



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

LEONARDO NADER ANDRADE FERREIRA

**ESTUDO FÍSICO DE ARGAMASSA PRODUZIDA COM RESÍDUOS DE GRANITO
E MÁRMORE**

PALMAS

2024

LEONARDO NADER ANDRADE FERREIRA

**ESTUDO FÍSICO DE ARGAMASSA PRODUZIDA COM RESÍDUOS DE GRANITO
E MÁRMORE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior de Bacharelado
em Engenharia Civil da Unidade Campus Palmas,
do Instituto Federal do Tocantins, como exigência
à obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Rafael de Souza
Alves Bosso
Coorientador: Prof. Dr. Adriano dos Guimarães
de Carvalho

**PALMAS
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

F383e Ferreira, Leonardo Nader Andrade
 Estudo físico de argamassa produzida com resíduos de granito e mármore
 / Leonardo Nader Andrade Ferreira. – PALMAS, TO, 2024.
 49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, PALMAS, TO, 2024.

Orientador: Dr. Antonio Rafael de Souza Alves Bosso
Coorientador: Dr. Adriano Dos Guimarães Carvalho

1. Argamassa. 2. Resíduos. 3. Granito e mármore. I. Bosso, Antonio
Rafael de Souza Alves. II. Carvalho, Adriano Dos Guimarães. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

LEONARDO NADER ANDRADE FERREIRA
ESTUDO FÍSICO DE ARGAMASSA PRODUZIDA COM RESÍDUOS DE GRANITO
E MÁRMORE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior de Bacharelado
em Engenharia Civil da Unidade Campus Palmas,
do Instituto Federal do Tocantins, como exigência
à obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovado em: 28 / 06 / 2024

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO RAFAEL DE SOUZA ALVES BOSSO**
Data: 26/07/2024 18:16:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antonio Rafael de Souza Alves Bosso

Orientador

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO DOS GUIMARAES DE CARVALHO**
Data: 26/07/2024 18:21:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho

Coorientador

Documento assinado digitalmente
 **PAULO DOS SANTOS BATISTA**
Data: 29/07/2024 21:09:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo dos Santos Batista

Documento assinado digitalmente
 **DANILO GOMES MARTINS**
Data: 30/07/2024 08:49:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Danilo Gomes Martins

RESUMO

O Brasil possui grande destaque no setor de rochas ornamentais, tanto na produção e beneficiamento, quanto no consumo e utilização. Esse setor também é responsável por uma grande geração de resíduos, devido aos processos de corte e polimento de materiais, como o granito e o mármore. Este trabalho tem como objetivo analisar as propriedades físicas e avaliar a performance de argamassas de revestimento incorporadas com pó de granito e mármore em substituição parcial do cimento *Portland*. Para isto, foram utilizados 4 traços de argamassa (um traço padrão e outros três com proporções de 2%, 4% e 6% de substituição do cimento pelo pó de granito e mármore, em relação a massa) e para cada traço foram confeccionados 6 corpos de prova. Os materiais passaram pelas etapas de caracterização antes da confecção dos corpos de prova, de acordo com as normas técnicas específicas de cada um. Foi realizado ensaio de índice de consistência da argamassa e, após os 28 dias de cura úmida, também foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão, de resistência à compressão e de resistência de aderência à tração (arrancamento). Os dados obtidos nos ensaios de índice de consistência e de resistência mecânica passaram pelos testes estatísticos de análise de variância (ANOVA) e de comparação de média (teste de Tukey). Os resultados obtidos foram satisfatórios no que diz respeito a resistência à tração na flexão, resistência à compressão e resistência de aderência à tração, bem como os resultados do índice de consistência da argamassa. O traço com 2% de pó de granito e mármore se destacou ainda mais, pois apresentou melhor conjunto de propriedades e resultados mais significativos positivamente em relação aos demais traços. Em relação ao teste de hipóteses, conclui-se que a hipótese nula é a que satisfaz os resultados apresentados neste trabalho, visto o resíduo de granito e mármore melhorou (ou manteve) o desempenho da argamassa, além de colaborar na busca pelo reaproveitamento de resíduos.

Palavras-chave: Resíduos. Pó. Granito. Mármore. Argamassa.

ABSTRACT

Brazil has great prominence in the ornamental stone sector, both in production and processing, as well as in consumption and use. This sector is also responsible for a large generation of waste, due to the cutting and polishing processes of materials such as granite and marble. This work aims to analyze the physical properties and evaluate the performance of coating mortars incorporated with granite and marble powder in partial replacement of Portland cement. For this, 4 mortar mixes were used (a standard mix and three others with proportions of 2%, 4% and 6% replacing cement with granite and marble powder, in relation to the mass) and for each mix 6 mixes were made. proof bodies. The materials went through the characterization stages before making the test specimens, in accordance with the specific technical standards of each one. A mortar consistency index test was carried out and, after 28 days of wet curing, flexural tensile strength, compressive strength and tensile adhesion (pulling) strength tests were also carried out. The data obtained in the consistency index and mechanical resistance tests underwent statistical tests of analysis of variance (ANOVA) and mean comparison (Tukey's range test). The results obtained were satisfactory with regard to flexural tensile strength, compressive strength and tensile adhesion strength, as well as the results of the mortar consistency index. The mix with 2% granite and marble powder stood out even more, as it presented a better set of properties and more positive results compared to the other mixes. Regarding the hypothesis test, it is concluded that the null hypothesis is the one that satisfies the results presented in this work, as the granite and marble residue improved (or maintained) the performance of the mortar, in addition to contributing to the search for the reuse of waste.

Keywords: Waste. Powder. Granite. Marble. Mortar.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Grupos de rochas ornamentais.....	15
Quadro 2. Comparativo das formas de ruptura do ensaio de arrancamento com a NBR.....	41
Quadro 3. Teste de Tukey para os resultados do ensaio de tração na flexão.	42
Quadro 4. Teste de Tukey para os resultados do ensaio de compressão.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exigências mecânicas e reológicas para argamassas.....	23
Tabela 2. Traços das argamassas.....	27
Tabela 3. Índice de consistência da argamassa.....	36
Tabela 4. Resistência à tração na flexão.....	37
Tabela 5. Resistencia à compressão.	38
Tabela 6. Resistencia de aderência à tração.	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de resistência à compressão x tempo de cura.	20
Figura 2. Gráfico de resistência à compressão x tempo de cura.....	20
Figura 3. Fluxograma de atividades desenvolvidas.....	25
Figura 4. Resíduo armazenado para o transporte.	26
Figura 5. Resíduo dentro do forno para secagem.	26
Figura 6. Processo de destorroamento.	27
Figura 7. Materiais para ensaio de determinação de massa específica.....	28
Figura 8. Determinação do índice de finura do material pulverulento.....	29
Figura 9. Forma prismática.....	30
Figura 10. Corpos de prova prismáticos.....	31
Figura 11. Reboco em parede.....	32
Figura 12. Ensaio de determinação do índice de consistência (<i>flow table test</i>).	33
Figura 13. Ensaio de resistência à tração na flexão e resistência a compressão.....	34
Figura 14. Resistência ao arrancamento e limites estabelecidos por norma.	39
Figura 15. Corpos de provas de ensaio de arrancamento.	40
Figura 16. Formas de ruptura em um sistema de revestimento com chapisco.	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Problema de Pesquisa	12
1.2	Justificativa.....	12
1.3	Teste de hipóteses.....	13
1.4	Objetivos	14
1.4.1	Objetivo Geral	14
1.4.2	Objetivos Específicos.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Origem e produção de rochas ornamentais	14
2.2	Argamassa	16
2.3	Cimento	17
2.4	Areia	17
2.5	Cal hidratada.....	18
2.6	Pó de granito e mármore em argamassas	18
2.7	Propriedades da argamassa.....	21
2.7.1	Trabalhabilidade.....	21
2.7.2	Durabilidade.....	21
2.7.3	Plasticidade	22
2.7.4	Retenção de água.....	22
2.7.5	Aderência	23
2.7.6	Resistência mecânica	23
2.8	Testes estatísticos	24
2.8.1	Análise de variância	24
2.8.2	Teste de comparação de médias	24
3	METODOLOGIA	25
3.1	Coleta e secagem do resíduo (pó de granito e mármore)	26
3.2	Definição de proporção do resíduo.....	27
3.3	Caracterização física e química dos materiais.....	27
3.3.1	Resíduo – Pó de granito e mármore	28
3.3.2	Cimento	30
3.4	Confecção dos corpos de prova prismáticos	30

3.5	Execução do reboco.....	31
3.6	Realização dos testes físicos e mecânicos	32
3.7	Análise dos dados	34
4	RESULTADOS	35
4.1	Caracterização do pó de granito e mármore	35
4.2	Índice de consistência da argamassa	36
4.3	Resistência à tração na flexão	37
4.4	Resistência à compressão	38
4.5	Resistência de aderência à tração (arrancamento).....	39
4.6	Análise utilizando ferramenta estatística.....	42
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais setores industriais do país e, por este motivo, está em constante evolução, buscando sempre por inovações tecnológicas, redução de resíduos, sustentabilidade, a fim de proporcionar desenvolvimento econômico para o país e bem-estar social para a população, através de obras de infraestrutura e edificações. Rodrigues *et al.* (2011 *apud* Apolinário 2014) diz que o desenvolvimento de novas tecnologias para absorver os rejeitos minimiza o consumo de recursos naturais, de energia, custos e fortalece a competitividade do fabricante no mercado.

O crescimento de tecnologias de reutilização de rejeitos de maneira ambientalmente eficiente e segura é um grande desafio, visto que esse volume apreciável acaba gerando diversas dificuldades relacionadas ao seu armazenamento, manejo, transporte e destinação final, além de ônus para o produtor e problemas ambientais de difícil solução (Apolinário, 2014). Este mesmo autor diz ainda que a reinserção do resíduo de corte de rochas ornamentais na cadeia produtiva constitui-se em uma alternativa para amenizar um sério problema ambiental, podendo também representar uma fonte de matéria-prima alternativa.

Um exemplo comum de atividade geradora de resíduos é a extração e beneficiamento de rochas ornamentais. Muito embora tal atividade promova crescimento econômico no país, há, porém, um grande volume de resíduos gerados, sendo sua reciclagem e uso na construção civil (em compósitos de base cimentícia) uma boa alternativa na mitigação do impacto ambiental e na otimização de soluções visando o desenvolvimento sustentável do setor (Ramos *et al.*, 2013).

Segundo Chaves (2019), o resíduo de granito e mármore é uma adição mineral sugerida como uma alternativa sustentável para a incorporação em matrizes cimentícias, podendo promover coesão e aumento da viscosidade delas. Dessa forma, a escolha do material que será utilizado no processo construtivo deve considerar a racionalização e a mínima geração de resíduos da obra. Além disso, pode também prever o uso de resíduos como um material alternativo, viabilizando seu uso e sua possível contribuição para os custos econômicos da obra (Chaves, 2019).

Reis e Tristão (2007) descrevem o resíduo de granito e de mármore como extremamente fino, o material age como um *filler* preenchendo os vazios na argamassa, contribuindo para melhoria de densidade e aceleração de hidratação do cimento *Portland*. Conforme Gonçalves, *et al.* (2002 *apud* Mendes *et al.* 2020), a adição do resíduo resulta em incremento na coesão e consistência e, conseqüentemente, diminuição da exsudação, em função do efeito das partículas

de pequeno diâmetro difundidas pela mistura, as quais atuam como uma barreira física para o movimento ascendente da água.

O resíduo proveniente do corte de granito e mármore é facilmente encontrado a um custo mínimo e sua utilização em produtos de construção civil pode contribuir para a diminuição desse material como resíduo, o que torna imprescindível o desenvolvimento tecnológico, através da investigação científica para a melhoria do desempenho, das propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade desses materiais (Chaves, 2019).

1.1 Problema de Pesquisa

A construção civil, por ser um setor industrial muito importante e produtivo, também é responsável por uma grande geração de resíduos. Por este motivo, existem vários estudos sobre a utilização de resíduos na produção de artefatos da construção civil. Um produto muito utilizado nos estudos é a argamassa, devido a sua importância para o setor da construção. Pensando em uma forma de aproveitar resíduos, a fim de contribuir com a sustentabilidade, mas também de alcançar parâmetros normativos positivos, como a substituição parcial do cimento *Portland*, no intervalo de 2 a 6%, pelos resíduos de pó de granito e mármore pode influenciar nas propriedades físicas da argamassa?

1.2 Justificativa

No cenário atual é imprescindível que a indústria da construção civil se preocupe com o mercado e com as premissas do desenvolvimento sustentável, visando alternativas de reaproveitamento de resíduos sólidos, reinserindo-os na cadeia produtiva (Apolinário, 2014). Segundo Lucas e Benatti (2008) a reutilização dos resíduos sólidos pode ajudar a reduzir os custos e prejuízos ambientais relativos ao tratamento e/ou disposição final desses resíduos, além de diminuir os impactos ambientais decorrentes da extração de matéria-prima diretamente do ambiente.

De acordo com Moura *et al.* (2002), durante o polimento das rochas naturais, 25% a 30% do material é transformado em pó, sendo que no Brasil, estima-se que sejam geradas 240.000 toneladas/ano de resíduos destas rochas. Este pó é depositado em locais totalmente inapropriados gerando impactos ambientais, visto que não há um direcionamento correto. Chinelatto *et al.* (2015 *apud* Silva *et al.* 2018) afirma que o uso deste resíduo vem sendo analisado para a incorporação em produtos como concretos e argamassas.

As rochas ornamentais obtidas por meio desse beneficiamento estão bastantes presentes na construção civil, por sua beleza, durabilidade, facilidade de conservação e resistência mecânica. Conforme a NBR 15012 (2013) as rochas ornamentais são materiais sujeitos a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, empregado para exercer função estética, como revestimento de pisos, paredes, bancadas e decorações em geral. Alencar (2013) destaca que alguns conceitos podem variar, mas as principais rochas que constituem esse setor são os mármore e os granitos.

Apolinário (2014) afirma em suas conclusões que o resíduo proveniente do corte de granito e mármore pode ser considerado um *filler* de elevada finura, e por este motivo, possui um efeito físico de tamponamento dos poros e de complemento da granulometria, atuando como pontos de nucleação que refletem no aumento da resistência mecânica e do módulo de elasticidade.

Dessa forma, a utilização de resíduos de granito e mármore na construção civil apresenta-se como uma solução sustentável, contribuindo para a redução de impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado desses materiais. Esses resíduos, quando devidamente processados, podem ser incorporados como *fillers* em misturas de concreto e argamassa, preenchendo os espaços vazios entre os agregados. Além disso, existe a possibilidade do resíduo de granito e mármore manter ou até mesmo aumentar a resistência mecânica da argamassa. Por esses motivos, esta pesquisa tem potencial para contribuir com o avanço tecnológico em relação a utilização do pó de granito e mármore em argamassas.

1.3 Teste de hipóteses

Para este trabalho foi analisada a hipótese de que a utilização de pó de granito e mármore (resíduo do processo de corte desses materiais) em substituição parcial do cimento em argamassas de revestimento pode melhorar a sua resistência à tração e à compressão em relação a uma argamassa padrão. O julgamento das hipóteses foi realizado através de uma análise qualitativa com base nas propriedades físicas que foram analisadas ao longo do trabalho. Com base nisto, foram definidas duas hipóteses para o desenvolvimento deste trabalho:

- Hipótese Nula (H0): O resíduo de granito e mármore irá melhorar o desempenho da argamassa;
- Hipótese Alternativa (H1): O resíduo de granito e mármore não irá melhorar o desempenho da argamassa.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é estudar as propriedades físicas e avaliar a performance, através de ensaios de laboratório, de argamassas de revestimento incorporadas com pó de granito e mármore – obtido através do corte e polimento destes materiais – em substituição parcial do cimento *Portland*.

1.4.2 Objetivos Específicos

- i. Caracterizar o pó de granito e mármore para definir parâmetros de comparação;
- ii. Avaliar as propriedades físico-mecânicas no estado fresco e endurecido das argamassas com diferentes teores de pó de granito e mármore;
- iii. Identificar as possíveis vantagens e desvantagens do uso do material em argamassa e nas suas propriedades, comparadas ao traço convencional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Origem e produção de rochas ornamentais

As rochas sempre foram utilizadas pelo ser humano devido a sua resistência, trabalhabilidade e beleza natural que apresentam. Sempre se mostraram como materiais alternativos para construções, principalmente de moradias, templos, armas, ferramentas, sistemas de transporte, sistemas de defesa e aquedutos. Conforme cita Russo (2011), muitos marcos históricos representativos foram feitos com o uso de rochas há várias centenas ou até mesmo milhares de anos, como as pirâmides no Egito, o Coliseu em Roma e a muralha na China.

Segundo Russo (2011) as rochas, de modo geral, são divididas de acordo com a sua origem em rochas ígneas (ou magmáticas), rochas metamórficas e rochas sedimentares. Uma descrição do processo que origina cada tipo de rocha, bem como exemplos de rochas ornamentais representativas de cada grupo são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1. Grupos de rochas ornamentais.

Nomenclatura	Origem	Exemplos (Rochas Ornamentais)
Ígneas ou Magmáticas	Provêm da solidificação do magma. Podem ser originadas no interior da crosta terrestre (plutônicas) ou na superfície (vulcânicas).	Granitos
Metamórficas	Formadas a partir da transformação de rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares através de submissão a parâmetros térmicos, mecânicos e químicos sem ocorrer fusão da rocha.	Mármore
		Gnaisses
		Ardósias
		Quartzitos
Sedimentares	Formadas de materiais originados da decomposição mecânica ou química, desagregação e transporte de outros tipos de rocha.	Arenitos
		Folhelhos
		Calcários
		Travertinos

Fonte: Russo (2011).

Destaca-se o granito, dentre as rochas ígneas, como principal exemplo de aplicação de rocha ornamental. Este possui em média 71,5% de SiO₂. Mais de 2/3 dos feldspatos que constituem os granitos estão na forma de feldspatos potássicos, sendo o teor de quartzo muito alto (rocha ácida). As rochas metamórficas têm suas características dependentes dos minerais presentes na rocha matriz, bem como das características do meio onde ocorreu o processo de metamorfismo (temperatura, pressão e composição química) (Russo, 2011). Algumas características de rochas ornamentais metamórficas, são:

- Gnaiss: constituído de quartzo, feldspato e mica (biotita). Apresenta, normalmente, nítida segregação dos minerais claros e escuros em bandamentos alternados, formando a foliação gnáissica. Além disso, possui grau de metamorfismo de médio a forte e deriva de rochas ígneas ou sedimentares.
- Esteatito (pedra sabão): rocha composta, essencialmente, por talco e clorita com xistosidade pouco pronunciada, originada do metamorfismo de rochas ígneas ultrabásicas.
- Mármore: rocha oriunda da metamorfização dos calcários por recristalização, constituída de calcita e dolomita.
- Quartzito: provêm principalmente do metamorfismo de arenitos.
- Ardósia: rocha de baixo grau de metamorfismo, derivada de argilitos ou siltitos. Pode ser considerada uma transição entre rochas sedimentares e metamórficas.

As rochas sedimentares são oriundas do acúmulo de materiais de outras rochas que as precederam. A formação de uma rocha sedimentar ocorre segundo uma sequência de eventos chamada ciclo sedimentar, em que as etapas básicas são:

- Decomposição das rochas pré-existentes (intemperismo);
- Remoção e transporte dos produtos do intemperismo;
- Deposição dos sedimentos;
- Consolidação dos sedimentos.

2.2 Argamassa

A argamassa é uma mistura homogênea de um ou mais ligantes inorgânicos, agregados miúdos e água, que pode conter fibras, adições e/ou aditivos, com características específicas de desempenho adequadas à utilização (ABNT, 2023). Ainda de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2023), argamassas inorgânicas para revestimento devem atender integralmente a todos os requisitos classificatórios e informativos da norma técnica, independentemente da forma de produção, que podem ser: produzidas em canteiro, industrializadas, estabilizadas, usinadas, prontas para uso ou outras.

Conforme Maciel *et al.* (1998) as argamassas são largamente utilizadas em assentamento e revestimentos aderidos com as funções de proteger os elementos de vedação de agentes agressivos, unir e dar suporte aos elementos de vedação em suas funções, como isolamento térmico e acústico e estanqueidade, bem como regularizar superfícies para acabamentos.

A escolha da argamassa e as especificações dos traços devem ser feitas desde o projeto, considerando todos os fatores que interferem seja direta ou indiretamente em todo o processo de revestimentos ou assentamentos, desde o planejamento até a sua aplicação e utilização (Ceotto *et al.*, 2005).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) os componentes das argamassas possuem características próprias que influenciam no desempenho do conjunto. São utilizados diferentes traços e componentes a depender do objetivo do uso, condições de exposição, tipo de superfície e os equipamentos utilizados.

O manual de revestimentos da ABCP (2002) apresenta as características de dois tipos de argamassas, a mista, composta de cimento e cal e a argamassa de cal. Na argamassa mista, a cal auxilia na capacidade de absorver deformações, trabalhabilidade e hidratação do cimento, já que ela retém água na mistura e apresenta um baixo módulo de elasticidade. Na argamassa de cal ela mesma funciona como aglomerante, dando boa trabalhabilidade e capacidade de

absorver deformações, porém, com uma perda significativa de resistência mecânica e de aderência ao substrato.

Conforme ABNT NBR 13749 (ABNT, 2013), os revestimentos argamassados devem apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: cavidades, fissuras, manchas e eflorescência, devendo ser prevista na especificação de projeto a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerâncias admitidas.

2.3 Cimento

O principal ligante utilizado nos traços de argamassa é o cimento Portland. Consiste em um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Por ser um aglomerante hidráulico, depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais (ABCP, 2002).

Segundo Bauer (2005), a finura é uma característica intimamente ligada à propriedade aglomerante do cimento, pois influi decisivamente na reatividade e na velocidade das reações químicas que se processam durante a pega e o endurecimento. O aumento da finura dos cimentos acarreta um aumento da atividade superficial das partículas na hidratação.

Ainda de acordo com o Boletim Técnico 106 (ABCP, 2002), cimento *Portland*, misturado com água e outros materiais de construção, tais como a areia, a pedra britada, o pó-de-pedra, a cal e outros, resulta nos concretos e nas argamassas usadas na construção de casas, edifícios, pontes, barragens etc.

2.4 Areia

A areia é um sedimento clástico inconsolidado, de grãos em geral quartzosos, cujos diâmetros situam-se entre 0,06 e 2,00 mm (Albuquerque, 2000). De acordo com a NBR 9935 (ABNT, 2011), a areia é um agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou proveniente de processos industriais.

As características importantes para as areias são duas, granulometria e composição mineralógica. Em relação à composição mineralógica, na região sul do país são muito utilizadas areias siliciosas, de origem da decomposição das rochas feldspáticas, conhecidas popularmente como granitos ou gnaisses. Quanto à granulometria, as influências podem ocorrer conforme as dimensões dos grãos, a distribuição granulométrica e a forma dos grãos (Sabbatini, 1986).

Para Souza (2013 *apud* Chaves 2019), na composição das argamassas é necessário adequar a composição granulométrica do agregado miúdo conforme a sua aplicação. Devendo levar em consideração o preenchimento dos vazios existentes na zona de transição agregado miúdo na pasta, pois, a composição da curva granulométrica é um fator relevante na análise do teor de areia e finos da argamassa.

2.5 Cal hidratada

A cal hidratada largamente utilizada na construção civil é considerada um aglomerante aéreo que endurece por secagem e reação com o anidrido carbônico presente no ar. Também é responsável pela capacidade do revestimento em absorver deformações e, por evitar a entrada de água do exterior para o interior da edificação (Dubaj, 2000).

Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003), a cal hidratada é um pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio. Guimarães (2002), explica que a cal hidratada é o resultado do prosseguimento do processo que dá origem à cal virgem.

A reação da cal com água gera um processo químico que dependendo da quantidade de água utilizada é obtido um produto seco ou não, podendo apresentar características que variam entre a cal hidratada e carbonato de cálcio. Coelho (2009) define o final do processo da extinção da cal virgem em um produto que pode ser em forma de pó, pasta ou em calda, também conhecido como leite de cal, bastante utilizado nos processos de caiação de paredes.

Carasek, Cascudo e Scartezini (2001) afirmam em seus trabalhos que as argamassas contendo cal conseguem preencher com mais facilidade e de maneira mais completa toda a superfície do substrato, proporcionando maior extensão de aderência. Além disso, a durabilidade da aderência é proporcionada pela habilidade da cal em evitar fissuras e preencher vazio, dado seu baixo módulo de elasticidade.

2.6 Pó de granito e mármore em argamassas

A busca pela melhor forma de reutilizar resíduos é muito importante no que diz respeito a preocupação ambiental, visto que muitas vezes resíduos são descartados sem nenhum tratamento e em grandes quantidades podem se tornar um risco para o meio ambiente. Dentro

desse contexto, a construção civil tem a chance e a obrigação de buscar meios de aproveitar e reutilizar resíduos que ela mesmo produz, de forma direta ou indireta.

Muitos rejeitos gerados por processos industriais, queimas e beneficiamento de insumos naturais são utilizados como adições minerais na fabricação de novos compósitos, como cimentos, concretos e argamassas. Dentre eles está o pó gerado no processo de corte de rochas ornamentais, como o granito e mármore.

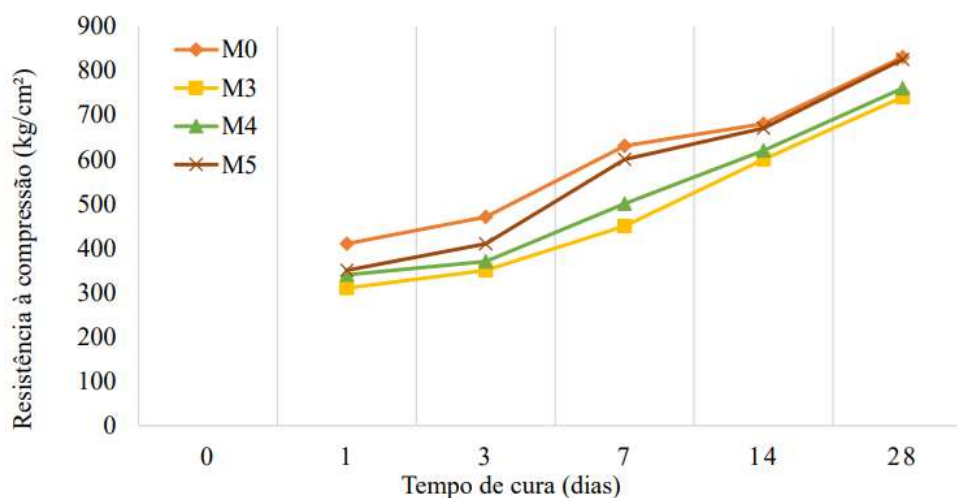
As atividades de extração e beneficiamento de rochas ornamentais são iniciadas nas lavras, onde acontece extração dos blocos de rocha que são encaminhados para o beneficiamento nas serrarias. Esse beneficiamento inclui a serragem dos blocos em chapas, o polimento das chapas e o corte em ladrilhos com dimensões comerciais (Reis e Alvarez, 2007).

Segundo Moura *et al.* (2002 *apud* Marques *et al.* 2021), os resíduos gerados nos processos de beneficiamento das rochas podem apresentar riscos ao meio ambiente, e por isso, devem ser identificadas as possibilidades de utilização desses resíduos. A argamassa à base de cimento *Portland* é um dos materiais compósitos mais utilizados na construção civil, sendo o cimento o material de construção que mais gera poluição de CO₂ ao meio ambiente durante o seu processo de fabricação (Moreno *et al.*, 2022).

Para Mendes (2019), a reciclagem do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais contribui para a diminuição do impacto ambiental causado pelo setor e diminui a necessidade de áreas destinadas à grandes aterros industriais e, dessa forma, permite que o resíduo entre na fabricação de produtos substituindo matérias-primas que podem ser, muitas vezes, não renováveis.

El-Sayed *et al.* (2016 *apud* Moreno *et al.* 2022) substituiu 3, 4 e 5% do peso do cimento por pó de mármore e após os resultados observou que as propriedades do cimento não foram afetadas, devido à alta presença de carbonato de cálcio. Foram realizados ensaios de compressão, com as pastas de cimento endurecidas, nas idades de 1, 3, 7, 14 e 28 dias, notou-se que as resistências aumentaram proporcionalmente a idade de cura de 1 a 28 dias, conforme a Figura 1.

Figura 1. Curvas de resistência à compressão x tempo de cura.

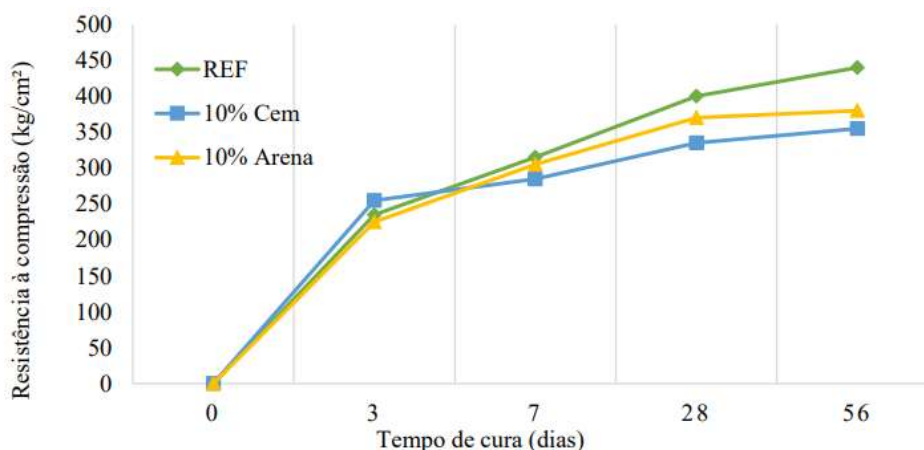


Fonte: Moreno *et al.* (2022).

Corinaldesi, Moriconi e Naik (2010 *apud* Moreno *et al.* 2022) substituíram 10% do cimento de uma amostra de referência por pó de mármore e em outra mistura substituíram 10% do agregado miúdo (areia) da argamassa. Foram moldados 3 corpos de prova prismáticos de 4 x 4 x 16 cm de cada mistura, das quais foram obtidos cubos de 40 mm de lado, para realizar ensaios de compressão aos 3, 7, 28 e 56 dias de cura.

Observa-se através dos resultados obtidos (Figura 2) que a mistura com substituição de 10% de cimento por pó de mármore apresentou maior resistência nos corpos de prova de 3 dias de idade, porém nos corpos de prova de 7, 28 e 56 dias, apresentou resistência inferior em relação as outras misturas. Por outro lado, o pó de mármore utilizado em substituição a 10% de areia obteve maior resistência com os corpos de prova de 56 dias do que a mistura com substituição do pó de mármore por cimento.

Figura 2. Gráfico de resistência à compressão x tempo de cura.



Fonte: Moreno *et al.* (2022).

2.7 Propriedades da argamassa

Para Sabbatini (1986), as argamassas têm como função principal unir solidamente os blocos, distribuir as cargas pela estrutura, absorver as deformações que ocorrem na estrutura e fazer o isolamento para evitar a entrada de água ou qualquer outra impureza. Para isso, devem possuir certas propriedades especificadas em norma.

2.7.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade da argamassa é definida como a facilidade de se aplicar a mesma, sem alterar sua característica, fazendo com que cumpra sua finalidade sem comprometer com a estrutura e o andamento da tarefa. Visto isso é preciso diferenciar a finalidade da aplicação da argamassa, se necessário maior ou menor trabalhabilidade (Recena, 2007).

As características para obter uma boa trabalhabilidade da argamassa alteram conforme o tipo de bloco utilizado. Alvenarias de blocos cerâmicos ou tijolos terão uma argamassa com comportamento diferente em relação à argamassa utilizada para assentar blocos de pedra (Recena, 2007).

Recena (2007) ainda complementa que para executar um assentamento de bloco de pedras onde a junta de argamassa é mais grossa, devido às irregularidades, o excesso de trabalhabilidade deixa a massa muito mole, dificultando o serviço. Já para tijolos maciços, que tem menores dimensões, as juntas costumam ser menores, e a melhor trabalhabilidade da massa ajuda no andamento do processo.

Sabbatini (1986) descreve que a argamassa com utilização de cal preenche os vazios que ficam entre os grãos de areia, melhorando a trabalhabilidade da mistura e ajudando na retenção da água da argamassa.

2.7.2 Durabilidade

Entende-se por durabilidade a capacidade da argamassa atender às necessidades esperadas, de acordo com o projeto, sem causar problemas à estrutura, mantendo a estabilidade química e física, resistindo a situações normais no ambiente em que ela estará exposta. Para condições especiais em que a agressividade seja mais significativa, deve ser feita a utilização de argamassas especiais, dosadas de acordo com a situação na qual será submetida (Recena, 2007).

Durabilidade também pode ser definida como a capacidade da argamassa em atender as funções exigidas em projeto ao longo do tempo. Devem ser observadas as condições em que a estrutura se encontrará ao longo de sua vida útil, para poder especificar os materiais a serem empregados na mistura da argamassa, compatibilizando com a situação em que estará submetida (ABCP, 2002).

2.7.3 Plasticidade

Guimarães (2002) explica que a plasticidade da argamassa é a sua característica de se espalhar com facilidade sem que haja segregação dos materiais ou separação da água. A plasticidade da argamassa depende da finalidade e da aplicação da mesma, e requer uma quantidade ideal de água para que atinja uma ótima consistência. Logo, consistência e plasticidade são fatores importantes para se obter trabalhabilidade (Carasek, 2007).

De acordo com Cincotto (1995), a plasticidade tem influência de acordo com a quantidade de agregados e aglomerados, a adição ou não de aditivos e pela intensidade da mistura.

2.7.4 Retenção de água

Retenção de água é a capacidade da argamassa em manter a água na mistura quando ela entra em contato com os blocos, que tem alto poder de sucção, assim não permitindo que o bloco tire a água da argamassa (Sabbatini, 1986).

As argamassas que têm capacidade de reter água são de extrema importância para dar ao substrato a aderência suficiente para evitar o deslocamento da argamassa, mantendo a estrutura homogênea e compacta (Recena, 2007). O autor ainda complementa que se apresentada uma argamassa que perde água lentamente, ela tem uma melhor cura e aumento gradativo da resistência, evitando problemas de retração e fissuração da estrutura.

A propriedade de manter a retenção de água na argamassa preserva a trabalhabilidade no estado fresco e ajuda a garantir a cura correta para alcançar as características desejadas. Caso a retenção da água não for feita de forma adequada, afetará na argamassa endurecida, prejudicando a durabilidade, resistência mecânica e aderência (Carasek, 2007).

2.7.5 Aderência

De acordo com Recena (2007), uma das principais características para a argamassa é a de aderência ao substrato. Tem como função unir os elementos da alvenaria ou do revestimento, mesmo sofrendo com dilatação térmica, impactos e movimentações.

A resistência à tração entre a argamassa e a base é definida como aderência. Logo, para garantir a boa aderência entre as partes é importante saber das características que a base tem, pois para não haver deslocamento dos materiais, ambas devem interagir (Carasek, 2007).

2.7.6 Resistência mecânica

Resistência mecânica é a capacidade com que os revestimentos suportam esforços de diversas naturezas, que causam tensões internas de cisalhamento, tração e compressão (ABCP, 2002).

Para Recena (2007), o valor da resistência está ligado ao emprego da argamassa e às necessidades de projeto, sendo considerado um importante fator para o controle e avaliação da qualidade.

Conforme a NBR 13281 (ABNT, 2001) para uma argamassa estar em conformidade deve atingir as exigências descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Exigências mecânicas e reológicas para argamassas.

Características	Identificação	Limites	Métodos
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	≥ 80 e ≤ 90	NBR 13277
	Alta	> 90	
Teor de ar incorporado (%)	a	< 8	NBR 13278
	b	≥ 8 e ≤ 18	
	c	> 18	
Exemplo de identificação de argamassa: I-Normal-a.			

Fonte: Adaptado de ABNT (2001).

2.8 Testes estatísticos

Os dados para uma análise estatísticas podem ser obtidos através de alguns métodos distintos. Segundo Nunes (2014) estes métodos são: pesquisa amostral (observação dos dados de um sistema já existente), estudo observacional (os dados são coletados ao longo de um determinado tempo) e experimento.

Neste trabalho foi utilizado o método de experimento. Este método consiste em: um conjunto de técnicas e estratégias que levam à geração dos dados necessários, de modo que seja possível estimar parâmetros relevantes e testar hipóteses estatísticas consideradas necessárias e, dessa forma, resolver problemas importantes em determinada área.

2.8.1 Análise de variância

A análise de variância (ANOVA) é uma ferramenta utilizada para testar a igualdade entre 2 ou mais médias populacionais. Considerando que a variável resposta Y varia de parcela para parcela, sendo este fenômeno o de variabilidade total, a ANOVA tem como principal objetivo verificar as causas dessa variabilidade, sendo que algumas dessas causas acontecem de acordo com o tipo de delineamento que foi adotado ou os tratamentos utilizados no experimento (Nunes, 2014).

Ainda de acordo com Nunes (2014), a análise de variância compreende a variabilidade total – denominada também de fonte de variação – e aos graus de liberdade, à soma de quadrados em torno da média, aos quadrados médios e ao teste F.

2.8.2 Teste de comparação de médias

Existem vários testes para se fazer comparação de médias e cada um deles possui suas características e peculiaridades. Alguns exemplos de testes são: teste de Duncan, teste de Dunnet e teste de Bonferroni. Mas para este trabalho, foi utilizado o teste de Tukey, devido a sua capacidade de controlar as taxas de erro por experimento enquanto preserva o nível de significância.

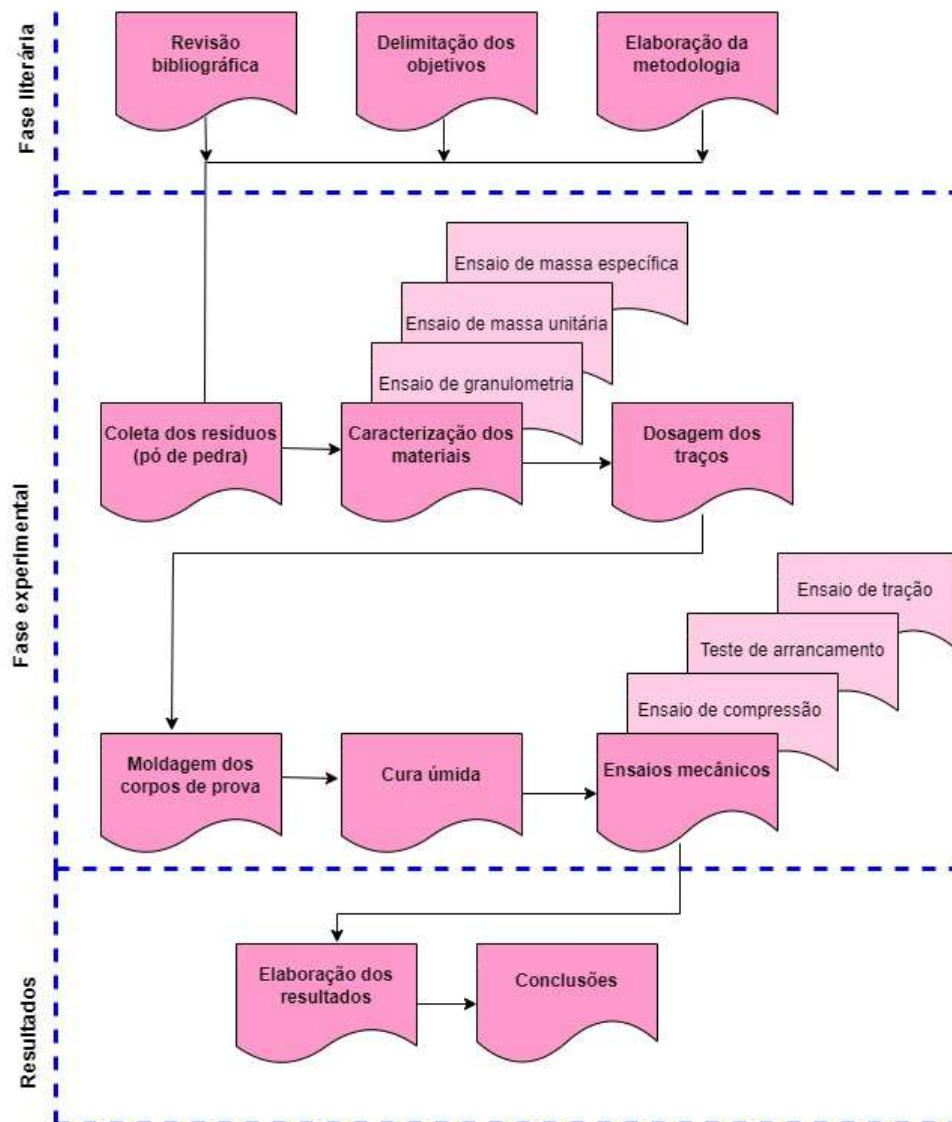
De acordo com Silva (2003), o teste de Tukey pode ser utilizado para comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos, desde que baseado na amplitude total estudentizada (*studentized range*).

3 METODOLOGIA

Este trabalho consiste na realização de uma pesquisa de natureza aplicada, com a forma de abordagem quantitativa, de objetivo geral explicativa e com procedimento técnico experimental. Para a realização deste trabalho foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC ou *One Way*), modelo que utiliza um único fator, ou seja, uma só causa de variação e resíduo na análise de variância.

O fluxograma (Figura 3) a seguir apresenta todas as atividades que foram desenvolvidas durante essa pesquisa.

Figura 3. Fluxograma de atividades desenvolvidas.



Fonte: Autor (2024).

3.1 Coleta e secagem do resíduo (pó de granito e mármore)

O resíduo foi coletado em uma empresa de marmoraria na região norte da cidade de Palmas/TO. A empresa forneceu o material de forma gratuita devido a pequena quantidade que foi retirada do local e pelo motivo de pesquisa acadêmica. No laboratório de materiais do Instituto Federal do Tocantins, o resíduo foi colocado no forno para secagem e após a secagem foi realizado o destorroamento.

Figura 4. Resíduo armazenado para o transporte.



Fonte: Autor (2024).

Figura 5. Resíduo dentro do forno para secagem.



Fonte: Autor (2024).

Figura 6. Processo de destorroamento.



Fonte: Autor (2024).

3.2 Definição de proporção do resíduo

Foram confeccionados corpos de prova para 4 traços de argamassa. O traço 1 (padrão), sem substituição parcial do cimento; o traço 2, com 2% da massa de cimento substituída pelo pó de granito e mármore; o traço 3, com 4% da massa de cimento substituída; e o traço 4, com 6% da massa de cimento substituída pelo pó. Os traços das argamassas com as quantidades de cada material estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Traços das argamassas.

	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	Pó de granito e mármore (g)
Traço 1 (0%)	5000	3680	25550	0
Traço 2 (2%)	4900	3680	25550	100
Traço 3 (4%)	4800	3680	25550	200
Traço 4 (6%)	4700	3680	25550	300

Fonte: Autor (2024).

3.3 Caracterização física e química dos materiais

Foram realizados ensaios de caracterização dos materiais seguindo as instruções da normatização técnica brasileira.

3.3.1 Resíduo – Pó de granito e mármore

O pó de granito e mármore foi submetido aos seguintes ensaios:

- i. Massa específica – NBR 16605 (ABNT, 2017).
- ii. Índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200) - NBR 11579 (ABNT, 2012).

Para caracterização do pó de granito e mármore foi realizado o ensaio de determinação de massa específica, utilizando a seguinte norma: NBR 16605/2017: Cimento *Portland* e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. A Figura 7 a seguir mostra os materiais separados para a realização do ensaio.

Figura 7. Materiais para ensaio de determinação de massa específica.



Fonte: Autor (2024).

Calculando a massa específica do pó de granito e mármore:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Onde:

- ρ é a massa específica do material ensaiado, em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).
- m é a massa do material ensaiado, em gramas (g).
- V é o volume deslocado pela massa do material ensaiado ($V_2' - V_1'$), em centímetros cúbicos (cm^3).

- $V_2' - V_1'$ são os valores corrigidos de V_1 e V_2 , respectivamente, a partir da calibração da escala do frasco volumétrico, em centímetros cúbicos (cm^3).

Outro ensaio realizado foi o de índice de finura, utilizando a norma: NBR 11579/2012: Cimento *Portland* – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200). As imagens da Figura 8 mostram parte do ensaio sendo realizado. O resultado do ensaio foi obtido através da fórmula que está demonstrada a seguir.

Figura 8. Determinação do índice de finura do material pulverulento.



Fonte: Autor (2024).

Calculando o índice de finura do pó de granito e mármore:

$$F = \frac{R \cdot C}{M} \times 100$$

Onde:

- F é o índice de finura do pó de granito e mármore, em porcentagem (%).
- R é o resíduo do material na peneira 75 μm , em gramas (g).
- C é o fator de correção da peneira utilizada no ensaio, determinado de acordo com o disposto na EB-22, devendo estar compreendido no intervalo de $1,00 \pm 0,20$.
- M é a massa inicial do cimento, em gramas (g).

3.3.2 Cimento

O cimento utilizado foi o CP II E 32 e de acordo com as especificações do fabricante, a massa específica absoluta tem o valor de: $2,8 \leq \mu \leq 3,2 \text{ g/cm}^3$. E a massa específica aparente tem o valor de $1,2 \text{ g/cm}^3$.

3.3.3 Areia

A areia utilizada foi cedida pelo IFTO e estava disponível nas baias de materiais próximo aos laboratórios de engenharia. Para confecção dos traços de argamassa foi utilizado areia média e areia fina. O seguinte ensaio foi realizado:

- i. Massa específica da areia – NBR 16916 (ABNT, 2021):

O resultado do ensaio foi: $\mu = 2,63 \text{ g/cm}^3$

3.4 Confecção dos corpos de prova prismáticos

Os corpos de prova prismáticos foram confeccionados nas dimensões de 4cm x 4cm x 16cm (dimensões internas da fôrma), conforme Figura 9.

Figura 9. Forma prismática.



Fonte: Didática SP (2022).

Foram 6 corpos de prova para cada um dos 4 traços, totalizando 24 corpos de prova. Todas as etapas desse processo experimental foram executadas nos Laboratórios de Materiais e de Solos do Instituto Federal do Tocantins – campus Palmas. A Figura 10 a seguir mostra os corpos de prova do traço 1 (0%) após desforma. A cura úmida (por imersão) foi feita por 28 dias para todos os corpos de prova, seguindo as instruções da NBR 13279 (ABNT, 2005).

Figura 10. Corpos de prova prismáticos.



Fonte: Autor (2024).

3.5 Execução do reboco

O reboco foi executado em uma pequena parede localizada na parte externa do Laboratório de Materiais do IFTO. Foram rebocadas 5 áreas (45x55cm), sendo uma delas apenas para testar um traço de argamassa. Na Figura 11 a seguir, pode-se observar, da esquerda para a direita, o traço teste, o traço 4 (6%), o traço 1 (0%), o traço 3 (4%) e o traço 2 (2%).

Figura 11. Reboco em parede.



Fonte: Autor (2024).

3.6 Realização dos testes físicos e mecânicos

Foram realizados os seguintes testes:

- i. Determinação do índice de consistência da argamassa (Figura 12) de acordo com a NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência (ABNT, 2016).
- ii. Testes de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão (Figura 13) de acordo com a NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT, 2005).
- iii. Ensaio de arrancamento da argamassa de acordo com a NBR 13528: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração (ABNT, 2019).

Para o ensaio de determinação do índice de consistência da argamassa, a mesa precisa estar limpa e seca, então foi colocado o molde troncônico no centro da mesa e preenchido com 3 camadas de argamassa, de alturas aproximadamente iguais. Em cada camada deve-se aplicar golpes com o soquete, sendo 15 golpes na primeira, 10 na segunda e 5 na terceira. O rasamento da argamassa deve ser feito com uma régua metálica. Após isso o molde é retirado verticalmente e devem ser aplicados 30 golpes (quedas) na mesa. Após a última queda é necessário medir o espalhamento da argamassa através de 3 diâmetros diferentes.

Os testes de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão foram realizados através da aplicação de um carregamento sobre os corpos de prova com o auxílio de um dispositivo acoplado a prensa. Inicialmente, o corpo de prova é submetido ao ensaio de tração na flexão e, após a ruptura, o mesmo corpo de prova (divido ao meio) é submetido ao ensaio de compressão. A utilização do mesmo corpo de prova para os dois ensaios garante uma maior eficiência na obtenção dos resultados.

Por fim, o ensaio de arrancamento (resistência de aderência à tração) foi realizado no reboco aplicado na parede. A distribuição dos corpos de prova no painel revestido deve ser feita de forma aleatória, contemplando arrancamentos em juntas e blocos. Após a marcação dos pontos deve ser realizado o corte circular até a superfície do substrato. Em seguida deve ser realizada a colagem das pastilhas e por último a utilização do dinamômetro para aplicar o esforço de tração perpendicular ao corpo de prova até a ruptura.

As figuras a seguir são referentes aos ensaios citados anteriormente.

Figura 12. Ensaio de determinação do índice de consistência (*flow table test*).



Fonte: Autor (2024).

Figura 13. Ensaio de resistência à tração na flexão e resistência a compressão.



Fonte: Autor (2024).

3.7 Análise dos dados

Na busca pela precisão e confiabilidade dos resultados experimentais, é essencial adotar critérios rigorosos na interpretação dos dados. Uma prática comum e eficaz é descartar a resposta experimental que se distancia significativamente da média dos resultados obtidos. Essa abordagem visa minimizar os efeitos de eventuais outliers ou erros experimentais que possam distorcer a análise. Ao eliminar essas discrepâncias, a análise torna-se mais precisa e confiável, permitindo uma interpretação mais precisa dos fenômenos estudados.

Diante disto, foi descartada a resposta experimental que tem maior distância da média (o menor ou maior valor) em cada um dos 4 traços. Foram descartados os resultados dos mesmos corpos de prova dos ensaios de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão.

Os dados obtidos após os ensaios de resistência mecânica foram analisados com o auxílio de planilhas eletrônicas elaboradas no *software* Excel. Os testes estatísticos utilizados foram:

- i. Análise de variância (ANOVA): é uma fórmula estatística utilizada para comparar variância entre médias de grupo diferentes. Com isso, é possível descobrir se, estatisticamente, duas médias (de grupos diferentes de dados) são iguais ou não.
- ii. Comparação de média (teste de Tukey): esse teste serve como um complemento para a análise de variância, pois ele permite a comparação entre as diferentes médias que a ANOVA tenha encontrado.

Para realizar a análise de variância, os valores foram lançados no Excel e submetidos a ferramenta de ANOVA do próprio *software*. Caso seja constatado que há diferença entre as médias dos resultados de resistência, tanto nos resultados de tração na flexão, quanto nos de compressão. Faz-se necessário a utilização do teste de comparações múltiplas, o teste de Tukey.

Para a realização do teste de Tukey foi necessário inicialmente encontrar a diferença mínima significativa (DMS), dada pela seguinte fórmula:

$$\Delta = q \frac{s}{\sqrt{r}}$$

Onde:

- Δ é a diferença mínima significativa (DMS).
- q é o valor da amplitude total estudentizada, no nível de 5% de probabilidade.
- s é o desvio padrão residual.
- r é o número de repetições com que as médias foram calculadas.

Após isso, foi realizada a comparação do resultado da diferença entre as médias dos traços com o valor de DMS. Caso a diferença entre duas médias (contraste) seja maior do que o valor de DMS, conclui-se que essas médias são diferentes, caso a diferença seja menor, é possível afirmar que essas médias são, estatisticamente, iguais.

4 RESULTADOS

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos durante a execução deste trabalho, bem como a análise desses resultados, utilizando tabelas, quadros e ferramentas de estatística, conforme estabelecido anteriormente.

4.1 Caracterização do pó de granito e mármore

O ensaio de determinação da massa específica é um parâmetro para caracterizar um material e pode ser importante para alguns motivos, como: assegurar o controle de qualidade, auxiliar na determinação de proporções de misturas, prever tipo de comportamento do material e entender a compatibilidade com outros materiais. O resultado para este ensaio foi:

$$\rho = \frac{50}{20,1 - 0,7}$$

$$\rho = 2,58 \text{ g/cm}^3$$

Para fins de comparação, alguns materiais em pó apresentam resultados de massa específica próximos, como por exemplo: cimento entre 2,8 e 3,2 g/cm³; cinzas volantes entre 2,0 e 2,8 g/cm³; *filler* calcário entre 2,6 e 2,8 g/cm³.

O índice de finura é a relação entre a massa do resíduo (pó de granito e mármore), cujas dimensões de grãos são superiores a 75 µm (fração retida na peneira), e a massa total. O resultado para este ensaio foi:

$$F = \frac{17,26 \cdot 0,80}{50,12} \times 100$$

$$F = 27,57\%$$

Para um material que funciona como um filler, partículas finas ajudam a preencher os vazios entre os agregados de forma mais eficiente, melhorando a trabalhabilidade e a compactidade da mistura.

4.2 Índice de consistência da argamassa

Os traços de argamassa foram submetidos ao ensaio de índice de consistência de argamassa e os resultados estão dispostos na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Índice de consistência da argamassa.

Diâmetros (mm)	Traço 1 (0%)	Traço 2 (2%)	Traço 3 (4%)	Traço 4 (6%)
Diâmetro 1	240	255	245	240
Diâmetro 2	245	255	250	240
Diâmetro 3	230	260	245	235
Média (mm)	238	257	247	238
Desvio Padrão Amostral (mm)	7,64	2,89	2,89	2,89
Variância Amostral (mm) ²	58,33	8,33	8,33	8,33
Coefficiente de Variação (%)	3,20	1,12	1,17	1,21

Fonte: Autor (2024).

Analizando os resultados obtidos no ensaio, é possível observar que os traços 2 e 3 atingiram índice de consistência superior em relação aos traços 1 e 4. Visto que o índice de consistência da argamassa influencia diretamente na trabalhabilidade e na aplicação do material, é possível dizer que em relação ao índice de consistência da argamassa, os traços 2 e

3 possuem uma melhor trabalhabilidade em relação aos traços 1 e 4. Destaca-se principalmente o traço 2 (2%), já que alcançou a maior média dos diâmetros de espalhamento, garantindo assim maior fluidez e trabalhabilidade para a argamassa em relação aos outros traços.

Para comparação de resultados, a NBR 13276/2005 apresenta um valor que pode ser usado como parâmetro para o índice de consistência que é de 260 ± 5 mm. Este não é um valor absoluto, mas pode ser usado como base de interpretação. A versão mais recente da norma (ano de 2016) não especifica um diâmetro exato como parâmetro.

4.3 Resistência à tração na flexão

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à tração na flexão e os resultados estão dispostos na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4. Resistência à tração na flexão.

CP	Traço 1 (0%)	Traço 2 (2%)	Traço 3 (4%)	Traço 4 (6%)
1	2,80	2,90	2,60	2,60
2	2,80	2,90	2,50	2,60
3	3,00	2,80	2,60	2,70
4	2,80	2,70	2,80	2,40
5	2,90	2,80	2,90	2,60
Média (MPa)	2,86	2,82	2,68	2,58
Desvio Padrão Amostral (MPa)	0,09	0,08	0,16	0,11
Variância Amostral (MPa) ²	0,01	0,01	0,03	0,01
Coefficiente de Variação (%)	3,13	2,97	6,13	4,25

Fonte: Autor (2024).

Conforme a Tabela 4, observa-se que o maior valor médio de resistência à tração na flexão foi alcançado pelo Traço 1 (traço padrão) e o menor valor médio foi alcançado pelo Traço 4 (6%). É possível observar também que os desvios padrão mantiveram valores próximos, até mesmo no Traço 3 que teve desvio padrão de 0,16 MPa, resultando em um coeficiente de variação de 6,13%.

As médias de resistência à tração na flexão observadas nos quatro traços apresentam uma tendência decrescente, a partir do traço 1 (traço padrão) até o traço 4 (6%). É possível que esse fato esteja associado ao aumento das porcentagens de substituição do cimento, visto que o pó de granito e mármore, apesar de ser um material fino, não oferece a mesma capacidade de ligação e resistência que o cimento. Assim, é plausível dizer que os resultados, nesse ensaio, indicam uma correlação entre a proporção de substituição do cimento e a resistência final dos

corpos de prova, visto que, a medida que a quantidade de pó de granito e mármore aumenta, a resistência diminui.

4.4 Resistência à compressão

Após a realização do ensaio de resistência à tração na flexão, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão. Os resultados estão dispostos na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5. Resistência à compressão.

CP	Traço 1 (0%)	Traço 2 (2%)	Traço 3 (4%)	Traço 4 (6%)
1	6,51	9,11	8,25	6,83
2	6,52	7,61	8,59	6,75
3	7,08	8,03	7,48	7,19
4	5,66	8,58	8,45	7,46
5	5,17	8,25	8,60	7,42
Média (MPa)	6,19	8,32	8,27	7,13
Desvio Padrão Amostral (MPa)	0,76	0,57	0,47	0,33
Variância Amostral (MPa) ²	0,58	0,32	0,22	0,11
Coefficiente de Variação (%)	12,32	6,81	5,63	4,60

Fonte: Autor (2024).

Na tabela 5, nota-se que o maior valor médio de resistência à compressão foi atingido pelo Traço 2 (2%) e o menor valor médio foi atingido pelo Traço 1 (0%). Observa-se que os valores dos desvios padrão foram maiores no Traço 1 e no Traço 2, consequentemente os coeficientes de variação atingiram valores um pouco maiores de 12,32% e 6,81%, respectivamente.

Diferentemente dos resultados de resistência à tração na flexão, as médias de resistência à compressão não seguem uma tendência decrescente. Os resultados mais significativos dos traços 2 e 3 podem estar relacionados ao fato de que a quantidade de cimento substituído por pó de granito e mármore nas proporções de 2% e 4% preenchem de forma mais eficaz os vazios da argamassa, devido a sua finura (funciona como um *filler*). O traço 4 (6%) também obteve resistência superior em relação ao traço padrão (traço 1) e, por isso, é possível afirmar que os traços com adição alcançaram resultados satisfatórios no que diz respeito a resistência à compressão.

4.5 Resistência de aderência à tração (arrancamento)

A argamassa de revestimento (reboco) foi submetida ao ensaio de resistência de aderência à tração e os resultados estão dispostos na tabela a seguir.

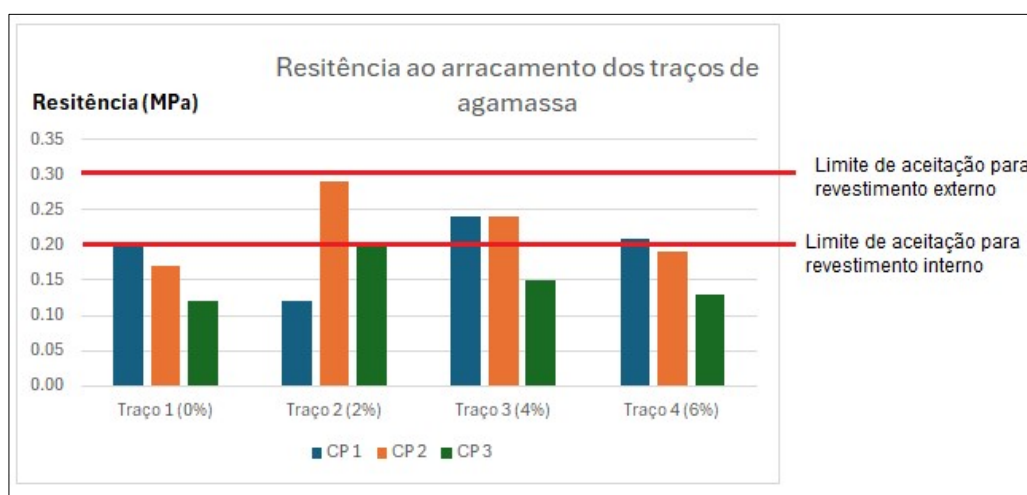
Tabela 6. Resistencia de aderência à tração.

CP	Traço 1 (0%)	Traço 2 (2%)	Traço 3 (4%)	Traço 4 (6%)
1	0,20	0,12	0,24	0,21
2	0,17	0,29	0,24	0,19
3	0,12	0,20	0,15	0,13
Média (MPa)	0,16	0,21	0,21	0,18
Desvio Padrão Amostral (MPa)	0,04	0,085	0,053	0,043
Variância Amostral (MPa) ²	0,002	0,007	0,003	0,002
Coefficiente de Variação (%)	24,78	41,38	25,23	23,94

Fonte: Autor (2024).

Observa-se, pela tabela 6, que os maiores valores médios de resistência de aderência à tração foram dos traços 2 e 3 (0,21 MPa em ambos), logo depois o traço 4 (com 0,18 MPa) e por último o traço 1 (com 0,16 MPa). Novamente o traço 4 apresentou resistência superior ao traço padrão, evidenciando que os valores de resistência de aderência à tração foram satisfatórios para os traços com adição. Nota-se, também, que os valores de desvio padrão e de coeficiente de variação foram maiores, em comparação com os encontrados nos dois tópicos anteriores. Um dos possíveis motivos para que isso tenha ocorrido é o número de corpos de prova. A Figura 14 mostra a comparação dos valores de potencial de aderência de cada corpo de prova com os limites para revestimento interno e externo, conforma NBR 13749/2013.

Figura 14. Resistência ao arrancamento e limites estabelecidos por norma.



Fonte: Autor (2024).

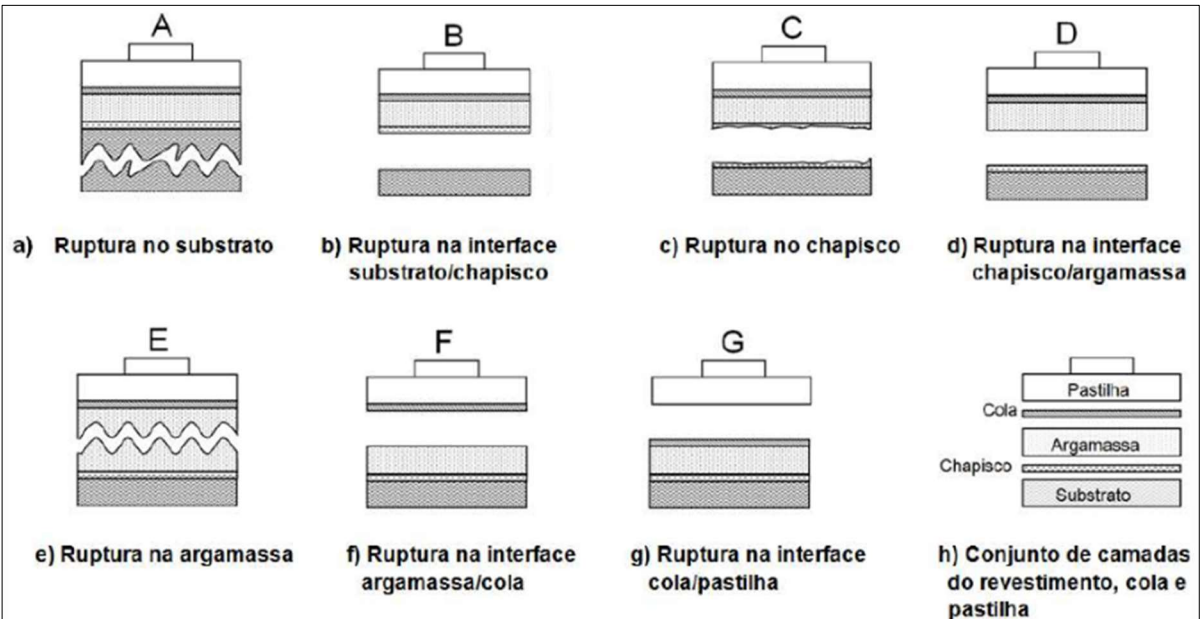
As figuras a seguir mostram alguns dos corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de resistência de aderência à tração (Figura 15) e as formas de ruptura de acordo com a norma técnica (Figura 16).

Figura 15. Corpos de provas de ensaio de arrancamento.



Fonte: Autor (2024).

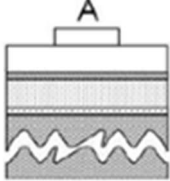
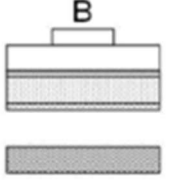
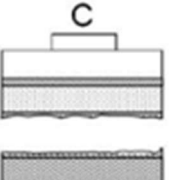
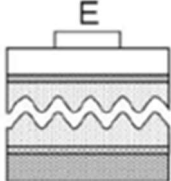
Figura 16. Formas de ruptura em um sistema de revestimento com chapisco.



Fonte: NBR 13528 (2019).

No Quadro 2 estão apresentadas as formas de ruptura reais do ensaio de resistência de aderência à tração que foi realizado neste trabalho, bem como as formas de ruptura correspondentes da NBR.

Quadro 2. Comparativo das formas de ruptura do ensaio de arrancamento com a NBR.

Formas de ruptura do ensaio de arrancamento	Formas de ruptura segundo a NBR 13528 (2019)	Discussão
	 Ruptura no substrato	A ruptura no substrato indica que, nessa área, há aderência suficiente tanto entre o reboco e o chapisco, quanto entre o chapisco e o substrato, fazendo com que o próprio substrato sofra a ruptura.
	 Ruptura na interface substrato/chapisco	A ruptura na interface substrato/chapisco indica que, nessa área, há aderência suficiente entre o reboco e o chapisco, mas não entre o chapisco e o substrato, fazendo com que a ruptura ocorra na interface substrato/chapisco. É possível observar os detalhes do desenho do bloco cerâmico no corpo de prova.
	 Ruptura no chapisco	A ruptura no chapisco indica que, nessa área, há aderência suficiente tanto entre o reboco e o chapisco, quanto entre o chapisco e o substrato, mas a resistência do chapisco não supera a do reboco, fazendo com que a ruptura ocorra no próprio chapisco.
	 Ruptura na argamassa	A ruptura na argamassa indica que, nessa área, o reboco possui resistência inferior em relação ao restante do sistema.

Fonte: Autor (2024).

As formas de ruptura que mais ocorreram no ensaio foram: ruptura na interface substrato/chapisco (B) e ruptura no chapisco (C). Tendo em vista que essas foram as formas de ruptura mais frequentes, é possível dizer que houve uma boa aderência da argamassa de reboco com o chapisco e que a argamassa de reboco apresentou resistência mecânica satisfatória. As

formas de ruptura na interface chapisco/argamassa (D), ruptura na interface argamassa/cola (F) e ruptura na interface cola/pastilha (G) não ocorreram durante o ensaio.

4.6 Análise utilizando ferramenta estatística

Para analisar os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão foram utilizadas as ferramentas estatísticas de: análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey.

Após a realização da análise de variância, foi constatado que há diferença entre as médias dos resultados de resistência, tanto nos resultados de tração na flexão, quanto nos de compressão. Em consequência disso, fez-se necessário a utilização do teste de comparações múltiplas, o teste de Tukey.

Para os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, a diferença mínima significativa (DMS) foi de: 0,2104 MPa, conforme mostra o Quadro 3.

Quadro 3. Teste de Tukey para os resultados do ensaio de tração na flexão.

Médias	Traço 1 (0%)	Traço 2 (2%)	Traço 3 (4%)	Traço 4 (6%)	Código
Traço 1 (0%) 2,86 MPa	—	—	—	—	A
Traço 2 (2%) 2,82 MPa	0,04	—	—	—	A
Traço 3 (4%) 2,68 MPa	0,18	0,14	—	—	AB
Traço 4 (6%) 2,58 MPa	0,28*	0,24*	0,10	—	B

Fonte: Autor (2024).

De acordo com os códigos encontrados no Quadro 4, é possível dizer que as médias dos traços 1, 2 e 3 são iguais entre si, assim como as médias dos traços 3 e 4 também são iguais. Apenas o traço 4 difere-se dos traços 1 e 2.

Para os resultados do ensaio de resistência à compressão, a diferença mínima significativa (DMS) foi de: 1,0032 MPa, conforme mostra o Quadro 4.

Quadro 4. Teste de Tukey para os resultados do ensaio de compressão.

Médias	Traço 2 (2%)	Traço 3 (4%)	Traço 4 (6%)	Traço 1 (0%)	Código
Traço 2 (2%) 8,32 MPa	—	—	—	—	A
Traço 3 (4%) 8,27 MPa	0,05	—	—	—	A
Traço 4 (6%) 7,13 MPa	1,19*	1,14*	—	—	B
Traço 1 (0%) 6,19 MPa	2,13*	2,08*	0,94	—	B

Fonte: Autor (2024).

Observa-se, através dos códigos encontrados no Quadro 5, que os traços 2 e 3 possuem médias iguais entre si, mas diferentes dos traços 1 e 4. Da mesma forma que os traços 1 e 4 também possuem médias iguais entre si, mas diferentes em relação as médias dos traços 2 e 3.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A incorporação de resíduo de granito e mármore na argamassa de revestimento como forma de substituição parcial do cimento, foi realizada com o intuito de reaproveitar um recurso que seria descartado pela indústria (da construção civil). O material foi avaliado em laboratório, com o auxílio de ensaios e testes e, a partir disso, foram obtidos resultados que mostraram a sua eficácia.

Tendo em vista os resultados dos ensaios mecânicos, as proporções de pó de granito e mármore não comprometeram negativamente as resistências das argamassas incorporadas quando comparadas a resistência do traço padrão, além disso, em alguns dos ensaios, o traço com adição de resíduo ainda obteve resistência superior ao traço padrão. É possível afirmar então que a utilização desse resíduo é benéfica em relação à visão sustentável, visto que a utilização desse material pode diminuir o descarte de resíduos no meio ambiente e ainda manter os resultados esperados de desempenho. Contudo, este estudo não consegue satisfazer todos os pontos necessários para comprovar a eficácia ou a viabilidade total da utilização desse resíduo na construção civil, mas no que diz respeito aos objetivos estabelecidos no presente trabalho, o uso do pó de granito e mármore em argamassas de revestimento, é satisfatório.

Os resultados permitiram avaliar a influência dos finos provenientes do processo de corte do mármore e do granito nas propriedades das argamassas para revestimento. Sua incorporação

demonstrou ser uma possível solução para minimização de impactos ambientais, com grande potencial para uso na indústria da construção civil. Todos os traços de argamassa com adição de pó de granito e mármore apresentaram, de modo geral, resultados satisfatórios e positivos, contudo vale ressaltar que o maior destaque foi para a argamassa com adição de 2% de resíduo, pois apresentou melhor conjunto de propriedades em relação aos demais traços.

O teste de hipóteses é uma ferramenta importante para pesquisa científica, pois auxilia na conclusão de um conjunto de resultados ou de dados apresentados. Tendo isto em vista, a hipótese que satisfaz os resultados apresentados neste trabalho é a hipótese nula (H_0), em que o resíduo de granito e mármore melhorou o desempenho da argamassa, seja no quesito desempenho mecânico ou na busca pelo reaproveitamento de resíduos.

Mesmo que os objetivos estabelecidos neste trabalho tenham sido atendidos de forma satisfatória, existem outras possibilidades e outros questionamentos a cerca deste tema que podem ser abordados em outros estudos. Dessa forma, recomenda-se para trabalhos futuros a utilização de diferentes porcentagens de pó de granito e mármore em substituição do cimento, bem como a possibilidade do pó de granito e mármore substituir parcialmente o agregado miúdo (areia), tendo em vista a sua capacidade de preencher vazios. Por fim, outra sugestão é a utilização deste resíduo em diferentes aplicações dentro da construção civil, como: concretos, pisos intertravados e outros tipos de argamassas.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. S. Agregados. In: BAUER, L. A. F. (Coord.). **Materiais de Construção I**. 5ª ed revisada. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2000. cap.4.

APOLINÁRIO, E. C. A. **Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (rcmg) nas propriedades de argamassas de cimento Portland**. Dissertação de mestrado. Salvador, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland (Boletim Técnico BT – 106)**. 7ª ed. São Paulo, 2002.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7221: Agregado — Índice de desempenho de agregado miúdo contendo impurezas orgânicas — Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579: Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-1: Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaio. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-1: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-2: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 2: Aderência ao substrato.** Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BAUER, E. **Revestimento de argamassa: características e peculiaridades.** 1ª ed. Brasília: LEM-UnB, Sinduscon, 2005.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.** IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001.

CEOTTO, L.H.; BANDUK, R.C.; NAKAMURA, E. **Revestimentos de argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação.** Porto Alegre: ANTAC, 2005.

CHAVES, P. S. **Argamassa autonivelante com adição mineral (fíler) de resíduo de beneficiamento de mármore e granito.** Dissertação de mestrado. Belém, 2019.

CHINELATTO, A. S. A.; CHINELATTO, A. L.; FERREIRA, D. E. M.; GRALIK, G. **Estudo da viabilidade do uso de resíduo de polimento de rochas ornamentais em porcelanas.** In: Revista Matéria, v. 20 n. 4. p. 1075-1086, junho. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v20n4/1517-7076-rmat-20-04-01075.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2022.

CINCOTTO, M. A.; CAMARINI, G. **Desempenho de misturas cimento Portland e escória de alto-forno submetidas à cura térmica.** 1995.

COELHO, A. Z. G.; TORGAL F.P.; JALALI, S. **A Cal na Construção.** TecMinho. Lisboa: Publidisa, 2009.

CORINALDESI, V.; MORICONI, G.; NAIK, T. R. **Caracterização de pó de mármore para utilização em argamassas e concretos.** Construção e materiais de construção, 2010, 24.1: 113-117.

DIDÁTICA ARTIGOS PARA LABORATÓRIO LTDA. **Didática SP,** 2022. Disponível em <<https://www.didaticasp.com.br/forma-prismatica-para-argamassa-4x4x16cm-tripla>>. Acesso em: 1 de setembro 2022.

DUBAJ, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassas de revestimento utilizadas em Porto Alegre.** Dissertação de mestrado. Porto Alegre, 2000.

EL-SAYED, H. A.; FARAG, A. B.; KANDEEL, A. M.; YOUNES, A. A.; YOUSEF, M. M. **Characteristics of the marble processing waste at Shaq El-Thoaban industrial area, Egypt, and its suitability for cement manufacture.** HBRC Journal. 2016.

FONTES, M. P. F. **Introdução ao estudo de minerais e rochas.** Viçosa, Imprensa Universitária da UFV. 1984, 23p.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; DAL MOLIN, D. C. C. **Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 53-68, jan./mar. 2002.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil.** 2ª ed. São Paulo: Pini, 2002.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. **Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil.** Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v. 1, n.3, p. 405-418, set./dez. 2008.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos.** São Paulo, 1998.

MARQUES, M. V. D.; SANTOS, R. R.; CRUZ, C. P. T. **O Panorama dos Resíduos de Corte de Mármore e Granito no Cenário Atual da Construção Civil.** Brazilian Journal of Development, Curitiba. 2021.

MENDES, G. A. **Dosagem de argamassa autonivelante com adição de resíduos do corte de mármore e graníticos (rcmg): análise das propriedades físicas e mecânicas.** Dissertação de mestrado. Joinville, 2019.

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

MORENO, A.; PONCE, C.; MÚZQUIZ, E.; AVALOS, F. **Resíduos de mármore em materiais de construção: uma revisão do uso do pó de mármore em argamassas, concreto e tijolos.** Revista ALCONPAT. p. 162 – 183. 2022.

MOURA, W. A.; GONÇALVES, J. P.; LEITE, R. S. **Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso.** Sitientibus, v. 26, n. 1, 2002.

MOURA, W. A.; LEITE, M. B. **Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação.** Revista Escola de Minas, v. 64, n. 02, p. 147-154. 2012.

NUNES, B. B. **Diagnóstico em análise de experimentos.** Relatório de estágio supervisionado. Brasília, 2014.

RAMOS, T.; MATOS, A. M.; SCHMIDT, B.; RIO, J.; SOUSA-COUTINHO, J. **Granitic quarry sludge waste in mortar: effect on strength and durability**. Construction and Building Materials, v. 47, p. 1001-1009, out. 2013.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

REIS, A. S.; ALVAREZ, C. E. **A Sustentabilidade e o Resíduo Gerado no Beneficiamento das Rochas Ornamentais**. IV encontro nacional e II encontro latino-americano sobre edificações e comunidades sustentáveis, Campo Grande, 2007. p. 511 – 520.

REIS, A. S.; TRISTÃO, F. A. **Análise de argamassas com resíduo de corte de rochas ornamentais**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2., Lisboa, 2007. Anais [...] Lisboa, 2007.

RODRIGUES, G. F.; ALVES, J. O.; TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. **Estudo de resíduos de rochas ornamentais para a produção de materiais vítreos**. Tecnologia em Metalurgia e Materiais. São Paulo, v. 8, p. 203-207, 2011.

RUSSO, M. L. C. **Reciclagem de resíduo gerado na extração de quartzito**. 2011. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente**. Boletim técnico 02/86. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

SILVA, W. **O teste de Tukey no software R: uma nova abordagem via linguagem C++**. Monografia de conclusão de curso. Lavras, 2003.

SILVA, L. S.; NOGUEIRA, M. H. P.; LIMA, G. K. M.; CIPRIANO, F. S.; BATISTA, N. J. S. **Incorporação de resíduos de polimento de placas de mármore e granito em argamassas colantes industrializadas AC-I**. Revista de ciência e tecnologia, v. 4, n. 7. Belém, 2018.

SOUZA, N. C. **Análise de desempenho do contrapiso autonivelante em relação ao sistema convencional**. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte, 2013.