram realizados testes prévios verificando o comportamento da pasta no estado fresco, através do ensaio de mini slump. Para um estudo comparativo entre as pastas, foi fabricada uma argamassa de referência, ou seja, sem a utilização do resíduo.

A relação a/c também foi definida baseada em pesquisas realizadas por outros autores como Katsiadramis *et al.* (2010) e Libre *et al.* (2010), que utilizaram a relação a/c de 0,5. Entretanto, durante os testes de dosagens a argamassa não obteve fluidez necessária para provocar o espalhamento, ainda, em outros testes a argamassa apresentou problemas como segregação. Assim, após vários testes de relação a/c e aditivo, adotou-se a relação a/c de 0,675 baseado no trabalho já realizado com o mesmo traço em massa feito por Passos (2021).

A Figura 13 retrata os testes de dosagens feitos na argamassa, em que a mesma apresentou ausência de fluidez e, segregação aparente, respectivamente.

Figura 13 - Testes de dosagens feitos na argamassa: (a) argamassa sem fluidez; (b) argamassa com segregação



Fonte: Autoria própria, 2022.

Outro fator influenciado pela relação a/c durante o estudo de dosagem foi a escolha do tipo de aditivo a ser utilizado na argamassa. Nos primeiros testes foram adicionados aditivo superplastificante e aditivo modificador de viscosidade (AMV), no

entanto, quando adicionado à pasta, o modificador de viscosidade provocou enrijecimento da pasta, fazendo com que a mesma retardasse o desempenho do superplastificante (Figura 14). Dessa forma, ficou definido aplicar apenas o aditivo superplastificante, sendo o seu teor ajustado de acordo com a proporção de finos incorporado na argamassa.

Figura 14 - Argamassa enrijecida após uso do AMV



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.2.3.1. Procedimento de mistura

O procedimento de mistura foi desenvolvido buscando a dispersão dos materiais de maneira mais homogênea possível, adaptando o método de Lopes *et al.* (2018). Para a confecção da argamassa foi utilizado a argamassadeira (Figura 15) com capacidade de 5 litros, assim, os materiais foram adicionados em parcelas e, misturados durante todo o procedimento na velocidade 1 (velocidade lenta) e na rotação de 830 rpm.

Figura 15 - Argamassadeira utilizada na produção das AAN's



Fonte: Autoria própria, 2022.

Iniciou-se pela homogeneização dos materiais secos na argamassadeira de forma manual com uma colher. Em seguida, todo o material foi misturado na argamassadeira, a fim de obter um melhor empacotamento dos grãos. Após isso, foi adicionada toda a água em relação ao traço 1:2, para que os mesmos fossem bem umedecidos, sendo homogeneizados durante cerca de 2 minutos. Posteriormente, realizou-se a retirada de excesso de material das paredes da cuba para garantir que todo material fosse devidamente misturado. E, por fim, foi adicionado o aditivo SP, e iniciado o processo de homogeneização na argamassadeira novamente e misturados durante 2 minutos até encerrar o procedimento.

3.2.4. Ensaios no estado fresco

3.2.4.1. *Ensaio de mini slump*

O ensaio de mini slump seguiu as prescrições propostas pela EFNARC (2002). O ensaio tem por finalidade analisar a consistência da argamassa através da média de dois diâmetros perpendiculares do espalhamento do material, avaliando a habilidade do material se espalhar e ocupar os espaços.

Diante dos equipamentos dispostos no laboratório, utilizou-se a mesa de ensaio de consistência das argamassas para a sua execução. Para isso, manteve-se o mini slump posicionado no centro da placa (Figura 16). Os materiais foram

misturados na argamassadeira mecânica com velocidade lenta como descrito no item 3.2.3.1 do procedimento de mistura. Após a mistura, o mini slump foi preenchido com uma amostra da argamassa, levantando o mini cone e permitindo o espalhamento sobre a placa. Com a régua métrica, tomaram-se duas medidas perpendiculares e a média dessas medidas determinou o espalhamento final da argamassa, na qual deve estar compreendido entre 24 e 26 cm, de acordo com a EFNARC (2002).

Além da determinação do diâmetro foi feita a análise visual da borda da argamassa, assim como a verificação da ocorrência de segregação na mesma. Para cada traço foi feito o teste de espalhamento para verificação dos diâmetros alcançados.

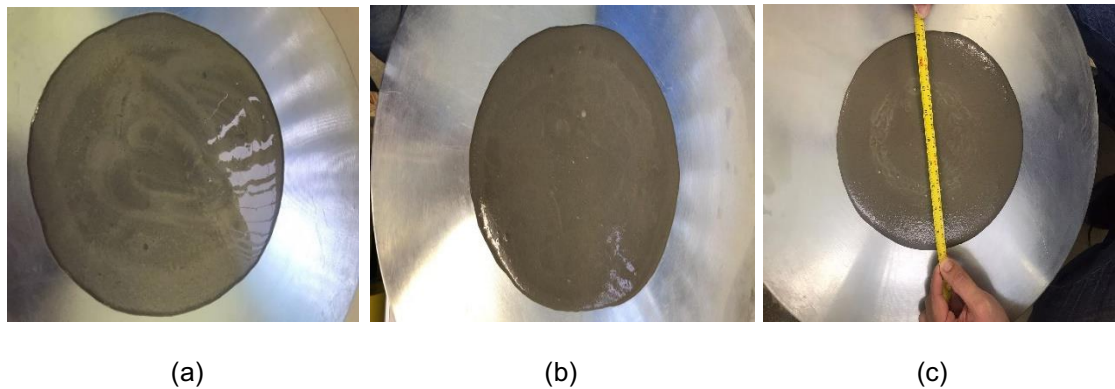
Figura 16 - Equipamentos utilizados no mini slump



Fonte: Autoria própria, 2022.

Na Figura 17 estão representados os ensaios do mini slump realizados durante as fases de testes da dosagem, mostrando a argamassa com exsudação, na dosagem ótima, e o diâmetro de espalhamento alcançado pela argamassa na dosagem ótima.

Figura 17 - (a) Argamassa com exsudação; (b) Argamassa ótima; (c) Medição do espalhamento da argamassa



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.2.5. Moldagem e cura dos corpos de prova

A moldagem dos corpos-de-prova (Figura 18) foi feita de acordo com as especificações das normas correspondentes para cada ensaio. Para a moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos foi utilizada a ABNT NBR 7215/19, que determina o uso de moldes cilíndricos com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Como se trata de um material fluido, não é necessário compactar e/ou adensar.

Para a realização de ensaios específicos, como resistência a compressão e tração na flexão foram confeccionados corpos-de-prova prismáticos. As amostras foram moldadas em corpos-de-prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm), totalizando 36 moldes, seguindo as recomendações da ABNT NBR 13279/2005.

Figura 18 - Moldagem dos corpos-de-prova: (a) Cilíndricos; (b) Prismáticos



Fonte: Autoria própria, 2022.

Os corpos-de-prova foram confeccionados de acordo com o número mínimo estabelecidos pelas normas vigentes para cada tipo de ensaio, sendo estes, apresentados na Tabela 4, no qual mostra o ensaio, norma, tipo e quantidade de corpos-de-prova.

Tabela 4 - Apresentação dos critérios de ensaios estabelecidos pelas normas

ENSAIO	NORMA	TIPO CP	QNT. CP
Absorção de água	NBR 9778/2009	Cilíndrico	3
Absorção por capilaridade	NBR 9779/2012	Cilíndrico	3
Resistência a compressão	NBR 13279/2005	Prismático	3
Resistência a tração	NBR 13279/2005	Prismático	3
Densidade de Massa	NBR 13280/2005	Prismático	4

Fonte: Autoria própria, 2022.

A cura escolhida foi a cura úmida, regulamentada pela ABNT NBR 7215/19. Ela preconiza que os corpos-de-prova devem ficar em cura inicial ao ar por 24 horas. Terminado este período inicial de cura, foram desmoldados e logo em seguida imersos na água, permanecendo até o momento da realização dos ensaios mecânicos.

3.2.6. Ensaios no estado endurecido

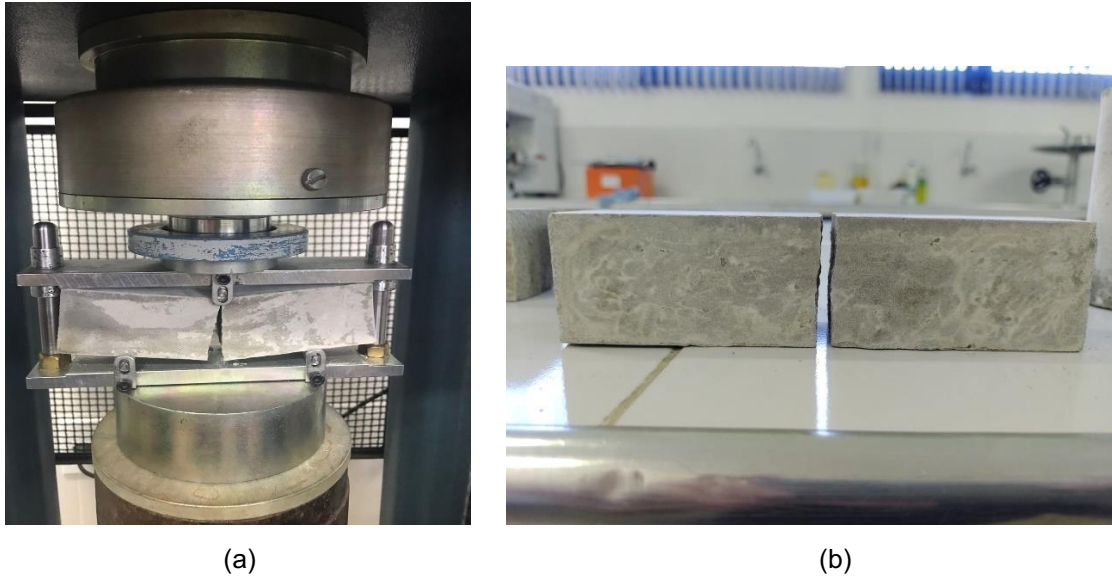
Logo após o período de cura descrito anteriormente, para as idades de 7, 14 e 28 dias, foram realizados os ensaios mecânicos de resistência à tração na flexão, resistência à compressão, absorção de água por imersão, absorção de água por capilaridade e, densidade de massa aparente no estado endurecido.

3.2.6.1. Resistência à compressão e à tração na flexão

Os ensaios de resistência à compressão e tração na flexão são normatizados pela ABNT NBR 13279/2005. Foram moldados 3 corpos-de-prova (CP) prismáticos de 4 x 4 x 16 cm para a determinação da tração na flexão para cada idade. Para o ensaio de compressão foram utilizados as metades de cada um dos corpos-de-prova empregados no ensaio de tração na flexão. As Figuras 19 e 20 apresentam a

execução dos ensaios de tração na flexão e resistência à compressão, respectivamente.

Figura 19 - (a) Ensaio de resistência a tração na flexão; (b) Corpo de prova rompido



Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 20 - Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autoria própria, 2022.

Para esse estudo, além das especificações internacionais para argamassa autonivelante também foi utilizada a ABNT NBR 13281/2005 para análise dos resultados de resistência à compressão e tração na flexão, na qual determina que as argamassas convencionais cumpram os requisitos estabelecidos na norma, classificando-as em seis classes, de acordo com suas resistências à tração na flexão e à compressão. Na Tabela 5 está representada as classes da argamassa de acordo

com sua resistência à compressão e que foi utilizada para a classificação das argamassas autonivelantes produzidas. Seguido da Tabela 6, representando as classes da argamassa de acordo com sua resistência a tração na flexão.

Tabela 5 - Classes de argamassas de acordo com a resistência à compressão

Classe	Resistência à compressão (Mpa)	Método de ensaio
P1	≤ 2,0	ABNT 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Fonte: ABNT NBR 13281/2005.

Tabela 6 - Classes de argamassas de acordo com a resistência a tração na flexão

Classe	Resistência à tração na flexão (Mpa)	Método de ensaio
R1	≤ 1,5	ABNT 13279
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	> 3,5	

Fonte: ABNT NBR 13281/2005.

3.2.6.2. Densidade de massa aparente no estado endurecido

O ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido seguiu as prescrições da ABNT NBR 13280/2005. O procedimento experimental foi efetuado aos 28 dias, em 3 corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm), para cada um dos traços formulados, conforme orientações da norma supracitada. A execução do ensaio se deu com auxílio do paquímetro, onde foram determinados a largura, comprimento e altura dos CP's e, em seguida, com auxílio da balança, registradas suas massas (Figura 21). A densidade corresponde a relação entre a massa e o volume, em kg/m³, dos corpos de provas. De acordo com a ABNT NBR 13280/2005, a massa aparente no estado endurecido é calculada através da Equação 1.

$$d = \frac{m}{v} \times 1000 \quad (1)$$

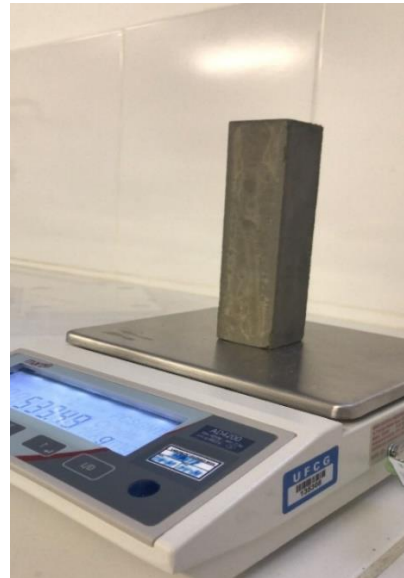
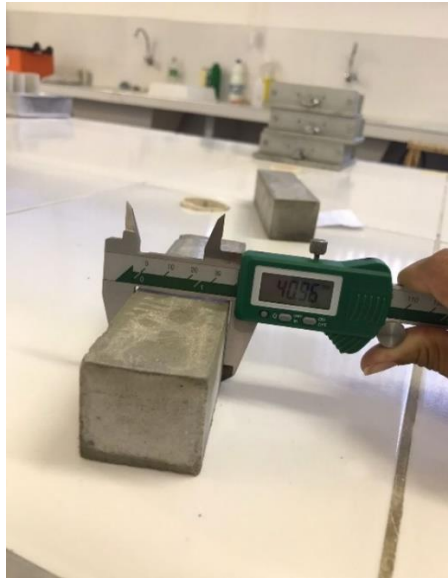
Onde,

d = densidade de massa (Kg/m^3);

m = massa seca (g);

v = volume do corpo de prova.

Figura 21 - Ensaio de densidade: (a) Medições do corpo de prova; (b) Registro da massa dos cp's



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria, 2022.

Para a classificação das argamassas autonivelantes estudadas quanto a sua densidade de massa aparente, foi utilizada a ABNT NBR 13281/ 2005. Na Tabela 7 está representado os critérios estabelecidos pela norma.

Tabela 7 - Densidade de massa aparente no estado endurecido

Classe	Densidade de Massa aparente (kg/m^3)	Método de ensaio
M1	≤ 1200	ABNT 13280
M2	1000 a 1400	
M3	1200 a 1600	
M4	1400 a 1800	
M5	1600 a 2000	
M6	> 1800	

Fonte: ABNT NBR 13281/2005.

3.2.6.3. Absorção de água por imersão

As amostras do ensaio foram preparadas de acordo com ABNT NBR 7215/19 e foram moldados 3 corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Para a execução do ensaio foram seguidas as orientações contidas na ABNT NBR 9778/2009, que estabelece o método para a determinação da absorção de água, índices de vazios e massa específica de concretos e argamassas no estado endurecido. Os corpos-de-prova permaneceram na estufa a 105 °C por um período de 72 h, registrando-se suas massas secas. Em seguida, as amostras foram imersas em água a uma temperatura de 23 °C e mantidas assim por mais 72 h para obtenção da saturação (Figura 22). Para obter os percentuais individuais dos valores de absorção de água, foi utilizada a Equação 2.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde,

A = absorção de água (%);

m_s = massa do corpo de prova seco em estufa (g);

m_{sat} = massa do corpo de prova saturado (g).

Figura 22 - Ensaio de absorção por imersão: amostra imersa na água



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.2.6.4. Absorção de água por capilaridade

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade as amostras foram confeccionadas seguindo as prescrições da ABNT NBR 7215/19, sendo moldados 3 corpos-de-prova com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Os

procedimentos seguidos para a realização do ensaio de absorção de água estão expostos na ABNT NBR 9779/12 Na primeira etapa, os corpos-de-prova foram pesados e posicionados sobre suportes (Figura 23) e, em seguida o recipiente do ensaio foi preenchido com água, de modo que a água permanecesse constante a 5mm acima de sua face inferior, evitando a molhagem de outras superfícies. Foi determinada a massa de cada após 3h, 6h, 24h, 48h e 72h. Após a última pesagem os corpos-de-prova foram rompidos por compressão diametral, conforme a ABNT NBR 7222/11, a fim de verificar a distribuição da água no seu interior. Para a determinação de absorção de água por capilaridade, foi utilizada a Equação 3, prescrita pela norma supracitada.

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S} \quad (3)$$

Onde,

C = absorção de água por capilaridade (g/cm²);

m_{sat} = massa do corpo de prova saturado (g);

m_s = massa do corpo de prova seco (g);

S = área da seção transversal (cm²).

Figura 23 - (a) Ensaio de absorção por capilaridade; (b) Verificação da distribuição de água no cp



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria, 2022.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados nesta pesquisa propostos no programa experimental, iniciando-se pela caracterização dos materiais, seguido das avaliações das propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.

4.1. Caracterização física

4.1.1. Resíduo de Scheelita

4.1.1.1. Massa específica e unitária

Na Tabela 8 são dispostos os resultados referentes ao ensaio de massa específica e unitária do subproduto fino do beneficiamento da scheelita.

Tabela 8 - Massa específica e unitária do resíduo

Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)
2,99	1,32

Fonte: Autoria própria, 2022.

Pode-se verificar na Tabela 8 que o resíduo fino da scheelita apresentou elevada massa específica (2,99 g/cm³), esse fato pode ser explicado, em função da alta densidade do CaWO₄. Já a massa unitária do resíduo (1,32 g/cm³), pode ser justificada em virtude do elevado teor de finos, já que 76,56% das partículas da sua composição são inferiores a 0,15 mm e, portanto, mais leves que os agregados constituídos de grãos maiores (MACEDO, 2021). Assim, o maior teor de finos contidos no resíduo pode resultar em argamassas com menor porosidade do que se fossem fabricadas com o agregado natural.

4.1.2. Agregado miúdo

4.1.2.1. Granulometria

Os resultados da análise granulométrica do agregado miúdo natural estão dispostos na Tabela 9 e Figura 24. A análise foi realizada antes do seu beneficiamento, obtida através do uso da série de peneiras normais descritas na

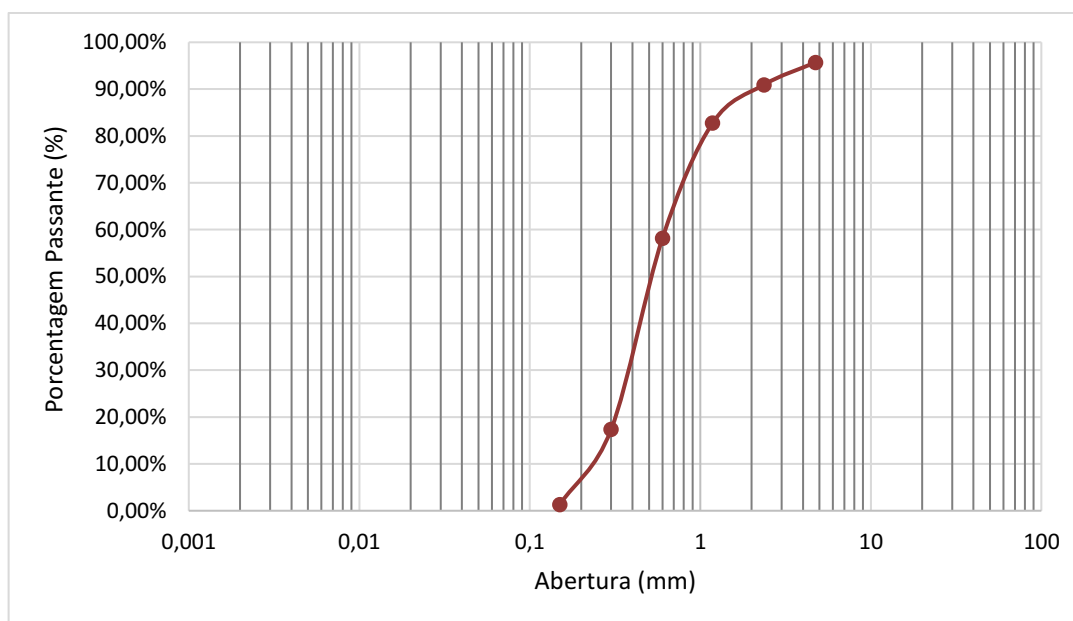
ABNT NM 248/2001. A Tabela 9 apresenta as porcentagens das partículas existentes no agregado. A Figura 24 mostra a plotagem da curva granulométrica.

Tabela 9 - Análise granulométrica do agregado miúdo natural

Peneira	Abertura (mm)	Massa Retida (g)	% Massa Retida	% Massa Retida Acumulada	% Passante
4	4,75	12,82	4,28%	4,28%	95,72%
8	2,36	14,37	4,79%	9,07%	90,93%
16	1,18	24,51	8,17%	17,24%	82,76%
30	0,6	73,69	24,57%	41,82%	58,18%
50	0,3	122,43	40,83%	82,65%	17,35%
100	0,15	47,98	16,00%	98,65%	1,35%
	Fundo	4,06	1,35%	100,00%	0,00%

Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 24 - Curva Granulométrica do agregado miúdo in natura



Fonte: Autoria própria, 2022.

Ao que se refere as características de uniformidade e graduação do agregado, foram calculados os seguintes índices: diâmetro efetivo (D_{10}) = 0,23mm; diâmetro D_{30} = 0,39mm e diâmetro D_{60} = 0,6mm. Obtidos esses valores, calcula-se o grau de uniformidade (U), dado pela equação 4.

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (4)$$

Dados os diâmetros D10 e D60, o grau de uniformidade da areia foi igual a 2,61, classificando-se como muito uniforme e mal graduado, com diâmetros próximos, segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).

O módulo de finura foi calculado pela soma das porcentagens retidas acumuladas em massa da areia, obtidas no ensaio de granulometria, e divididas por 100. A importância deste parâmetro se dá pela precisão de identificar as dimensões dos grãos, sabendo que quanto maior ele for, mais graúdo é o agregado e, conseqüentemente, menor será a quantidade de pasta de cimento necessária para envolver os grãos, bem como a relação a/c. A análise do módulo de finura foi feita com base na ABNT NBR 7211/09, expressa na Tabela 10.

Tabela 10 - Classificação do agregado quanto ao módulo de finura

Agregado	Módulo de Finura
Muito Grosso	MF \geq 3,90
Grosso	3,30 MF < 3,90
Médio	2,40 \leq MF < 3,30
Fino	MF < 2,40

Fonte: ABNT NBR 7211/2009.

A areia utilizada na pesquisa obteve módulo de finura igual a 2,54, de acordo com a ABNT NBR 7211/09 a mesma se classifica como agregado médio. Para a composição da AAN é necessário que a areia seja muito fina, assim, para continuar trabalhando com os materiais disponíveis, a areia natural passou pelo processo de beneficiamento, através do peneiramento, utilizando-se a porcentagem passante da peneira com abertura de 0,6mm para retirada dos grãos maiores e, assim, torna-la uma areia de consistência mais fina para a confecção das argamassas. Segundo Bauer (2008), a granulometria de areias finas está num intervalo de 0,6mm até 0,15mm.

4.1.2.2. Massa específica e unitária

Os resultados obtidos no ensaio de massa específica e unitária são expressos na Tabela 11.

Tabela 11 - Massa específica e unitária do agregado natural

Massa específica (g/cm³)	Massa unitária (g/cm³)
2,33	1,55

Fonte: Autoria própria, 2022.

Ao que se pode observar, é que a massa específica da areia ($2,33 \text{ g/cm}^3$) é inferior ao agregado residual, como demonstrado na Tabela 8, por outro lado, a massa unitária da areia é superior ao resíduo. O que corresponde que o resíduo de scheelita é um material mais pesado que a areia, mesmo tendo um valor de módulo de finura menor.

4.1.3. Aglomerante

4.1.3.1. Massa específica e unitária

A Tabela 12 apresenta os resultados dos cálculos de massa específica e unitária, todavia, o valor de massa unitária foi fornecido pelo fabricante.

Tabela 12 - Massa específica e unitária do cimento

Massa específica (g/cm^3)	Massa unitária (g/cm^3)
3,07	1,42

Fonte: Autoria própria, 2022.

4.2. Estudos de dosagens

Para a confecção da argamassa autonivelante, foi utilizado o traço unitário em massa de 1:2. Previamente, após a caracterização física foram estabelecidas as mesmas quantidades de água e aditivo superplastificante para as todas as substituições estudadas. Porém, devido as variações dos teores de substituições, foi possível verificar nos testes de dosagens que a quantidade de aditivo seria reajustada e calculada com base no consumo de cimento e adição de finos.

A definição da relação a/c foi escolhida após vários testes de dosagens, onde foi possível verificar que as argamassas não obtiveram fluidez nas relações de a/c abaixo de 0,675, definindo este, como a relação a/c para ser utilizada na pesquisa, mantendo a relação a/c constante em todos os traços. No qual, apresentou resultados positivos na dosagem ótima da argamassa autonivelante para todas as substituições.

Na Tabela 13 são apresentados os dados das composições da argamassa, conjuntamente de acordo com os teores de substituições do agregado, seus respectivos traços para confecção das AAN's, e os teores de aditivo necessários para se obter a fluidez.

Tabela 13 - Traços utilizados na pesquisa

Composição do Traço	Traços com substituições (em massa)	Teor de substituição do agregado	Teor de Sp
Cimento: Areia: Resíduo	1:2:0,0	0%	0,0063
	1:1,2:0,8	40%	0,0271
	1:1:1	50%	0,0132
	1:0,8:1,2	60%	0,0334

Fonte: Autoria própria, 2022.

Para a utilização do teor de aditivo superplastificante buscou-se determinar o quanto esse material seria necessário nas AAN's para promover um espalhamento conforme os parâmetros estabelecidos pela EFNARC (2002), adicionando o aditivo aos poucos até obter o teor ótimo.

4.3. Ensaio no estado fresco

4.3.1. Ensaio de Mini slump

A Tabela 14 mostra os resultados de espalhamento obtidos através do ensaio de mini slump, baseando-se nas prescrições propostas pela EFNARC (2002), para classificar se a argamassa é autonivelante ou não, e a análise visual das argamassas, realizada segundo os parâmetros visuais propostos por Martins (2009), em que o autor sugere a verificação das bordas conforme sua uniformidade e segregação.

Tabela 14 - Resultados de espalhamento das argamassas

Teores de substituição do agregado	Parâmetros da EFNARC (2002)			Parâmetros de Martins (2009)	
	D1 (cm)	D2 (cm)	Esp. Médio: 24 a 26 cm	Bordas: (U/D)	Segregação: (SS/CS)
0%	17	18	17,5	U	SS
40%	25	25	25	U	SS
50%	24	24,5	24,25	U	SS
60%	25	25,5	25,25	U	SS

Legenda: U= Uniforme; D= Desuniforme; SS= Sem Segregação; CS= Com Segregação.

Fonte: Autoria própria, 2022.

Na Figura 25 estão expostos os resultados finais das confecções das argamassas durante o ensaio de mini slump, observando-se o aspecto visual das

bordas da pasta a cada teste de espalhamento, para verificar se não haveria tendência a segregação.

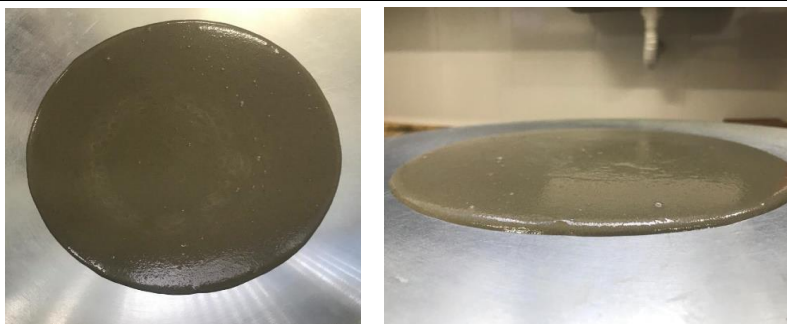
Martins (2009), afirma que quanto mais espessas e uniformes as bordas, mais coesão há entre os materiais e assim não haverá segregação.

Figura 25 - Análise visual das argamassas

Argamassa de 0% na dosagem ótima
com espalhamento de 17,5 cm



Argamassa de 40% na dosagem ótima
com espalhamento de 25 cm



Argamassa de 50% na dosagem ótima
com espalhamento de 24,25 cm



Argamassa de 60% na dosagem ótima
com espalhamento de 25,25 cm



Fonte: Autoria própria, 2022.

Analisando os resultados na Tabela 14 e Figura 25, percebe-se que o resíduo fino de scheelita conferiu à argamassa autonivelante estudada uma maior fluidez e observada uma maior trabalhabilidade da mesma durante sua produção. Comprovado este fato, como visto, o espalhamento da argamassa de referência com 17,5 cm, enquanto as argamassas com teores de substituição de 40%, 50% e 60% apresentaram espalhamento superior a argamassa sem resíduo.

Os resultados obtidos nesta pesquisa assemelham-se a dosagens realizadas por alguns pesquisadores, mantendo-se dentro dos parâmetros da EFNARC (2002). Como por exemplo, Lopes *et al.* (2018) obtiveram AAN com espalhamento no mini slump de 25,2 cm; e Aboutaleb *et al.* (2017) testaram a fluidez da argamassa por mini slump, onde todas as argamassas estudadas tiveram fluidez adequada com espalhamento de 24cm.

Alves (2020), realizou um estudo sobre argamassa autonivelante analisando os efeitos de vários tipos de cimento no comportamento físico-mecânico das argamassas. As análises apresentaram medidas de espalhamento semelhantes a este estudo, a autora utilizou a adição de metacaulim em seus traços nas proporções de 5%, 10% e 25% e sílica ativa nas proporções de 5%, 10% e 15%, alcançando medidas de espalhamentos compreendidas entre 24,2 a 25,9.

Observa-se na Figura 25 que todos os traços finais apresentaram bordas uniformes e altas, indicando maior coesão da mistura. Isso se deve ao fato da incorporação do resíduo, que resultou na melhoria do empacotamento entre os agregados, solucionando, assim, a problemática acerca da segregação que estava ocorrendo na pasta devido à falta de finos, antes da incorporação do resíduo, como descrito no item 3.2.3.

De acordo com Carasek *et al.* (2016), quando se atinge o melhor empacotamento nos sistemas de agregados, as argamassas tendem a ser mais densas, por outro lado, demandam menos pasta para a mesma fluidez (trabalhabilidade), em razão de menos vazios a serem preenchidos, sobrando assim mais pasta para lubrificar as partículas e afastar os grãos. Com o maior afastamento das partículas pela pasta, ocorre a redução do atrito interno e o aumento da fluidez da argamassa.

Dessa maneira, a inserção controlada de finos pode mitigar o consumo de água nas pastas de argamassas, melhorando o seu desempenho, acerca de uma

mesma trabalhabilidade, tendendo a melhorar as propriedades mecânicas das argamassas, conforme evidenciado na pesquisa de Gupta *et al.* (2018).

Em seu estudo com solo-cimento, Silva (2013), denota que o acréscimo da proporção de finos na mistura, produz um aumento médio da superfície específica das partículas presentes, gerando em um acréscimo na quantidade de água necessária para agregação das partículas inertes do solo.

Além disso, a presença do resíduo na composição proporciona uma melhoria na redução de exsudação, pois como relatado por Medeiros (2016) e Souza (2019), a elevada concentração de CaO_4 da scheelita contribui com o aumento da fluidez e plasticidade da argamassa.

Assim sendo, os ensaios possibilitaram ao alcance final dos traços, dosagens aproximadas entre si em todas as argamassas e, que atenderam as faixas de valores considerados adequados pela EFNARC (2002) para uma AAN.

4.4. Ensaio no estado endurecido

4.4.1. Resistência à compressão e tração na flexão

Os resultados correspondentes ao ensaio de resistência à compressão das argamassas estudadas, aos 7, 14 e 28 dias, estão dispostos na Tabela 15 e Figura 26.

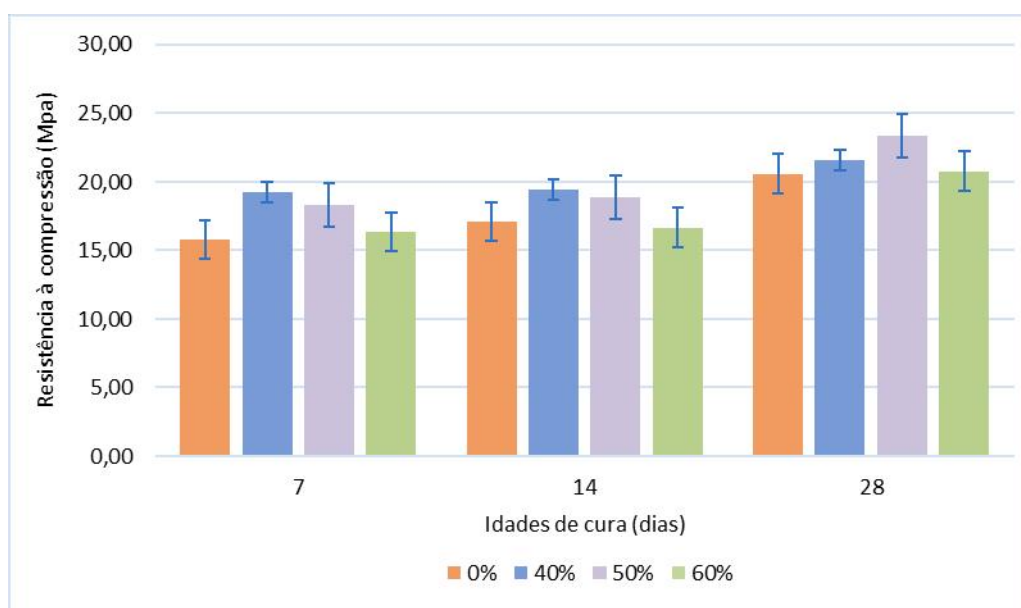
Tabela 15 - Resultados do ensaio de resistência à compressão das argamassas

Resistência à compressão (Mpa)			
Teor de substituição do agregado	Idades de cura		
	7	14	28
0%	15,81	17,10	20,59
40%	19,28	19,41	21,61
50%	18,29	18,88	23,37
60%	16,36	16,66	20,77

Fonte: Autoria própria, 2022.

Na Figura 26 é apresentada a distribuição das resistências de acordo com a idade de cura e teor de finos adicionado. Os mesmos podem ser detalhados por meio da Tabela 15.

Figura 26 - Resistência à compressão das argamassas



Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir da análise dos resultados, pode-se concluir que todas as argamassas compostas com resíduo apresentaram maiores valores de resistência à compressão, comparados a argamassa de referência. De modo geral, todas as resistências mecânicas à compressão aumentaram ao longo do período de cura.

Os resultados corroboraram com a tese de que matrizes cimentícias compostas por sistemas de agregados bem empacotados tendem a apresentar maior resistência mecânica. Tokarski (2017) e Canova *et al.* (2015) relatam em seus trabalhos o alcance dos resultados superiores para as argamassas produzidas com substituição da areia natural por pó de pedra e, assim como Medeiros (2016) e Souza (2019) para argamassas de areia de scheelita, creditam os melhores resultados especialmente ao melhor empacotamento.

Higashiyama *et al.* (2012) trabalharam com resíduos cerâmicos em substituição ao agregado natural, obtendo resultados de resistência à compressão maiores do que a argamassa produzida com agregado natural. Os autores constataram que o resultado foi possível devido a quantidade de finos presente no resíduo, superior a areia, melhorando a coesão entre o agregado e a pasta de cimento e, conseqüentemente sua estrutura de poros.

Percebe-se que com 60% de substituição, o aumento da resistência se deu de forma mais tímida quando comparado com as demais porcentagens. Já a argamassa formulada com 50% de substituição foi a que apresentou melhor

desempenho quanto a resistência à compressão aos 28 dias, tendo um aumento de 14% na resistência nessa idade, aos 7 dias houve um aumento de 15,7% e 10,41% aos 14 dias em relação a argamassa de referência.

Analisando os resultados quanto aos critérios estabelecidos pela EFNARC (2002), que determina a resistência à compressão simples de pisos autonivelantes seja igual ou maior que 20 Mpa, verifica-se que todas as argamassas nas idades de 28 dias estão de acordo com a referida norma. Quanto às especificações da ABNT NBR 13281/2005 para análise dos resultados de resistência à compressão, expostas na Tabela 5 do item 3.2.6.1., as argamassas se enquadram na classe P6 com valores de compressão maiores que 8 Mpa.

Quanto às propriedades de resistência mecânica das argamassas, Ferreira (2017) afirma que diferentemente do concreto, a resistência à tração na flexão possui maior influência sobre o desempenho e durabilidade dos revestimentos do que a resistência à compressão, quando as tensões internas do conjunto alvenaria-revestimento superam a resistência à tração na flexão das argamassas, são geradas fissuras no revestimento, comprometendo a sua performance.

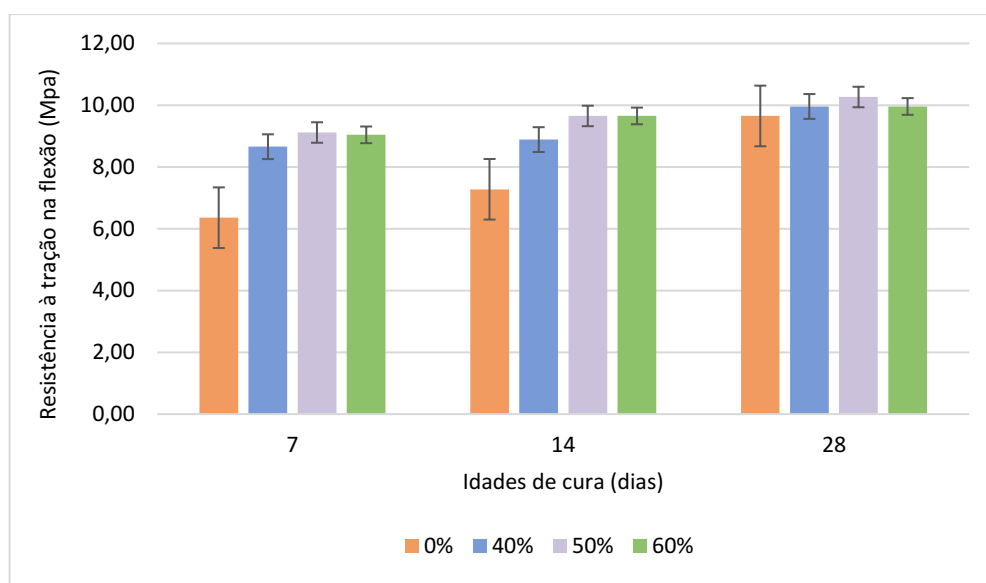
Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão, aos 7, 14 e 28 dias, das argamassas formuladas, estão expressos na Tabela 16 e Figura 27.

Tabela 16 - Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão

Resistência à tração (Mpa)			
Teor de Substituição do agregado	Idades de cura		
	7	14	28
0%	6,359	7,278	9,653
40%	8,657	8,887	9,960
50%	9,117	9,653	10,266
60%	9,041	9,653	9,960

Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 27 - Resistência à tração na flexão das argamassas



Fonte: Autoria própria, 2022.

Analisando os resultados em relação as argamassas produzidas parcialmente com agregados residuais *versus* a confeccionada apenas com agregado natural, 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 de referência. Assim, como os resultados de resistência à compressão, todos os resultados de resistência à tração na flexão aumentaram ao longo do período de cura.

Os resultados obtidos nesta pesquisa assemelham-se aos encontrados na literatura como Silva (2016a) em que a argamassa resultou em uma resistência média de aproximadamente 7 Mpa a 12 Mpa; e Yang *et al.* (2019) alcançaram resistência em torno de 9,5 MPa aos 28 dias.

As argamassas formuladas com 50% de resíduo de scheelita apresentaram maiores valores de resistência à tração na flexão em relação a argamassa de referência, tendo um aumento de 44% na resistência aos 7 dias, 33% aos 14 dias e 6,43% aos 28 dias.

Segundo os critérios da EFNARC (2002), os pisos autonivelantes devem ter resistências à flexão maiores ou iguais a 5 Mpa. Assim, constata-se que as argamassas estudadas atenderam a resistência a tração na flexão definida na norma, variando com valor mínimo de 8,65 Mpa até 10,26 Mpa. Para a ABNT NBR

13281/2005, a norma define este tipo de argamassa a classe R6 para argamassas com resistências superiores a 3,5 Mpa, como visto na Tabela 6 do item 3.2.6.1.

4.4.2. Densidade de massa aparente no estado endurecido

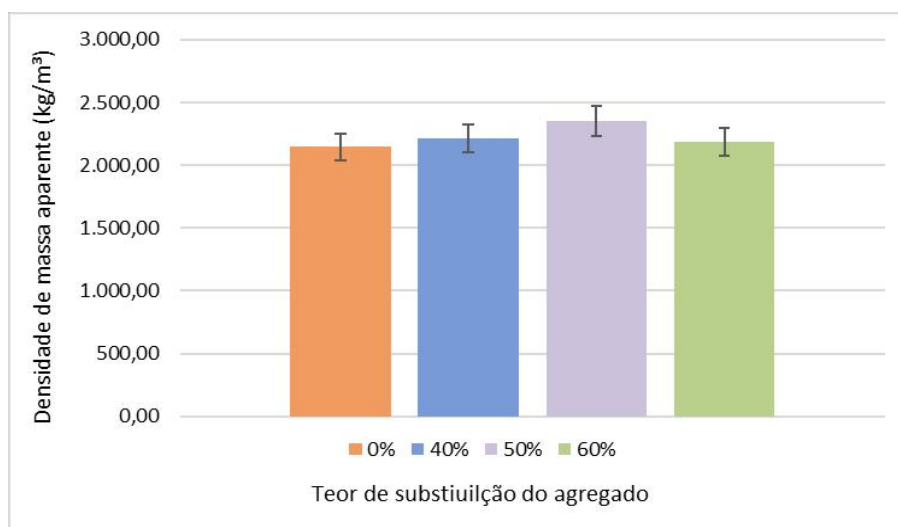
Os resultados médios obtidos da densidade de massa aparente, aos 28 dias, calculada pela Equação (1) estão expostos na Tabela 17 e Figura 28.

Tabela 17 - Resultados do ensaio de densidade de massa aparente

Densidade de massa aparente (Kg/m ³)	
Teor de Substituição do agregado	Idade de cura
	28 dias
0%	2146,488
40%	2212,238
50%	2351,392
60%	2185,397

Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 28 - Distribuição de densidade de massa aparente no estado endurecido



Fonte: Autoria própria, 2022.

Como observado, as argamassas confeccionadas com a substituição do agregado natural pelo resíduo apresentaram maior densidade de massa. Isto pode ser explicado em razão da elevada massa específica dos agregados constituintes e, do melhor grau de empacotamento dos componentes dos grãos no resíduo.

Em seus trabalhos, Tokarski (2017) e Souza (2019), pesquisadores que estudaram, respectivamente, argamassas com areia de britagem e scheelita, relatam

que a massa específica do agregado e o grau de adensamento dos grãos são fatores que influenciam a densidade de massa no estado endurecido.

Nos ensaios de compactação feitos em sua pesquisa, Ramos Filho (2021) formulou misturas com proporções de 60%, 50% e 40% de RS, e 40%, 50% e 60% de pó de pedra, respectivamente. O autor descreve que na formulação com 60% de RS, o mesmo preencheu alguns espaços vazios entre as partículas do pó de pedra, porém outros espaços vazios foram preenchidos com água, representando menor massa específica e maior umidade ótima. E, se a quantidade de finos for insuficiente, como no caso da formulação de 40% de RS, também ocorre aumento na quantidade de vazios entre as partículas maiores do pó de pedra, que não serão preenchidas pelas partículas menores do RS. Já a formulação de 50% de RS obteve melhor empacotamento dos grãos, maior massa específica e menor umidade.

Ao que tange a classificação de acordo com a ABNT NBR 13281/2005, como todos os resultados são superiores a 1800 Kg/m³, as argamassas são do tipo M6, como explicito na Tabela 7.

4.4.3. Absorção de água por imersão

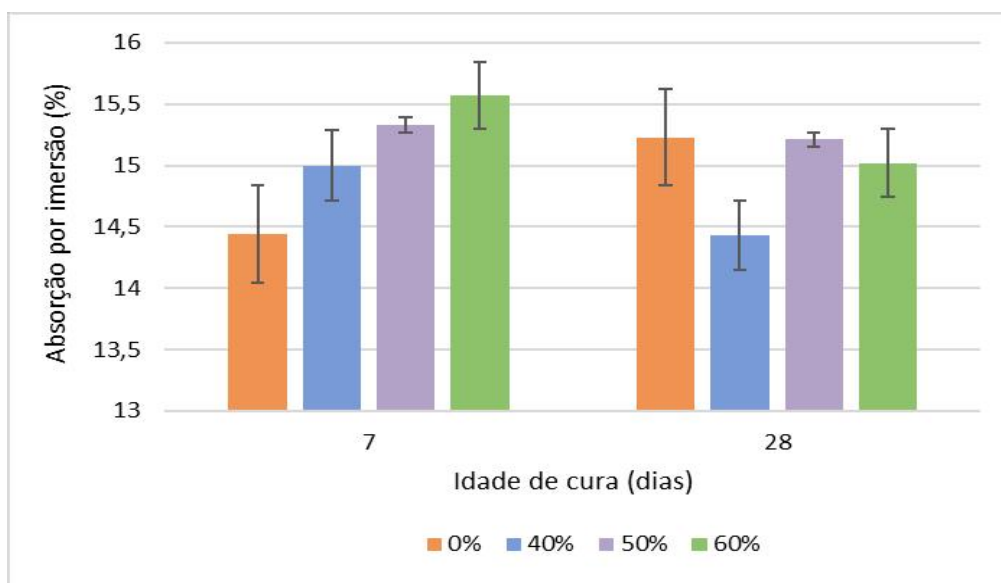
Os resultados do ensaio de absorção de água por imersão, aos 7 e 28 dias estão indicados na Tabela 18 e Figura 29.

Tabela 18 - Resultados do ensaio de absorção de água por imersão

Absorção de Água (%)		
Teor de Substituição do agregado	Idades de cura	
	7	28
0%	14,44	15,23
40%	15,00	14,43
50%	15,33	15,21
60%	15,57	15,02

Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 29 - Resultados dos índices de absorção de água por imersão



Fonte: Autoria própria, 2022.

Comparando a argamassa confeccionada apenas com agregado natural, percebeu-se em todas formulações com resíduo um maior índice de absorção de água na idade de 7 dias. Porém, na idade de 28 dias houve um decréscimo nas composições das argamassas com resíduo de scheelita, apresentando um menor índice de absorção, sendo este fato justificado pela presença de finos em suas formulações. Enquanto que, a argamassa de referência obteve maior valor de absorção de água, o que pode ser explicado pelo maior índice de vazios em sua composição devido à falta de finos.

Como justifica Nascimento (2018), afirmando em seu trabalho que o menor índice de absorção de água está relacionado à maior resistência, pois, quanto maior a quantidade de água absorvida, maior o teor de vazios na argamassa, o que reduz sua compacidade e por consequência, sua resistência. Sendo comprovado baseando-se nos resultados do ensaio de resistência à compressão na Tabela 15, comparando-os com os resultados do ensaio de absorção na Tabela 18, percebe-se que são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a absorção de água, menor a resistência à compressão.

Souza (2019), formulou argamassas com areia de scheelita com proporções de 75% do resíduo grosso e 25% do resíduo fino em suas composições, em traços com cimento (1:3) e cimento e cal (1:1:6), evidenciando a diminuição da absorção e do índice de vazios. Souza (2019), justifica essa diferença no resultado devido ao

ajuste granulométrico realizado em sua pesquisa, no qual, resultou numa argamassa mais densa e, conseqüentemente, com menores teores de vazios.

Estes resultados demonstram concordância com as análises realizadas por Santos *et al.* (2019), que estudaram a influência do tipo de agregado miúdo (natural e artificial) nas características e dosagem de argamassas de revestimento mistas. De acordo com os pesquisadores, a angulosidade e o teor de finos dos grãos britados 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 as argamassas fabricadas com areia natural.

4.4.4. Absorção de água por capilaridade

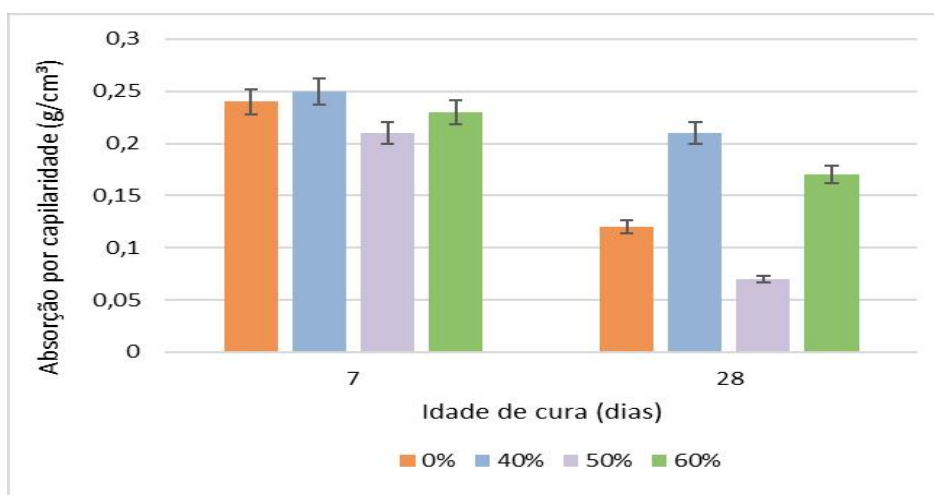
Os resultados obtidos neste ensaio constam na Tabela 19 e, podem ser observados na Figura 30.

Tabela 19 - Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade

Absorção por capilaridade		
Teor de Substituição do agregado	Idades de cura	
	7	28
0%	0,24	0,12
40%	0,25	0,21
50%	0,21	0,07
60%	0,23	0,17

Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 30 - Resultados dos índices de absorção de água por capilaridade



Fonte: Autoria própria, 2022.

Observa-se que na idade de 7 dias os dados obtidos das argamassas com resíduo ficaram bem próximos a de referência. Por outro lado, na idade de 28 dias as argamassas com 40% e 60% de resíduo apresentaram resultados superiores à argamassa de referência.

De acordo com Canova *et al.* (2015), este fato pode estar associado a formação de microfissuras. Segundo os pesquisadores, que realizaram análise semelhante em argamassa com areia britada de calcária, o elevado teor de finos presentes na areia artificial ocasionou a redução dos raios da argamassa, que aumenta a tensão superficial. Conforme explicado por Mehta e Monteiro (2008), o resultado da capilaridade não está associado apenas a presença de vazios, mas, ao diâmetro dos micros poros e suas conexões, visto que, são fatores que afetam a absorção por capilaridade, podendo interferir na durabilidade das argamassas.

Silva, *et al.* (2013) avaliaram as propriedades das argamassas de revestimentos produzidas com agregados residuais proveniente da produção de minérios, constatando que, as argamassas com agregados residuais apresentaram maiores coeficientes de capilaridade comparada às argamassas de referência. De acordo com os pesquisadores, as argamassas formuladas com resíduo apresentaram maior absorção de água, como também, demonstraram um comportamento mais suscetível a penetração de água que a argamassa de referência. Os autores explicam este comportamento através da “Lei de Jurin” que associa a ascensão capilar da água nos corpos de prova ao inverso dos raios capilares que, provavelmente, são menores devido ao menor diâmetros dos grãos da areia de resíduo em relação à argamassa de referência.

Comportamento semelhante ao observado por Silva, *et al.* (2013) pode ser verificado na presente pesquisa, visto que, o resíduo fino de scheelita possui maior teor de finos presentes em sua composição que a areia natural, ou seja, maior número de grãos com menor raio capilar que o agregado natural, favorecendo a ascensão capilar. Os resultados também convergem com os dados obtidos por Kazmierczak *et al.* (2016) em sua análise de argamassas confeccionadas com areias de britagem basáltica com incorporação de 30% de micro finos (partículas com dimensão $\leq 0,075\text{mm}$). Os autores relatam que, apesar de apresentarem maior densidade e resistência mecânica, todas as argamassas com areia de britagem basáltica manifestaram maior quantidade de poros capilares e macro poros, e

consequentemente, maiores coeficientes de capilaridades em relação a argamassa com areia natural.

5. CONCLUSÕES

A incorporação do subproduto fino do beneficiamento da scheelita promoveu um melhor arranjo entre as partículas do agregado natural, preenchendo os vazios existentes entre as partículas da areia, conferindo um melhor empacotamento dos grãos na produção das argamassas compostas com resíduo de mineração. Apresentando ainda, uma maior quantidade de finos e uma massa específica superior a areia natural, o que proporcionou melhorias nas propriedades das argamassas analisadas na pesquisa.

No que se refere as propriedades das argamassas no estado fresco, através do ensaio de mini slump, foi possível chegar à dosagem ótima. No qual, todas as formulações produzidas com subprodutos, comparadas a formulação de referência, obtiveram maior fluidez e, apresentaram melhor desempenho. Observou-se, ainda que, o resíduo favoreceu as pastas uma melhora na trabalhabilidade das mesmas durante sua produção. Além de, apresentarem bordas altas e uniformes sem tendência a segregação e/ou exsudação, indicando maior coesão da mistura.

No estado endurecido, para as argamassas com agregados residuais, os resultados do ensaio de resistência à compressão indicaram desempenho mecânico superiores a argamassa de referência. Comprovando este fato, em concordância com a tese de que matrizes cimentícias compostas por sistemas de agregados bem empacotados tendem a apresentar maior resistência mecânica.

Em relação a tração na flexão, as argamassas produzidas parcialmente com agregados residuais *versus* a confeccionada apenas com agregado natural, mostraram que os valores alcançados para a resistência à tração na flexão de todas as argamassas fabricadas com subprodutos superaram os resultados referentes a argamassa de referência, em razão da morfologia mais angular dos resíduos, que promove a melhor aderência física na interface pasta-agregado e, consecutivamente, a maior resistência à tração.

Mediante análise das massas específicas e unitárias, percebeu-se que o resíduo é mais pesado que a areia, explicando o porquê das argamassas autonivelantes formuladas com resíduo de scheelita possuir uma maior densidade de massa aparente.

Acerca da absorção de água por imersão as argamassas produzidas com agregados residuais apresentaram menor índice de absorção de água na idade de 28 dias, comparada a argamassa de referência. Enquanto que, na absorção de água por capilaridade, apenas a argamassa composta com 50% de resíduo, apresentou maior valor na idade de 28 dias em relação a argamassa de referência

Todas as argamassas apresentaram resultados satisfatórios, todavia, pode-se considerar que a argamassa que melhor apresentou desempenho foi a argamassa autonivelante com substituição de 50% do resíduo, uma vez que, dentre todos os ensaios realizados, ela obteve melhores resultados em sua grande parte, destacando-se o aumento de 14% na resistência à compressão aos 28 dias, como também, obtendo maiores valores de resistência à tração na flexão em relação a argamassa de referência, tendo um aumento de 44% na resistência aos 7 dias, 33% aos 14 dias e 6,43% aos 28 dias, além da, baixa absorção de água nos ensaios tecnológicos, o que representa, uma pasta com menos poros.

Portanto, o emprego do resíduo de scheelita em substituição a areia natural na produção de argamassas autonivelantes pode proporcionar melhorias significativas nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, especialmente, quando realizados os ajustes granulométricos para o melhor empacotamento entre as partículas.

Considerando todos os resultados obtidos, pode-se concluir que o resíduo fino do beneficiamento da scheelita possui alto potencial para inserção de substituição do agregado miúdo natural em argamassas autonivelantes, pois proporcionaram resultados satisfatórios. Além das, vantagens técnicas, o reaproveitamento deste subproduto na produção de argamassas viabiliza benefícios ambientais gerando a mitigação dos impactos ambientais causados tanto pela exploração dos agregados naturais quanto pela indústria da mineração de scheelita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto- especificações. Rio de Janeiro, 2019.

____. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

____. NBR 7222: Concreto e Argamassa- Determinação da resistência à Tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos– Rio de Janeiro, 2011.

____.NBR 9935: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

____.NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

____.NBR 9779: Argamassa e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

____.NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

____.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.

____.NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

____.NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

____.NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

____.NBR 16915: Agregados — Amostragem. Rio de Janeiro, 2021.

____.NBR 16916: Agregado miúdo – Determinação da densidade e absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

____.NBR 16972: Agregados — Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

____. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. Versatilidade do cimento brasileiro. Disponível em: Acesso em: 08. de fev. 2022.

ASTM C1708/C1708M-16. Standard Test Methods for Self-leveling Mortars Containing Hydraulic Cements. 2012.

ASTM C 125. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. 2012

ABOUTALEB, D.; SAFI, B.; CHAHOUR, K.; BELAID, A. Use of refractory bricks as sand replacement in self-compacting mortar. Cogent Engineering, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 1–8, 2017. Disponível em: < <http://doi.org/10.1080/23311916.2017.1360235>>. Acesso em: 03. de maio. 2022.

AÏTCIN, P.C.; NEVILLE, A. How the water-cement ratio affects concrete strength. Concrete International, Detroit, v. 25, n. 8, p. 51-58, Aug. 2003.

ALMEIDA, S. L. M., LUZ, A. B. Manual de agregados para a construção civil. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 432p, 2012.

ALVES, B. S., et al., Análise comparativa do agregado miúdo com o rejeito da scheelita para aplicação na construção civil. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT). Anais [...] CBECiMat, Natal, 2016.

ALVES, B. M. O. Argamassa autonivelante para contrapiso: Efeito do tipo de cimento no comportamento físico-mecânico. 2020. 129 f. Dissertação (Mestrado em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Tucuruí, 2020.

ANEPAC. O Mercado de Agregados no Brasil. Nov. 2015. Disponível: <http://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/download/69_04062b071b7171f3481b7a0e8f36f5ac>. Acesso em: 30 mar. de 2022.

ARAÚJO, E. R.; OLIVIERI, R. D.; FERNANDES, F. R. C. Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente. In: Recursos minerais e sociedade: impactos humanos - socioambientais - econômicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

BARBAR, J. S. Influência do teor de ar incorporado no desempenho de concretos com diferentes teores de agregados Influência do teor de ar incorporado no desempenho de concretos com diferentes teores de agregados. 2016. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 538 p.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G., Materiais constituintes e suas funções. in: Elton Bauer (org.), Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades. Brasília: LEMUnB; Sinduscon, p. 23-29, 2005.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2017. DNPM, 2017. 211 p.: il..

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2018. DNPM, 2018.: il.

BERMANN, C. O projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. Novos Cadernos NAEA, v. 15, n. 1, p. 5-23, 2016.

CANOVA, J.A. et al. Dry ripened mortar with quarry waste and rubber powder from unserviceable tires. Acta Scientiarum Technology, v. 37. p. 25-31, 2015.

CARASEK, H. et al. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. Matéria (Rio de Janeiro) [online], v. 21, n. 03, 2016.

CARVALHO, H. D. S. Análise da Retração por Secagem em Argamassas Autonivelantes Utilizando Adições Minererais Como Substitutos Parciais do Cimento

Portland. 2015. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

CAVALCANTI, D. J. H. Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais. 2006. 141p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

CHAVES, I. O. Beneficiamento De Gemas De Quartzo Na Região De Inimutaba, Minas Gerais. 35f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG. Araxá. 2017.

CHAVES, P. S. Argamassa autonivelante com adição mineral (fíler) de resíduo de beneficiamento de mármore e granito. 2019. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

CHRISTIANTO, H. A. Effect of Chemical and mineral admixtures on the fresh properties of self compacting mortars. Master of Science in civil engineering. Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University. August, 2004.

EFNARC. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. Report from EFNARC, [s. l.], v. 44, n. February, p. 32, 2002. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Specification+and+Guidelines+for+Self-Compacting+Concrete#0>>. Acesso em: 03. maio. 2022.

ENGLE, Telma. Contrapiso Argamassa autonivelante. Técnica – Tecnologia, 2010 Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/164/contrapiso-autonivelante-com-prazo-de-execucao-reduzido-e-custos-286771-1.aspx>>. Acesso em: 12. de maio. 2022.

FERREIRA, R. L. da S. Efeitos da incorporação de areia reciclada de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas mistas de revestimento. 2017. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

FONTES W. C. et al., Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams, Construction and Building Materials, v.112, p.988-995, 2016.

GAMA, H. M. A. Desenvolvimento de Contrapiso Autonivelante com Adição de Metacaulim, Aditivo Polifuncional e Aditivo Modificador de Viscosidade. 86f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

GERAB, A. T. F. de S. C. Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias. 2014. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

GOMES, A. O.; GONÇALVES, J. P. Inovações tecnológicas em canteiros de obras, X Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa (SBTA). Fortaleza, 2013.

GUPTA L. K., VYAS A. K. Impact on mechanical properties of cement sand mortar containing waste granite powder. *Construction and Building Materials*. 191, p. 155-164, 2018.

HIGASHIYAMA, H. et al. Chloride ion penetration into mortar containing ceramic waste aggregate. *Construction and Building Materials*, V. 33, p. 48 – 54, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. Informações e análises da economia mineral brasileira 2020. Ano base 2019. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração. 84p.,2020.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. In: Seminário reciclagem de resíduos domiciliares. São Paulo, Anais [...] 2003.

JÚNIOR, L. U. D. T. Desenvolvimento de argamassas autonivelantes com ativação alcalina de precursores residuais. 2016.Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

KATSIADRAMIS, N. J.; SOTIROPOULOU, A. B.; PANDERMARAKIS, Z. G. Rheological and Mechanical Response Modifications for a Self-Leveling Mortar. *EPJ Web of Conferences*, Greece, v. 6, p. 23002, 2010. Disponível em: Acesso em: 15 jan. 2022.

KAZMIERCZAK, C. S. et al., Influência da adição de filer de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 7-19, jun. 2016.

LIBRE, N.A.; KHOSHNAZAR, R.; SHEKARCHI, M. Relationship between fluidity and stability of self-consolidating mortar incorporating chemical and mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, v. 24, p. 1262-1271, 2010.

LONDERO, C. et al. Determinação da densidade de empacotamento de sistemas granulares compostos a partir da areia normal do IPT: comparação entre modelos de otimização de distribuição granulométrica e composições aleatórias. *Cerâmica*. São Paulo, v. 63, n. 365, p. 22-33, mar. 2017. DOI: 10.1590/0366-69132017633652018.

LOPES, A.; RAMOS, A.; CORDEIRO, L.; PAES, I. Dosagem de argamassa autonivelante com resíduo do corte de mármore e granito (rcmg) para contrapiso. 3º Simpósio. *Argamassas e soluções térmicas de revestimento*, Coimbra, out. 2018.

MACEDO, J. W. N. Argamassa de revestimento produzida a partir da substituição do agregado natural por resíduo de scheelita e pó de pedra. 2021. 93f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Natal, 2021.

MARTINS, E. J. Procedimento Para Dosagem De Pastas Para Argamassa Autonivelante. Universidade Federal Do Paraná, 2009.

MEIRELES, Dinah et al. Avaliação das propriedades do concreto auto-adensável contendo aditivos modificadores de viscosidade no estado fresco. In: *Congresso Brasileiro do Concreto*. Curitiba, 2009.

MEDEIROS, B. A. et al. Propriedades mecânicas de argamassa produzida com substituição da areia natural por resíduo de scheelita. *Cerâmica* [online]. 2019, vol.65, n.375, pp.443-451. Aug 15, 2019.

MEDEIROS, M. Estudos de Argamassas de Revestimento com Resíduo de Scheelita. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MEHTA, K.; MONTEIRO, PAULO J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENDES, G. A. Dosagem de argamassa autonivelante com adição de Resíduos do Corte de Mármore e Graníticos (RCMG): Análise das propriedades físicas e mecânicas. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de ciências tecnológicas – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2019.

MENDES, G. A.; EFFTING, C.; SCHACKOW, A. Argamassa autonivelante com adição de resíduos de mármore e granito: propriedades físicas e mecânicas. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 403-418, jul./set. 2020.

MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO. História – Mina Brejuí. Disponível em: <http://minabrejuui.com.br/site/>. Acesso em: março de 2022.

NASCIMENTO, A. R. V. J; FREIRE, G. C. F; CUNHA. K. P. V. – Impactos ambientais da mineração de scheelita na região do Seridó potiguar. In: 28º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Rio de Janeiro, 2015.

NASCIMENTO, R. F. do. Avaliação das Propriedades Mecânicas de Argamassas de Assentamento e Revestimento Incorporadas com Resíduos da Mineração. 93 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB. 2018.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. Pisos Autonivelantes. Propriedades e Instalações. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador, 1997.

NENEVÊ, B. L. Desenvolvimento de formulações de argamassas autonivelantes para contrapiso e proposição de requisitos de desempenho. 2017. Universidade Federal do Paraná, 2017.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do Concreto. Bookman Editora. 2ed. 466 p. 2013.

NOBRE FILHO, P.A., et al. Impactos ambientais da extração de areia no canal ativo do Rio Canindé, Paramoti, Ceará. Revista de Geologia, v.24, n.2, p.126-135, jul. dez.2011.

OKADA, E.M. et al. Produção de argamassa aditivada com resíduo de fibra de vidro pós-processada. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 2013. Fortaleza/CE.

OLIVEIRA, T. V. Formulações de Argamassas Autonivelantes para Contrapiso com Incorporação Parcial de Agregado Reciclado de Concreto. 2019. Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

PAIVA, E.H.G. Avaliação do concreto de cimento Portland com resíduo da produção de scheelita em substituição ao agregado miúdo. 2013, 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

PARANDE, A. K.; BABU, B. R.; KARTHIK, M. A.; KUMAA R. D. Study on strength and corrosion performance for steel embedded in metakaolin blended concrete/mortar. Construction and Building Materials, v. 22, p. 127-134, 2008.

PASSOS, M. G. Análise comparativa do potencial de utilização de resíduo de mineração em argamassa autonivelante. 2021. 65f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2021.

PINTO, N. P. Avaliação Dos Impactos Ambientais E Medidas Mitigadoras De Empreendimentos De Mineração A Céu Aberto No Brasil. 48f. Monografia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Três Rios – RJ. 2018.

QUEIROZ NETO, M. L. et al., Uso de resíduos da mineração de scheelita em argamassas de assentamento e revestimento. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL (CONGEA), 2016, Campina Grande/PB. Anais [...] IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, Campina Grande, 2016.

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. 155f.

Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

RIZWAN, S.A.; BIER, T.A. Blends of limestone powder and fly-ash enhance the response of self-compacting mortars. *Construction and Building Materials*, v. 27, p. 398-403, 2012.

RUBIN, A. P. Argamassas Autonivelantes Industrializadas Para Contrapiso: Análise Do Desempenho Físico-Mecânico Frente Às Argamassas Dosadas Em Obra. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre, 2015.

SANTOS, W. J. et al. Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas. *Ambiente Construído [online]*, v. 19, n. 4, pp. 271-288, 2019.

SCHAEFER, C. O. Valorização de fonte alternativa de sulfato de cálcio para a produção de argamassas autonivelantes. 2013. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópolis, 2013.

SILVA, N. S.; SILVA, G. G.; GLEIZE, P. J. P. Argamassa de revestimento utilizando areia residual proveniente da produção de minérios. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologias das Argamassas. Fortaleza – CE, 2013.

SILVA, V. M. Estudo da potencialidade do resíduo cerâmico incorporado na produção de tijolos maciços de solo-aglomerante(s). Tese de Doutorado submetida ao Programa de Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN, Natal, RN, Brasil, 2013.

SILVA, A. S. Desenvolvimento de formulações de argamassas autonivelantes para pisos e avaliação da retração por secagem. 2016a. 117f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, 2016.

SOUZA, A. S; FERREIRA, A. Z.; AZEVEDO, B. L. O. Estudo para o desenvolvimento de argamassa autonivelante para contrapiso. Trabalho de Final de Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

SOUZA, N. C. Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema convencional. 2013, Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

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, 2021.

SOUZA, R. S. de. Argamassas produzidas a partir da substituição do agregado miúdo pelo resíduo do beneficiamento da scheelita e da água de hidratação por manipueira. 2019. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

TUTIKIAN, B. F. Método para dosagem de concretos auto-adensáveis. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 148, 2004. Disponível em:< <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3918> >. Acesso em: 02. mar. 2022.

TOKARSKI, R. B. Comportamento da areia de britagem de rocha calcária na argamassa de revestimento. 2017. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

VALVERDE, F.M. Perspectivas para o setor de agregados. *Revista Areia e Brita*. São Paulo, ed. 69, 24p. 2016.

YANG, J.; LIU, L.; LIAO, Q.; WU, J.; LI, J.; ZHANG, L. Effect of superabsorbent polymers on the drying and autogenous shrinkage properties of self-leveling mortar. *103 Construction and Building Materials, China*, v. 201, p. 401–407, 2019.