

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN
MESTRADO EM DESIGN**

FERNANDO NOGUEIRA GEISTEIRA DE MOURA

A VALSA DAS MÃOS QUE MOLDAM E DÃO VIDA: Avaliação de compósito
cerâmico com resíduo de rochas ornamentais

**SÃO LUÍS
2025**

FERNANDO NOGUEIRA GEISTEIRA DE MOURA

A VALSA DAS MÃOS QUE MOLDAM E DÃO VIDA

Avaliação de compósito cerâmico com resíduo de rochas ornamentais

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Maranhão, como requisito das exigências do Programa de Pós-Graduação em Design – PPGDg, para obtenção do título de Mestre em Design.

Linha de Pesquisa: Design - Materiais, Processos e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Denilson Moreira Santos.

SÃO LUÍS

2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Nogueira Geisteira de Moura, Fernando.

A VALSA DAS MÃOS QUE MOLDAM E DÃO VIDA: Avaliação de compósito cerâmico com resíduo de rochas ornamentais / Fernando Nogueira Geisteira de Moura. - 2025.
117 f.

Orientador(a): Denilson Moreira Santos.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Design/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Cerâmica. 2. Identidade. 3. Resíduo de Rochas. 4. Sustentabilidade. 5. Design. I. Moreira Santos, Denilson. II. Título.

FERNANDO NOGUEIRA GEISTEIRA DE MOURA

A VALSA DAS MÃOS QUE MOLDAM E DÃO VIDA: Avaliação de compósito
cerâmico com resíduo de rochas ornamentais

Aprovada em: 03/10/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Denilson Moreira Santos (UFMA) - Orientador
Doutor em Química (UNESP)

Prof^a. Dr^a. Ana Lucia Alexandre de Oliveira Zandomeneghi (UFMA)
Pós - Doutora em Engenharia e Gestão de Conhecimento (UFSC)

Prof^a. Dr^a. Ivana Márcia Oliveira Maia (UFMA)
Pós - Doutora em Engenharia Mecânica (UFU)

Prof^a. Dr^a. Rafaela Nunes Mendonça
Doutora em Design (UNESP)

Dedico este trabalho aos meus pais, Cláudio e Rosita.

AGRADECIMENTOS

A Deus, à Nossa Senhora e a São José, pela companhia durante todo o caminho e por todas as graças alcançadas que me permitiram a conclusão desta pesquisa.

Aos meus pais, Cláudio e Rosita, que sempre me incentivaram no caminho acadêmico, mesmo quando precisei mudar de cidade e morar distante deles. Mas, continuam se fazendo presentes sempre que possível, para que a saudade não aperte muito.

Aos meus irmãos, Cláudio Filho e Gustavo, por cuidarem tão bem dos nossos pais, se fazerem presentes quando possível e me deixarem com a consciência tranquila para seguir o meu sonho em outro estado.

Aos meus amigos, Dalton Arruda e Polyana Dominici, pela companhia ao longo dessa jornada e, mesmo diante das grandes demandas profissionais, sem as quais este trabalho não seria possível, sempre me estimularam no meio acadêmico.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Denilson, que de maneira muito especial tem sido um verdadeiro anjo na minha vida, por toda sua paciência no meio da minha ansiedade, e toda sua colaboração intelectual que me inspira a seguir cada vez mais a jornada acadêmica.

Aos professores que compõem o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Design - PPGDg/UFMA, pelo acolhimento, disponibilidade e por todo o conhecimento compartilhado.

Por fim, estendo meu agradecimento a todas as pessoas que participaram, direta ou indiretamente, da conclusão desta pesquisa científica. Meu sincero muito obrigado!

“Earthseed,
Cast on new ground,
Must first perceive,
That it knows nothing.”

Octavia Butler

RESUMO

A capacidade de adaptar o meio ao homem é uma característica que marca a evolução humana ao longo dos milênios e, dentre os materiais utilizados para estas adaptações, as rochas e as cerâmicas ganham destaque. No Maranhão, as argilas contribuíram para a formação identitária, uma vez que devido à grande abundância, variedade e facilidade de extração, os povos e as comunidades foram crescendo no conhecimento e técnicas dos seus artesanatos, por conseguinte, o design aplicado a elas elevou a valoração comercial de tal maneira que assumiu papel político, principalmente na emancipação das mulheres. Em virtude disso, muitas comunidades são alicerçadas financeiramente na extração da argila para a confecção das peças cerâmicas, resultando na descoberta de uma argila diferente das que costumam trabalhar e até então não catalogada, na região de Vargem Grande - MA. O objetivo da presente pesquisa é caracterizar esta argila e analisar o seu comportamento associado ao resíduo de marmoraria, a fim de que, através do design, seja apresentada uma nova matéria prima para a comunidade. Para tal, o processo de caracterização foi realizado através da difração de raio x na argila *in natura* e, para a análise do seu comportamento, foram feitos experimentos laboratoriais, através de corpos de provas, com composições da argila contendo diferentes percentuais de resíduo de rochas ornamentais: 10%, 15% e 20%; queimadas em diferentes temperaturas: 900°C, 950°C e 1000°C; comparados ao final com a argila *in natura* queimada nas mesmas temperaturas. As propriedades tecnológicas analisadas foram: absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente, perda ao fogo, retração linear e resistência à flexão. Após análises de tais propriedades, concluiu-se que a composição mais adequada para a fabricação de artefatos foi a composição com 15% de resíduo de rochas ornamentais queimada a 1000 °C. Concomitante, espera-se que as peças levem consigo novas marcas de manifestações personalizadas da comunidade, permitindo maior reflexão e apreciação sociocultural, incentivando às mesmas no uso do design para suas expressões artísticas, por fim, favorecendo também áreas das engenharias e arquiteturas através da catalogação da argila e inspirando novos estudos.

Palavras-chave: cerâmica; identidade; resíduos de rochas; sustentabilidade; design

ABSTRACT

The ability to adapt the environment to human needs is a characteristic that has marked human evolution over millennia, and among the materials used for these adaptations, rocks and ceramics are highlighted. In Maranhão, clays have contributed to identity formation, since, due to their great abundance, variety, and ease of extraction, peoples and communities have developed knowledge and techniques in their crafts. Consequently, the design applied to them increased their commercial value to such an extent that it assumed a political role, especially in the emancipation of women. As a result, many communities are financially supported by clay extraction for the production of ceramic pieces, which led to the discovery of a clay different from those usually worked with and, until then, uncatalogued, in the region of Vargem Grande – MA. The aim of this research is to characterize this clay and analyze its behavior when combined with marble waste, so that, through design, a new raw material may be presented to the community. For this purpose, the characterization process was carried out through X-ray diffraction on the raw clay and, to analyze its behavior, laboratory experiments were performed with test specimens composed of clay mixed with different percentages of ornamental stone waste: 10%, 15%, and 20%; fired at different temperatures: 900°C, 950°C, and 1000°C; and later compared with raw clay fired at the same temperatures. The technological properties analyzed were: water absorption, apparent porosity, bulk density, loss on ignition, linear shrinkage, and flexural strength. After analyzing these properties, it was concluded that the most suitable composition for artifact production was containing 15% ornamental stone waste fired at 1000°C. At the same time, it is expected that the pieces will carry new marks of the community's personalized manifestations, enabling greater sociocultural reflection and appreciation, encouraging them to use design for their artistic expressions, and ultimately also benefiting the fields of engineering and architecture through the cataloging of this clay and inspiring new studies.

Keywords: ceramics; identity; rocks wastes; sustainability; design

LISTA DE TABELAS

TABELA 01: Produção de rochas ornamentais no Brasil em 2022.....	26
TABELA 02: Dados de produção.....	31
TABELA 03: Critérios de pesquisa para revisão na literatura.....	33
TABELA 04: Pesquisas brasileiras que utilizaram RRO.....	34
TABELA 05: Relação de produção e venda de produtos cerâmicos em 2016.....	39
TABELA 06: Relação exportação e importação produtos cerâmicos.....	40
TABELA 07: Síntese processo dos corpos de prova.....	52
TABELA 08: Proporção de confecção corpos de prova.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01: Absorção de água.....	81
GRÁFICO 02: Porosidade aparente.....	83
GRÁFICO 03: Densidade aparente.....	84
GRÁFICO 04: Perda ao fogo.....	86
GRÁFICO 05: Retração linear.....	88
GRÁFICO 06: CPs sem resíduos queimados a 900°C.....	90
GRÁFICO 07: CPs com 10% de RRO queimados a 900°C.....	91
GRÁFICO 08: CPs com 15% de RRO queimados a 900°C.....	92
GRÁFICO 09: CPs com 20% de RRO queimados a 900°C.....	93
GRÁFICO 10: CPs sem resíduos queimados a 950°C.....	94
GRÁFICO 11: CPs com 10% de RRO queimados a 950°C.....	95
GRÁFICO 12: CPs com 15% de RRO queimados a 950°C.....	96
GRÁFICO 13: CPs com 20% de RRO queimados a 950°C.....	97
GRÁFICO 14: CPs sem resíduos queimados a 1000°C.....	98
GRÁFICO 15: CPs com 10% de RRO queimados a 1000°C.....	99
GRÁFICO 16: CPs com 15% de RRO queimados a 1000°C.....	100
GRÁFICO 17: CPs com 20% de RRO sinterizados a 1000°C.....	101
GRÁFICO 18: Médias da MRF nas três temperaturas.....	102

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01: Blocos extraídos da lavra.....	28
FIGURA 02: Demonstração do casqueiro.....	29
FIGURA 03: Área útil da chapa.....	29
FIGURA 04: Classificação das cerâmicas.....	38
FIGURA 05: Peças cerâmicas marajoaras.....	41
FIGURA 06: Representação de compósito.....	45
FIGURA 07: Modelagem à mão livre.....	46
FIGURA 08: Modelos de punções.....	47
FIGURA 09: Fabricação de tijolos através da extrusão.....	48
FIGURA 10: Argila de Barreirinhas após seca em temperatura ambiente.....	53
FIGURA 11: Infográfico da produção do compósito.....	54
FIGURA 12: Argila após passar pela peneira 100 mesh.....	57
FIGURA 13: Resíduo de rochas ornamentais triturados.....	57
FIGURA 14: Mistura úmida após passar pelo crivo.....	58
FIGURA 15: Corpo de prova modelado à mão livre.....	59
FIGURA 16: Ficha 900°C.....	60
FIGURA 17: Ficha 950°C.....	60
FIGURA 18: Ficha 1000°C.....	61
FIGURA 19: Corpo de prova no processo de secagem.....	61
FIGURA 20: a) Corpos de prova no forno b) Corpos de prova após a queima.....	62
FIGURA 21: CPs imersos por 24h.....	63
FIGURA 22: CP em balança hidrostática.....	64
FIGURA 23: Máquina para ensaio de MRF.....	66
FIGURA 24: CP com dois apoios.....	67
FIGURA 25: Gráfico de análise do CP.....	68
FIGURA 26: Difratoograma da argila.....	70
FIGURA 27: Difratoograma do pó de RRO.....	70
FIGURA 28: Corpo de prova compactado no molde.....	72
FIGURA 29: Corpo de prova compactado no molde e queimado.....	73
FIGURA 30: Modelagem à mão livre.....	74
FIGURA 31: Modelagem à mão livre.....	74
FIGURA 32: Corpos de prova sem resíduos fissurados ao décimo dia.....	75
FIGURA 33: Corpo de prova no isopor durante a secagem.....	75
FIGURA 34: CP na estufa a 60°C imediatamente após modelagem.....	76
FIGURA 35: CP após 24h na estufa a 60°C.....	77
FIGURA 36: CP com acabamento feito na lixa 50.....	78
FIGURA 37: Antes e depois da queima.....	79
FIGURA 38: CPs queimados a esquerda para a direita 950°C, 1000°C e 900°C.....	79

FIGURA 39: Painel semântico com referências de utensílios cerâmicos.....	103
FIGURA 40: Modelagem à mão livre sobre forma de gesso.....	104
FIGURA 41: Peças após a queima a 1000°C.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de Água
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
CaCO_3	Carbonato de Cálcio
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CeMatBio	Central Multiusuário de Pesquisa em Materiais e Biosistemas da UFMA
CO_2	Dióxido de Carbono
CP	Corpo de Prova
DA	Densidade Aparente
DRX	Difração de Raio X
LDC	Laboratório de Design Cerâmico
MPa	Megapascal
MRF	Módulo de Resistência à Flexão
PA	Porosidade Aparente
PF	Perda ao fogo
RFmax	Resistência à Flexão máxima
RL	Retração Linear
RRO	Resíduo de Rochas Ornamentais
UFMA	Universidade Federal do Maranhão

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE GRÁFICOS.....	11
LISTA DE FIGURAS.....	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	14
SUMÁRIO.....	15
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivos.....	19
1.1.1 Objetivo Geral.....	19
1.1.2 Objetivo Específico.....	19
1.2 Hipótese.....	20
1.3 Justificativa.....	20
1.4 Estrutura da pesquisa.....	22
2. ASPECTOS TEÓRICOS.....	24
2.1 As rochas como referências da evolução humana.....	25
2.2 O impacto das rochas ornamentais no Brasil.....	30
2.2.1 Ressignificando o resíduo: caminhos de valorização de materiais descartados.....	32
2.2.2 Cerâmica: identidade maranhense.....	37
2.2.3 Tecnologia aplicada ao artesanato.....	40
2.3 O Design na composição de novos produtos.....	43
2.3.1 Compósitos: a prática do design.....	44
2.3.1.1 Modelagem à mão livre.....	45
2.3.1.2 Modelagem por prensagem à seco.....	46
2.3.1.3 Modelagem por extrusão.....	47
3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	49
3.1 Percurso metodológico de Tutoia a Vargem Grande.....	51
3.1.1 Adaptação metodológica para argila de Vargem Grande.....	53
3.2 Aspectos técnicos.....	55
3.2.1 Caracterização das matérias-primas, materiais e equipamentos.....	55
3.2.2 Difração de Raios X.....	56
3.2.3 Confeção do corpo de prova.....	56
3.2.4 Modelagem.....	58
3.2.5 Secagem.....	61
3.2.6 Queima.....	62
3.3 Propriedades tecnológicas.....	62
3.3.1 Absorção de água (AA).....	62
3.3.2 Porosidade Aparente (PA).....	64
3.3.3 Densidade Aparente (DA).....	65
3.3.4 Perda ao Fogo (PF).....	65

3.3.5 Retração Linear (RL).....	65
3.3.6 Módulo de Resistência à Flexão (MRF).....	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
4.1. Identificação mineralógica.....	69
4.2 Confeção dos corpos de prova.....	71
4.3 Análise dos corpos de provas.....	80
4.3.1 Absorção de Água (AA).....	80
4.3.2 Porosidade Aparente (PA).....	82
4.3.3 Densidade Aparente (DA).....	84
4.3.4 Perda ao Fogo (PF).....	85
4.3.5 Retração Linear (RL).....	87
4.3.6 Módulo de Resistência à Flexão (MRF).....	89
5. CONFEÇÃO DE ARTEFATOS CERÂMICOS.....	103
6. CONCLUSÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	106
6.1 Sugestões para estudos futuros.....	107
7. REFERÊNCIAS.....	108
8. APÊNDICES.....	115

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o homem tem adotado comportamentos inconsequentes que têm colocado a natureza como objeto de exploração intensa por diversos motivos. Pode-se destacar, por exemplo, a obtenção de lucros através da criação de novas habitações residenciais e comerciais em áreas indevidas, causando alterações topográficas e gerando aumento na produção de lixos sem destinação correta para o descarte.

No percurso evolutivo, o homem passa a ser visto como influenciador da natureza, uma vez que os novos materiais utilizados nos produtos fabricados agem diretamente na relação existente, tais como plásticos, concretos, alumínio, fertilizantes, testes nucleares e a extração mineral (Silva; Arbilla, 2018). Estes materiais têm causado mais dano do que a própria natureza consegue se regenerar.

No Brasil, o processo de exploração mineral é alarmante quando visto através da extração de rochas ornamentais, que são aquelas que após serem beneficiadas, destacam características exclusivas em virtude da estrutura, textura e disposição dos minerais (Abreu; Ruiz; Caruso, 1990). A principal causa é devido a extração ainda ser rudimentar, com alto custo de aquisição e execução, gerando rejeitos consideráveis em proporção à massa do bloco, contaminando diretamente os rios e o próprio solo, podendo causar desfiguração da paisagem da extração (Santos; Destefani; Holanda, 2013).

Os avanços tecnológicos têm-se mostrado promissores na colaboração de destinação dos lixos e resíduos oriundos do estilo de vida contemporâneo. Contudo, eles ainda são insuficientes para o estilo de vida efêmero do presente século, onde os designers trabalham na criação da necessidade de produtos que ofereçam um consumo insaciável, com obsolescência programada, sempre em renovação e novidades para acompanhar desejos irreais diante das necessidades.

Todavia, muitas portas foram abertas através das combinações de avanços tecnológicos com a capacidade inovadora dos designers. Por exemplo, os resíduos de rochas ornamentais encontraram os caminhos mais variados possíveis, como produção de cosméticos (Oliveira; Ribeiro; Queiroz, 2010), fabricação de vidros (Babisk; Rocha; Louro, 2009), aplicação em indústrias poliméricas (Souza et al, 2009), misturas asfálticas (Ribeiro et al, 2007), em cerâmicas (Guimarães, 2015)

dentre outros. Tais exemplos inspiram novas pesquisas para a continuação do uso de resíduos como matéria-prima.

A história da cerâmica tem destaque no Brasil através dos métodos construtivos e de utensílios: as casas, pisos, tijolos, vasos, potes, telhados e outros. Neste sentido, ela engloba ainda um aspecto social muito íntimo no Maranhão, pois faz parte da sua identidade através de narrativas antropológicas significativas e expressivas, vistas principalmente pelas artesãs, que soam em frases como “Criei meus filhos só com esse negócio de cerâmica!” (Noronha, 2016, p.18), assumindo uma atividade política usada para emancipação das mulheres e propagação de saber tácito de geração a geração.

Os anseios da sociedade atual e sua ordem de consumo possuem uma questão muito complexa para ter apenas uma solução-chave, mas um dos caminhos de mitigação que podem ser trilhados é através de propostas oferecidas pelos designers, uma vez que cabe ao designer a escolha de materiais na produção de produtos (Pereira; Santos, 2016) e que também o design é ecológico pela sua própria natureza (Leal, 2002).

Diante de narrativas íntimas e problemas reais de mudanças geológicas, com a instauração do antropoceno, de interesse social, ambiental e econômico, o atual cenário se faz propício para muitas pesquisas sobre tecnologia envolvendo resíduos de marmoraria e uso de cerâmicas. Assim, na cidade de Vargem Grande, no Maranhão, foi descoberto em 2023, através dos moradores e artesãos da região, uma argila branca que ainda não foi trabalhada.

Esta argila chama atenção por ser uma exceção às encontradas no Maranhão, que são costumeiramente compostas de tonalidades do marrom ao terracota. Deste modo, foi gerado interesse no desenvolvimento desta pesquisa, orientada pelas perguntas “O que compõe esta argila e se é possível desenvolver um produto somado ao resíduo de marmorarias para produção de um artefato acessível para a comunidade?”

Em sintonia com estas perguntas, este estudo aborda sobre a caracterização mineralógica da argila encontrada em Vargem Grande - MA, e a avaliação do beneficiamento das peças cerâmicas através da adição de resíduo das rochas ornamentais, descartadas pelas marmorarias de São Luís - MA, para a confecção de artefatos.

De acordo com Castro (2001), todos os passos da pesquisa: elaboração do projeto, identificação e seleção dos estudos, extração dos dados, avaliação da qualidade, análise, apresentação e interpretação dos dados, são guiados pela pergunta da pesquisa. Assim, pretendeu-se caracterizar a argila encontrada na região de Vargem Grande, e analisar o seu comportamento quando misturada a resíduos de rochas ornamentais, descrevendo as características físicas e mecânicas ao ser submetido ao processo de modelagem à mão livre, como proposta de fabricação de produtos artesanais.

A pesquisa mostrou a caracterização da argila e de composições da mesma com resíduo de rochas ornamentais, possibilitando aos ceramistas um material alternativo, contribuindo com a redução de resíduos e demonstrando que o designer pode e deve atuar no desenvolvimento de novas técnicas e materiais, contribuindo com as diversas áreas que atuam nesta mesma linhagem, como engenharia e arquitetura.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar a argila de Vargem Grande, no Maranhão, em composição contendo resíduo de rochas ornamentais, visando a fabricação de artefatos.

1.1.2 Objetivo Específico

- Coletar e preparar amostras da argila de Vargem Grande e resíduos de rochas ornamentais de forma acessível aos artesãos;
- Realizar a caracterização mineralógica da argila e do resíduo de rochas ornamentais;
- Avaliar as propriedades tecnológicas da argila in natura e das composições contendo resíduo de rochas ornamentais;
- Analisar a influência da incorporação do resíduo de rochas ornamentais nas propriedades tecnológicas da argila;
- Verificar a viabilidade do uso das composições para a fabricação de artefatos cerâmicos utilizando recursos viáveis para a comunidade.

1.2 Hipótese

A incorporação de resíduo de rochas ornamentais à argila de Vargem Grande é tecnicamente viável, podendo melhorar determinadas propriedades tecnológicas, tornando-a adequada para a fabricação de artefatos cerâmicos.

Estudos têm mostrado que é possível incorporar à massa cerâmica resíduos de outras origens, de acordo com a necessidade particular que cada uma pretende atender. Ressaltando que a incorporação dos resíduos à massa cerâmica traz novas características e propriedades físico-mecânicas ao produto final.

Neste sentido, formulou-se a hipótese de que é possível utilizar os resíduos de rochas ornamentais, oriundos de mármore e granito, à massa cerâmica branca, oriunda de Vargem Grande, com a finalidade de melhorar as suas propriedades tecnológicas, permitindo uma nova funcionalidade para a massa cerâmica em questão.

1.3 Justificativa

A ordem de consumo das sociedades tem mudado nas últimas décadas, consequentemente, o acesso às novas tecnologias contribuiu para o aumento da quantidade de lixos e resíduos gerados, tornando os produtos cada vez mais efêmeros e com duração programada para o uso do mesmo, assim, esta condição da cadeia produtiva tem gerado efeitos negativos e danos à sustentabilidade do planeta.

O uso de rochas ornamentais no Brasil é de grande relevância econômica. De acordo com Montani (2019), o Brasil é um dos maiores exportadores de rochas ornamentais no mundo, já que em 2022 as exportações totalizaram US\$ 1.284,9 milhões, onde os principais estados exportadores de rocha ornamental são Espírito Santo, Minas Gerais e Ceará. É importante ressaltar que só Espírito Santo e Minas Gerais correspondem, juntos, a 93,2% do faturamento das exportações brasileiras, enquanto Ceará, Bahia, Rio Grande do Norte e Pernambuco correspondem a 5,5% (ABIROCHAS, 2023).

Com as exportações em alta, a extração vem se mostrando crescente. Entre os anos de 2017 a 2022, a produção de rochas ornamentais brutas teve um crescimento variável de 7,2%. Em contrapartida, devido aos problemas tecnológicos relacionados às extrações e processamentos, o percentual de rejeito de

processamento se encontra em 41%, assim, o valor total de rejeitos cresceu em aproximadamente 10% do total extraído (ABIROCHAS, 2023).

É de suma importância desenvolver uma tecnologia para cuidar ou reciclar os resíduos do mármore e do granito. Isto ocorre tendo em vista que a sua produção industrial e econômica no mundo está crescendo, ressaltando que os principais meios de descarte são através de aterros, reciclagens químicas e incinerações, cujos métodos inviabilizam o uso de resíduos como matéria-prima gerando imensos prejuízos para a economia, tecnologia e sustentabilidade (Hwang; Soo Ko, 2008).

Dentre as tecnologias e estudos já desenvolvidos, a massa cerâmica surgiu como uma oportunidade de reaproveitamento de resíduos. Com efeito, o termo ‘cerâmica’, cuja origem vem do grego *keramikos*, que significa “matéria-prima queimada”, indica que as propriedades desejáveis dos materiais são feitas através do processo de queima em alta temperatura (Smith, 1998).

As cerâmicas tradicionais são compostas majoritariamente de argila, como os utensílios do cotidiano, vasos, pratos, pisos, revestimentos dentre outros. Deste modo, sabendo que a argila é um recurso versátil não-renovável encontrado com abundância Brasil, muitos estudos têm procurado desenvolver tecnologias associando o uso da massa cerâmica, reduzindo percentualmente a quantidade de argila envolvida, quando adicionado a outros produtos, trazendo benefícios nas propriedades físico-químico e permitindo novas funcionalidades.

No Maranhão, as cerâmicas assumem uma realidade identitária e antropológica feita principalmente por mulheres no artesanato, onde ela tem sido causa de importância financeira e política de diversas comunidades, uma vez que confere às mulheres liberdade e autonomia, criando seus filhos através das artes em cerâmica (Noronha, 2016). Contudo, a produção cerâmica não se detém somente nas comunidades, cidades como Rosário são destacadas pela sua abundância, uso e comercialização.

Em Vargem Grande, os ceramistas encontraram argila que ainda não foi caracterizada tecnologicamente e a apresentaram à Universidade Federal do Maranhão (UFMA) por causa da sua particularidade que esta apresenta de se manter clara após a queima, o que é incomum, uma vez que após a queima, as argilas maranhenses tendem a ficar marrons, avermelhadas ou com tom próximo ao terracota.

Tal circunstância abriu as portas para o design, já que o designer é capaz de intermediar entre a necessidade e a resolução. Neste sentido, formou-se um campo propício para descobertas e desenvolvimento de novas tecnologias, que pode oferecer uma nova fonte de renda para a comunidade, além do caráter intrínseco de identidade e manifestação expressiva que podem ser desenvolvidos nas artes antes, durante e após a composição do produto.

De acordo com as referências bibliográficas, é perceptível que muitos estudos foram feitos incorporando à massa cerâmica resíduo de outras fontes. Com isso, o intuito de verificar o comportamento e novas propriedades tecnológicas, pode viabilizar o seu uso para outros fins que outrora não era possível, tendo em vista que a fabricação de produtos cerâmicos é muito promissora no Maranhão devido a abundância da matéria-prima, baixo custo da produção e grande aceitação dos produtos no grande mercado (Guimarães, 2015).

Finalmente, para a academia, a presente pesquisa visou contribuir como fundamentação teórica para outras pesquisas e desenvolvimento de produtos nas áreas de design, arquitetura, ciência dos materiais e engenharias, além de novas técnicas produtivas.

1.4 Estrutura da pesquisa

A presente pesquisa foi composta por seis seções. Na primeira, aborda-se a contextualização sobre a própria pesquisa, contendo introdução, os limites da pesquisa, pergunta, objetivos, hipótese e justificativa.

Na seguinte, foi evidenciado os aspectos teóricos sobre aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e as contribuições derivadas do seu uso, assim como, os materiais de compósitos que serão formados com a massa de argila e suas propriedades tecnológicas, tanto para a argila pura quanto às composições com resíduos. Neste sentido, também foi feita uma abordagem sobre a cerâmica envolvendo a sua história no Brasil, o contexto maranhense, como seus usos e relevâncias histórica e sociológica, correlacionando o design voltado para a sustentabilidade na pesquisa de materiais compósitos.

Na terceira, foi exposto a abordagem da pesquisa, caracterizando-a e detalhando as etapas metodológicas necessárias para o desenvolvimento da pesquisa, definindo os conceitos necessários e apresentando os aspectos técnicos durante a produção dos compósitos, discorrendo sobre as suas propriedades após serem submetidas a testes definidos, dando início ao processo de análise e discussão dos dados.

A quarta seção é composta pelos resultados e discussões dos testes laboratoriais e processos desenvolvidos no capítulo anterior. Foi apresentado e explicado o gráfico referente à caracterização da argila pela difração de raios x (DRX) e discutido os demais gráficos referentes às propriedades tecnológicas avaliadas: absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), densidade aparente (DA), perda ao fogo (PF), retração linear (RL) e módulo de resistência à flexão (MRF).

A quinta seção expõe, após as discussões e avaliação da melhor composição da mistura cerâmica com os resíduos de rochas ornamentais, as etapas produtivas para produção de uma petisqueira. Seguido, por fim, da sexta seção com as conclusões finais e as considerações para estudos futuros.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

Aqui são expostos os aspectos teóricos necessários para o desenvolvimento da presente pesquisa, objetivando a concepção de compósitos cerâmicos mediante a incorporação de resíduos de rochas ornamentais, oriundas do mármore e do granito.

Há muitas pesquisas desenvolvidas utilizando a argila como matéria-prima devido à sua versatilidade e utilização histórica ao longo das civilizações. Contudo, a sua importância social cresce conforme a narrativa de onde é encontrada e como é utilizada, portanto, adicionar a soma dos saberes à argila em questão, pode valorizar os artesãos e movimentar a economia local de forma sustentável, uma vez que o design e os seus conceitos são situados no tempo e espaço, dinamizados e relativizados nos atos de projetar, consumir e usar, em diálogo com os valores socioculturais (Queluz, 2020).

O processo de concepção projetual do design engloba a singularidade do objeto tendo em vista a sua complexidade do todo, como a origem, valoração, uso, dentre outros. Para que a concepção aconteça, é necessário cruzar conceitos, técnicas e experiências, captados de maneira transversal por entre as literaturas.

Logo, os aspectos teóricos provenientes da literatura é uma etapa necessária para a pesquisa, uma vez que através dela é alcançada a compreensão e o entendimento da relevância dos produtos, igualmente, as razões e desenvolvimentos das técnicas. Através de pesquisas multidisciplinares, onde há um olhar externo atuando juntamente com o design, é possível ampliar as fronteiras das possibilidades e observar resultados até então limitados, como o desenvolvimento de um compósito sustentável, através de um processo projetual eficaz.

2.1 As rochas como referências da evolução humana

Desde a pré-história, a pedra sempre esteve presente na vida dos homens para atender às suas necessidades, se tornando a primeira matéria-prima utilizada por eles. Dentre seus usos, na caça, por exemplo, há registros do machado de pedra, utilizado ainda no período paleolítico, cerca de dois milhões de anos atrás e cujo significado é 'pedra antiga'.

A civilização egípcia ganhou destaque na sua arquitetura ao usar as rochas carbonáticas e as silicáticas, mármore e granitos, de forma bruta, para a construção de palácios, túmulos e monumentos ainda durante a primeira dinastia datada em 3150 Antes do Presente (Harrel, 2012). Em seguida, os romanos adotaram o uso de rochas para construções e esculturas, em alguns casos isolados, também já usando para decoração, como no caso das piscinas públicas, contudo, foi na idade média que o uso de rochas se propagou para a decoração de casas e igrejas.

O processo evolutivo do uso da pedra, suas aplicações e intenções, serve como referência para o conhecimento tecnológico que marca a civilização que a manipula. Enquanto o homem primitivo limitava-se à produção do machado de pedra, o homem contemporâneo a utiliza até na produção de cosméticos. No entanto, é na construção civil que as pedras vêm ganhando destaque, enquanto outros produtos iniciais que eram produzidos através da pedra, foram sendo substituídos por outros materiais que passaram a ser dominados pelo homem à medida que este explora a natureza.

Nos dias de hoje, o processo de extração mineral integrado à cadeia produtiva de rochas ornamentais no Brasil teve início em 1940, todavia, o beneficiamento industrial, que consiste nas atividades de lavra, ocorreu somente em 1970 e as exportações em 1990. Para fins de conceito, é importante diferenciar o termo 'extração mineral' com 'exploração mineral', onde este último é definido como execuções das atividades necessárias à definição e avaliação de uma jazida mineral, sendo sinônimo de 'pesquisa mineral'. (Mello, 2014).

A formação geológica do Brasil, com sua rica biodiversidade, topografia e diferenças climáticas, permitiu que o mesmo ganhasse destaque internacional, colocando o país no grupo dos grandes produtores e exportadores de rochas

ornamentais. De acordo com Montani (2019), do valor de US\$ 1.284,9 milhões arrecadados em 2022, o Espírito Santo e Minas Gerais correspondem, juntos, a 93,2% do faturamento das exportações, enquanto Ceará, Bahia, Rio Grande do Norte e Pernambuco correspondem a 5,5% (ABIROCHAS, 2023), como mostra a tabela 01.

TABELA 01: Produção de rochas ornamentais no Brasil em 2022

DISTRIBUIÇÃO ESTADUAL DA PRODUÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO BRASIL - 2022			
REGIÃO	UF	PRODUÇÃO (1000t)	TIPO DE ROCHA
Sudeste	Espírito Santo	2800	Granito e mármore
	Minas Gerais	1900	Granito, pegmatito, ardósia, quartzito foliado, quartzito maciço, pedra-sabão, mármore
	Rio de Janeiro e São Paulo	250	Granito, mármore, gnaiss (Pedra Paduana) e arenito
Nordeste	Bahia	1800	Granito, pegmatito, mármore, travertino, quartzito maciço
	Ceará	1300	Granito, pegmatito, calcário, mármore
	Paraíba	450	Granito e conglomerado

	PE, AL, RN e PI	700	Granito, quartzito, mármore, calcário
sul	PR, RS e SC	500	Granito, mármore, basalto, ardósia (folhelho)
centro-oeste	GO, MT e MS	200	Granito, quartzito foliado, serpentinito, mármore
Norte	RO, RR, PA e TO	100	Granito, anortosito, chert, serpentinito

Fonte Abirochas (2023)

Dentre os setores produtivos no Brasil, a construção civil é a maior consumidora de rochas ornamentais. Isto acontece por ser um material de fácil acesso e devido às suas características de resistência às intempéries e de estética única, uma vez que as rochas possuem valor agregado pelo seu caráter utilizado como elemento decorativo (Frasca, 2003), além das suas características mecânicas de baixa absorção de água devido a porosidade (Oliveira, 2015).

A atual tecnologia do processo extrativo ainda é um problema nos dias atuais. Por causa do seu caráter rudimentar e com alto custo de aquisição, os blocos extraídos são cada vez maiores e com formas irregulares, gerando o casqueiro, que são as partes dos blocos que não formam a chapa, ocasionando maior quantidade de perda durante o processo de beneficiamento (Paldés, 2007), conforme mostra a figura 01.

FIGURA 01: Blocos extraídos da lavra

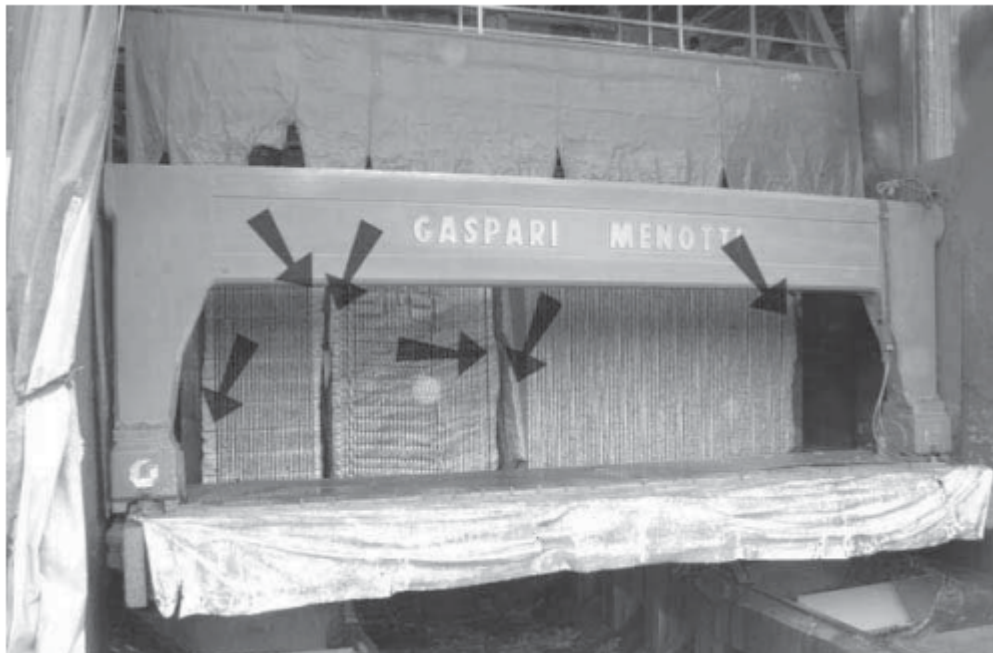


Fonte: Paldes (2007)

O Beneficiamento é uma etapa necessária que consiste nas transformações dos blocos, extraídos na fase lavra, em produtos finais ou semiacabados. Assim, o processo ocorre em duas etapas, a serragem e o polimento.

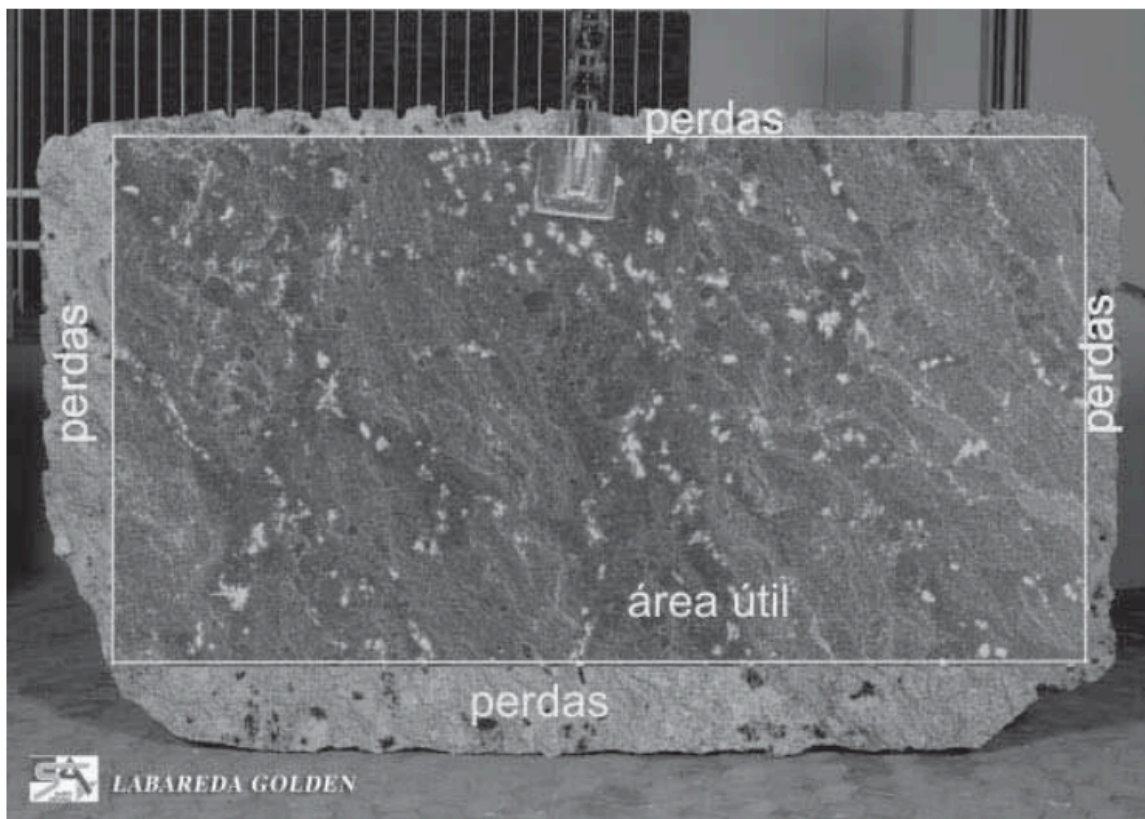
A serragem, também chamada de desdobramento, consiste na retirada do casqueiro e os cortes das chapas, normalmente com dois ou três centímetros de espessura. Já o polimento, é feito o acabamento superficial das mais variadas formas e demandas. Assim, o casqueiro é descartado por não possuir espessura uniforme, aumentando a quantidade de resíduo gerado. Conforme mostrado nas figuras 02 e 03.

FIGURA 02: Demonstração do casqueiro



Fonte: Paldes (2007)

FIGURA 03: Área útil da chapa



Fonte: Paldes (2007)

Em suma, a extração e produção de chapas de rochas ornamentais gera rejeitos de até 41% da massa do bloco, consequentemente, a quantidade de blocos extraídos aumenta. Logo, outros problemas ambientais são associados à extração, como a desfiguração da paisagem da extração e poluição de rios e lagos (Santos; Destefani; Holanda, 2013).

Manzini (2017) afirma que ao se deparar com um problema, os seres humanos usam a sua capacidade criativa e de fazer design para inventar e realizar soluções. Neste sentido, o designer é um agente da inovação, capaz de dar sentido e valor às coisas que outrora seriam descartadas ou subutilizadas, tendo em vista o contexto e a intenção do produto que se almeja.

Faz parte do processo projetual do design a tradução de uma ideia em informações detalhadas para que um produto possa ser manufaturado, onde, normalmente, a escolha do material é feita pelo designer (Ashby, 2005). Assim, é importante saber manusear os resíduos de rochas ornamentais e observar atentamente as oportunidades de uso, para em seguida, direcioná-los.

O setor da construção civil é ao mesmo tempo o setor que mais produz o resíduo das rochas ornamentais e o que mais possui abertura para a reutilização do mesmo. Já é comum a utilização dos casqueiros para fazer enchimento em baldrame, aterros, composição de pisos misturados, dentre outros. No entanto, a respeito da lama dos cortes, outras áreas se mostraram mais propícias, como cosmético, papel e vidro.

2.2 O impacto das rochas ornamentais no Brasil

São consideradas rochas ornamentais, aquelas que após serem beneficiadas, destacam características exclusivas em virtude da estrutura, textura e disposição dos minerais (Abreu; Ruiz; Caruso, 1990). Dentre os setores produtivos no Brasil, a construção civil é a maior consumidora de rochas ornamentais, uma vez que as rochas possuem valor agregado pelo seu caráter estético e comumente é utilizada como elemento decorativo (Frasca, 2003),

Entre os anos de 2017 a 2022, a produção de rochas ornamentais brutas teve um crescimento variável de 7,2%, já os rejeitos de processamento cresceram aproximadamente 10% (ABIROCHAS, 2023), conforme mostrado na tabela 2. Os

resíduos sólidos gerados atingiam em média a faixa de 70% do volume total do bloco (Custódio, 2023), contudo, nos dados divulgados pela ABIROCHAS (2023), o percentual de rejeito de processamento caiu para 41%. É um percentual ainda relevante se for considerado o avanço tecnológico de todo o processo de extração e beneficiamento (Vieira; Duarte, 2021).

TABELA 02: Dados de produção

Brasil: repartição da produção, intercâmbio e consumo interno de rochas ornamentais 2017 – 2022 (valores em 1.000t)						
Parâmetros	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Produção de rochas brutas	9.240	9.000	9.200	9.000	10.200	10.000
Rejeito de processamento (41%)	3.368,4	3.260	3.375,5	3.302,1	3.783,5	3.739,7

Fonte Abirochas (2023)

O atual sistema de produção de chapas de rochas ornamentais gera rejeitos geralmente constituídos de água, gralha, cal e rocha moída. Assim, são classificados como resíduos sólidos, pois resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, incluindo a lama gerada em equipamentos (NBR 10004:2004).

Para a classificação quanto à periculosidade, a NBR 10004:2004 confere duas classes: perigosos e não perigosos. A primeira classe se refere aos materiais que apresentam riscos à saúde e/ou ao meio ambiente, como materiais inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e patogênicos. Já a segunda classe, são os que não apresentam riscos à saúde e/ou meio ambiente, considerando os materiais inertes e os não inertes.

Os resíduos não perigosos inertes são aqueles que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura

ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. (NBR 10004:2004). Por conseguinte, o rejeito de rochas ornamentais corresponde à classe dos não perigosos e não inertes em aterros. Contudo, em 1990, o estado do Espírito Santo, apresentou o problema ambiental do despejo direto das lamas das serrarias nos cursos de água consideradas como potenciais poluidoras (Campos et al, 2013).

2.2.1 Resignificando o resíduo: caminhos de valorização de materiais descartados

Os resíduos de rochas ornamentais foram direcionados ao longo dos anos com o intuito de combater os danos ambientais que vêm causando. Assim, através da revisão na literatura, é possível verificar a sua usabilidade e como o uso de resíduo tem beneficiado o produto final.

Para esta revisão, foi adaptado de Galvão e Pereira (2014), sendo: (1) elaboração da pergunta de pesquisa; (2) busca na literatura; (3) seleção dos artigos; (4) extração dos dados; (5) síntese dos dados (metanálise) com redação dos resultados. Para alcançar o objetivo, é proposto a seguinte pergunta: Onde tem ocorrido a aplicabilidade de resíduo de rochas ornamentais (RRO) e quais os benefícios que foram acrescentados?

As buscas foram feitas em repositórios, google acadêmico, Scielo e no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, com as seguintes palavras-chave para a primeira pergunta: Mármore, Granito, Resíduo Sólido, Rocha Ornamental, Sustentável, nos últimos 26 anos. Conforme mostra a tabela a seguir.

TABELA 03: Critérios de pesquisa para revisão na literatura

BASE DE DADOS	Google acadêmico Repositórios SciELO
TIPO DE DOCUMENTO	Artigos Dissertações Revistas B2 ou superior
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO	Engenharias Químicas Arquitetura Design
IDIOMA	Português
PERÍODO	1999 – 2025 (26 anos)
PALAVRAS - CHAVE	“Rocha Ornamental” AND “Resíduo Sólido” “Marmore” AND “Resíduo” “Granito” AND “Resíduo Sólido” AND “Sustentável” “Cerâmica” AND “Rocha Ornamental” AND “Resíduo sólido”
CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	Artigos ou dissertações que estejam relacionados com o uso de resíduos de rochas ornamentais
CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	Artigos ou dissertações que se repetem nas buscas; Artigos ou dissertações que tratem sobre áreas similares de aplicação

Fonte: autor (2025)

Foram encontradas 22 (vinte e duas) pesquisas com produtos que já foram desenvolvidos com o reuso dos resíduos de rochas ornamentais, após a verificação com os pré-estabelecidos, foram selecionadas 10 (dez) bibliografias, organizadas pelo ano de publicação, conforme a tabela.

TABELA 04: Pesquisas brasileiras que utilizaram RRO

TÍTULO (ANO)	AUTOR	CONTEÚDO
Utilização de resíduos da serragem de granitos para confecção de tijolos cerâmicos (1999)	NEVES, G.; PATRICIO, S. M. R., FERREIRA, H. C., SILVA, M. C	Os resultados indicam a possibilidade de uso destes resíduos na elaboração de tijolos cerâmicos maciços para uso em alvenaria.
Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos (2000)	GONÇALVES, J. P.	A análise dos resultados permite concluir que o resíduo de corte de granito não apresenta riscos ambientais, que sua utilização como adição em concretos é viável tecnicamente, e que 10% de adição é o teor que apresenta melhor desempenho
Aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais e de revestimentos (2003)	VIDAL, F.W.H.	Pelo trabalho executado concluiu-se que é viável o aproveitamento de rejeitos de pedreiras e de finos de serrarias para diversos fins, principalmente no mercado da construção civil
Aproveitamento de rejeitos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais no Estado do Rio de Janeiro (2006)	FRANGELLA, L.N.M	Os resultados demonstram a viabilidade técnica da produção de anticatos, a partir dos rejeitos das, permitindo uma redução de cerca de 40% do total dos rejeitos grossos (lajotas quebradas).

Utilização de Rejeitos de Rochas Ornamentais em Misturas Asfálticas (2007)	RIBEIRO <i>et al</i>	Os resultados indicaram o enquadramento do rejeito às normas estabelecidas para agregados, segundo o DNIT, além de ser caracterizado pela análise mineralógica como um gnaisse.
Aplicação de Resíduos de Mármore na Indústria Polimérica (2009)	SOUZA <i>et al</i>	Evidencia-se a viabilidade de utilização de resíduos de mármore como fontes de matéria-prima. É, portanto, sugerida a aplicação desses compósitos em produtos ecológica e economicamente viáveis, como pisos, tijolos, bancos, mesas, eletrodutos, cercas, limitador de vagas para carros e aviões, corrimãos etc.
Aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais na fabricação de vidros (2009)	BABISK, M. P.; ROCHA, J. C.; LOURO, L. H. L.; SILVA, M. H. P	As propriedades dos vidros foram comparadas as de vidros comerciais, os resultados mostraram que os resíduos de rochas ornamentais podem ser utilizados como matéria-prima na fabricação de vidros
Aplicação de Resíduos Oriundos do Corte de Rochas Ornamentais na Produção de Cosméticos (2010)	OLIVEIRA, C. N.; RIBEIRO, R. C. C.; QUEIROZ, J. P.	Melhores resultados indicaram a utilização de 40%, em massa, de resíduos como carga em sabonetes sem o surgimento de problemas dermatológicos e resultados adequados de absorção de água e não formação de rachaduras.
Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais (2010)	MACHADO <i>et al</i>	Verificou-se que os resíduos de rochas ornamentais demonstraram potencialidades de serem utilizados como corretivo da acidez do solo e como fonte de nutrientes (cálcio e magnésio) para as plantas, para ambos os experimentos realizados, não apresentando, de maneira geral, diferenças

		significativas em relação à utilização do calcário.
Utilização de Resíduos Oriundos do Corte de Mármore como Carga na Indústria de Papel (2014)	RIBEIRO, R. C. C.; CARANASSIOS, A.; MORANI, B. M	pôde-se concluir que o resíduo oriundo do corte de mármore, após sofrer um processo de flotação, enquadrar-se às exigências da indústria do papel, podendo ser utilizado como carga neste setor

Fonte: autor (2025)

A bibliografia exposta direciona o resíduo de rochas ornamentais em seis setores diferentes:

(1) Ribeiro et al (2007) verificou a possibilidade para o setor de urbanismo utilizando os rejeitos de rochas ornamentais com o intuito de redução do custo da confecção da mistura asfáltica.

(2) Babisk, M. P.; Rocha, J. C.; Louro, L. H. L.; Silva, M. H. P (2009) estudaram a possibilidade no setor de vidraçaria, onde os resíduos de rochas ornamentais podem ser utilizados como matéria-prima na fabricação de vidros, com propriedades semelhantes aos vidros comerciais, reduzindo a extração mineral de areia.

(3) Oliveira, C. N.; Ribeiro, R. C. C.; Queiroz, J. P. (2010) pesquisaram sobre a utilização em produção de cosméticos, utilizando o resíduo de rochas ornamentais na massa de sabonetes, compondo até 40% da massa e com granulometria de até 0,053mm para que não haja irritabilidade na pele, conforme os testes em coelho.

(4) Machado et al (2010) pesquisaram sobre a correção da acidez e adubação em solo tropical, em substituição ao calcário, que é comumente conhecido pelo processo de calagem. Como resultado, os resíduos de rochas ornamentais apresentaram correção da acidez do solo e fonte de nutrientes (cálcio e magnésio) para as plantas.

(5) Ribeiro, R. C. C.; Caranassios, A.; Morani, B. M (2014) pesquisaram sobre a utilização no setor de papelaria, onde o resíduo de rochas ornamentais ocupa o lugar de carga mineral do papel, oferecendo alternativa para um insumo de baixo custo para o setor.

(6) A maioria das pesquisas, concentram-se na construção civil, através do uso em tijolo de alvenaria Neves, G.; Patricio, S. M. R., Ferreira, H. C., Silva, M. C (1999); adição na massa do concreto Gonçalves, J. P. (2000); revestimentos Vidal, F.W.H. (2000); produção de anticatos Frangella, L.N.M (2006); compósito ecológicos para pisos Souza et al (2009).

O extrativismo carece de uma tecnologia mais acessível e este é um dos principais problemas para a larga produção dos rejeitos através do beneficiamento das rochas ornamentais. Contudo, enquanto este problema não é solucionado, foi evidenciado por esta revisão que, apesar da construção civil ter a maior abrangência para o seu reuso, é possível pensar a sua utilização em outros campos.

2.2.2 Cerâmica: identidade maranhense

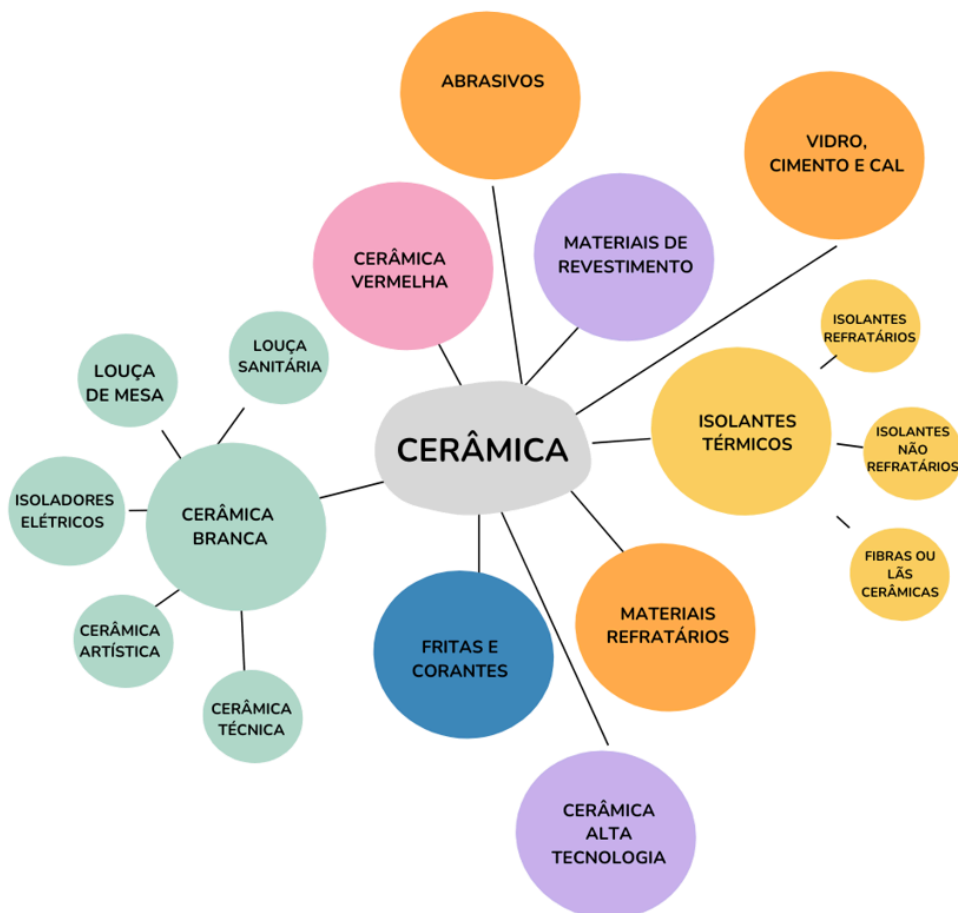
As cerâmicas estão presentes na cultura brasileira desde antes da colonização pelos portugueses, quando o Brasil ainda era habitado e povoado pelos povos originários. Os registros mais antigos no Brasil do uso da cerâmica são datados entre 2.500 a 3.200 Antes do Presente. no litoral do Pará (Prous, 1992, p. 433) e é através da técnica da sua elaboração que os arqueólogos conseguem compreender melhor a composição das sociedades, revelando a sua importância antropológica e o valor cultural que está embutido nos artefatos produzidos.

As definições de cerâmica foram mudando ao longo da história. Inicialmente, e nos dias atuais, ainda é o senso comum que as define como um produto composto de matéria-prima majoritariamente da argila queimada. Contudo, o conceito foi ampliado e a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM) a define como todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas.

As classificações também foram aprimoradas tendo em vista a variedade de produtos e técnicas desenvolvidas. Dessa forma, segundo a ABCERAM, hoje são classificadas em cerâmica (1) vermelha, também chamada de cerâmica estrutural; (2) material de revestimento, também chamado de placas cerâmicas, (3) cerâmica branca, que são compostas de material brancos após a queima e normalmente com

película de vidro incolor, podendo ainda ser subdividido em louça sanitária, louça de mesa, isoladores elétricos de alta e baixa tensão, cerâmica artística (decorativa e utilitária) e cerâmica técnica para fins diversos; (4) materiais refratários, (5) isolantes térmicos, podendo ser refratário, não-refratário e em formas fibras ou lãs; (6) Fritas e corantes, (7) abrasivos, (8) Vidro, cimento e cal e (9) cerâmica avançada, conforme figura 04:

FIGURA 04: Classificação das cerâmicas



Fonte: Autor (2025)

Dado à capacidade inata de design dos seres humanos (Manzini, 2017), diversos povos brasileiros foram, ao seu tempo e conforme a tecnologia disponível, modificando o uso e sentido que deram às cerâmicas. Assim, na atualidade, os artesãos aprenderam dos seus ancestrais a produção manual, conferindo à cerâmica relevância identitária, econômica e política, principalmente para as mulheres.

“Criei meus filhos só com esse negócio de cerâmica!” (Noronha, 2016, p. 18) é uma frase das narrativas comuns encontradas nos povos maranhenses. No sistema capitalista da atualidade, onde todos os produtos podem e tendem a ser valorados e comercializados, a cerâmica aparece como uma opção de fonte de renda para muitas cidades e comunidades, tornando-se um objeto a favor da autonomia das mulheres.

Para além das cidades e comunidades, a cerâmica tem relevância nacional no aspecto econômico. Segundo a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER) existem aproximadamente 5.600 fábricas de cerâmicas vermelhas no Brasil (Brasil, 2021), onde os principais produtos são: blocos, tijolos, telhas, elementos vazados, lajes, lajotas, ladrilhos e utensílios domésticos, ademais, participa como principal fornecedor de materiais para a construção civil, como alvenaria e cobertura (Brasil, 2021), conforme tabela 01:

TABELA 05: Relação de produção e venda de produtos cerâmicos em 2016

Produção/mês (em ML)	
Telhas cerâmicas	2.554.202.000
Blocos cerâmicos	5.702.479.000
Total	8.256.681.000

Fonte: Brasil (2021), adaptado pelo autor

Já quanto à cerâmica para revestimento, onde os principais produtos são os pisos, azulejos, pastilhas e ladrilhos, o setor totalizou 826 milhões de m², a exportação registrou US\$ 329 milhões e a importação US\$ 37,2 milhões (Brasil, 2021). Esses números expressivos revelam o avanço socioeconômico que as cerâmicas vêm adquirindo ao longo dos anos, conforme tabela 02:

TABELA 06: Relação exportação e importação produtos cerâmicos

ANO	EXPORTAÇÕES		IMPORTAÇÕES		SALDO
	(10 ³ t)	(10 ⁶ US\$)	(10 ³ t)	(10 ⁶ US\$)	(10 ³ US\$)
2016	1.267	308.917	151	59.222	249.695
2017	1.356	343.214	139	57.998	285.216
2018	1.484	448.539	126	55.447	393.092
2019	1.469	346.662	103	45.552	301.110
2020	1.426	328.436	69	37.169	291.267

Fonte: Brasil (2021)

No estilo de vida contemporâneo, que gera muitos resíduos e grande parte dele se torna lixo, a cerâmica ganha um papel protagonista na redução dos mesmos. Isso acontece porque a argila é um material capaz de englobar novos materiais sem necessidade de altas tecnologias, melhorando as qualidades físicas e mecânicas conforme a pretensão do que é adicionado e a finalidade do produto.

2.2.3 Tecnologia aplicada ao artesanato

O artesanato é definido como toda atividade produtiva de objetos realizados manualmente, ou com a utilização de meios tradicionais ou rudimentares, com habilidade, destreza, apuro técnico, engenho e arte (Neto, 2014). Portanto, é na parte técnica e tecnológica que o designer encontra o seu campo de atuação sobre o artesanato com a finalidade de oferecer melhores resultados aos produtos, sem desmerecer ou comprometer os saberes ancestrais.

Estes saberes são encontrados com mais frequência nos locais onde a cultura é passada com o mínimo de influência dos saberes externos, como as comunidades urbanas, quilombos e povos indígenas. Logo, se faz necessário discorrer sobre os métodos de produção para, em seguida, sugerir novas aplicabilidades e tecnologias.

Os primeiros registros de cerâmicas utilitárias surgiram no período neolítico, devido à necessidade de armazenamento dos mantimentos cultivados. De acordo com Napoli (2015), as produções cerâmicas desenvolvidas pelas etnias indígenas no Brasil começaram na Ilha do Marajó, a maior do delta do Amazonas e chamam atenção pela sua complexidade e belezas únicas.

Nestas civilizações, as produções de vasilhas de cerâmica não são padronizadas e não seguem rigidamente uma regra de produção, pois os

ensinamentos são principalmente orais e dinâmicos. Logo, nas comunidades ceramistas, os indivíduos distinguem facilmente entre produções os artefatos que, do ponto de vista externo, pareceriam iguais (Schaan, 2007).

Cada sociedade possui a sua própria estética, hierarquias e formalidades. Assim, as pinturas corporais, as roupas, os objetos que carregam, comunica sobre o grupo a que o indivíduo pertence, sobre sua identidade individual e social (Schaan, 2007) e, em adição aos adornos, os objetos e as artes neles feitas também trazem consigo códigos que remetem às hierarquias sociais.

A produção cerâmica marajoara consiste no uso de argila com 'temperos', que são aditivos naturais acrescentados para dar consistência à argila, normalmente sendo de origem orgânicas, como fibras e vegetais e, por vezes, inorgânicas, como quartzo e conchas (Toyota, 2009). Após a modelagem manual, contendo motivos antropomorfos, zoomorfos e abstratos, com tingimento entre vermelho, laranja, branco e preto (Neves, 2019), eram submetidas ao forno em alta temperatura para a queima.

FIGURA 05: Peças cerâmicas marajoaras



Fonte: Neves (2019)

Os marajoaras utilizavam a técnica de modelagem conhecida como acordelamento, que consistia em utilizar cordas ou rolos de argila sobrepostos a partir de uma base para confeccionar suas peças. Além destas, eles também dominavam a técnica da incisão, que consistia em gravar ou entalhar desenhos na superfície das peças, e a pintura, utilizando pigmentos naturais para decorar os vasos.

A literatura aponta para a existência de sambaquis no litoral centro-sul e para a costa do Pará e Maranhão, onde nestes sítios são encontrados cerâmica temperada com conchas, sendo motivador para a criação da tradição ceramista chamada de Mina. Contudo, a cerâmica dos sambaquis maranhenses contém particularidades em relação aos tupis históricos, em vista de ser mais rudimentar, sem pinturas, mas apenas com bordas marcadas a dedos e raspagens, formando desenhos geométricos (Lopes, 1970).

Através de traços comuns nas cerâmicas, Simões (1975, 1981) constatou que os sambaquis foram habitados por indivíduos adaptados ao ambiente marinho e que possuem formação cultural específica para ceramistas. Ressaltando assim, o aspecto antropológico que a cerâmica tem prestado à história maranhense na caracterização do seu povo.

A cerâmica vermelha constitui a maior produção maranhense, sendo a característica comum das argilas encontradas e trabalhadas pelos ceramistas. Município como Rosário tem se destacado nas produções, trabalhos e avanços tecnológicos no Estado, porém, outras cidades têm mostrado diferentes tipos de argila, como no caso de Tutoia, Barreirinhas e Vargem Grande, que encontram a argila clara em seus sítios.

Nestes municípios e nas suas proximidades, a produção artesanal é trabalhada principalmente através de fibras. Isso ocorre devido à sua proximidade geográfica com Barreirinhas, que é uma das principais produtoras de artesanato da fibra do Buriti (Keller, 2014) e também porque as argilas encontradas em seu sítio são de difícil manuseio, devido à grande presença de areia.

Além disso, a coloração marrom ou avermelhada é dada principalmente pela presença do óxido de ferro presente nas argilas. A ausência dele, ocasionando a cor branca, implica em outras propriedades que lhe é devido, como a capacidade refratária da cerâmica, aumentando o seu ponto de fusão, resistência mecânica e estabilidade dimensional. Neste sentido, as argilas brancas tendem a ter baixo ponto de fusão e grande retração, o que facilita as fissuras nas modelagens.

Apesar de não ser o principal destaque da região, os ceramistas de Vargem Grande, apresentaram esta argila para a Universidade Federal do Maranhão (UFMA) com o intuito de entender como melhorar sua capacidade de modelagem, por não ter sido trabalhada ainda e, conseqüentemente, desenvolver uma forma de valoração para a mesma.

2.3 O Design na composição de novos produtos

Antes do século XX, no Brasil, falava-se em artistas e artesãos para se referir àquelas pessoas que trabalhavam desenvolvendo produtos, criando ideias de novas peças e as executando. Após, surgiu o termo design, sendo o designer o profissional de papel intermediário entre o campo da ideia e o comércio, aquele que combina a arte à indústria, capaz de idealizar, renovar e redirecionar o imaginário a um produto final.

A palavra Design tem origem do latim “*designare*”, que pode significar tanto desenhar quanto destinar. Porém, a palavra Design utilizada nos dias atuais, é um termo da língua inglesa oriunda do italiano “*disegno*”, que refere-se tanto à ideia de desígnio e intenção quando substantivo, como à de configuração, arranjo e estrutura quando verbo (Cardoso, 2008).

As funções de Design variam de acordo com o interesse em que se é aplicado. Na perspectiva de um empresário, a intenção e função do design giram em torno do mercado capitalista em que ele é desenvolvido, já em algumas comunidades, o design pode ser o traço de identidade e comunicação da mesma. Assim, o design é resultado das necessidades, dos desejos e anseios de uma determinada sociedade em um contexto de tempo e espaço limitado.

Munari (1984) afirma que o designer é um projetista dotado de sentido estético que trabalha para a comunidade, logo, a relação entre artesanato e design são estreitas. O primeiro retrata uma identidade de um povo, com seus métodos de produção e materiais próprios, o segundo, surge para auxiliar na criação de novos produtos, seguindo a tradição e procurando trazer novos sentidos e tecnologias para o primeiro, ficando quase que inseparável conforme é dito por uma artesã em Barreirinhas “*Porque isso aqui, hoje nós temos design, todo ano vem um designer pra criar uma coleção nova, mas antes do design a gente mesmo criava as nossas peças*” (Keller, 2014).

Por conseguinte, fica claro que esta relação abre portas para o desenvolvimento de novas tecnologias quando há troca mútua entre a comunidade e o designer, ao qual cabe à comunidade o fornecimento do material, suas técnicas e produtos, já ao designer, cabe o aprimoramento dos materiais, das técnicas e dos produtos.

É no processo criativo onde o designer desenvolve tais papeis, uma vez que o processo é sistemático e dotado de metodologia que define a diretriz do produto final. Onde, considerando a natureza sustentável do design, esta abre as possibilidades e direciona a criatividade para a produção de novas tecnologias com a utilização de materiais que prejudicam a natureza, atribuindo novas funções aos mesmos.

2.3.1 Compósitos: a prática do design

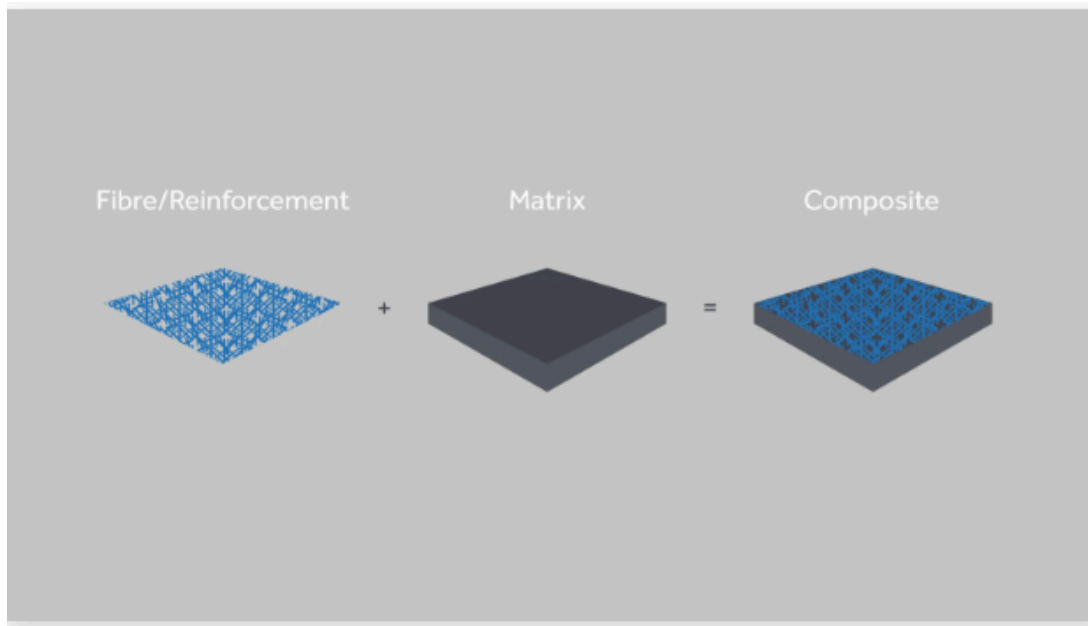
Os materiais compósitos podem ser entendidos como misturas não solúveis de dois ou mais constituintes com distintas composições, estruturas e propriedades que se combinam e em que um dos materiais garante a ligação, chamado de matriz e, o outro a resistência, chamado de reforço (Moreira, 2008).

Na elaboração de um compósito, o designer observa dois objetivos: (1) a elaboração de um produto cujo material combinado apresenta propriedades melhores do que os elementos envolvidos de forma isolada e (2) conceber soluções e direcionamento para os materiais disponíveis. É sobre essa elaboração que Calegari e Oliveira (2013) afirmam que o designer de produto concebe ideias, conceitos, desenhos e projetos que são concretizados através dos materiais.

As escolhas dos materiais para serem utilizados variam conforme o objetivo do compósito. Logo, para esta pesquisa foram selecionados a argila, para possuir a função de matriz, que os próprios artesãos forneceram juntamente com resíduo de rochas ornamentais, para possuírem a função de reforço. Assim está se cumprindo os dois objetivos mencionados anteriormente.

Os compósitos podem apresentar as mais variadas formas conforme os materiais utilizados e o que se pretende analisar. Para esta pesquisa, foi decidido a forma retangular para a avaliação das propriedades tecnológicas das misturas de argila com resíduo de rochas ornamentais, conforme exemplificado na figura 06

FIGURA 06: Representação de compósito



Fonte: Rapid direct, 2025. Disponível em:

<https://www.rapiddirect.com/pt/blog/what-is-composite-material-types-uses/>. Acesso em 14 set. 2025

Todo material cerâmico exige diferentes formas de processo de conformação ou modelagem. Por conseguinte, levando em consideração que as cerâmicas possuem um elevado ponto de fusão e comportamento mecânico frágil, as misturas e adições de produtos são confeccionados a partir do pó, onde a consistência varia de acordo com o líquido adicionado.

Para a produção dos compósitos cerâmicos, os principais tipos de conformação cerâmica e de baixo custo são: (1) modelagem à mão livre, (2) por prensagem a seco e (3) extrusão.

2.3.1.1 Modelagem à mão livre

Esta forma de modelagem se trata da mais tradicional entre as supracitadas, consiste na capacidade de modelar a composição da argila úmida para a forma final da peça, antes da queima, sem a utilização da roda de oleiro, as formas pré-moldadas ou prensa.

O contato direto com a argila nesta forma de modelagem promove experiências sensoriais, emocionais e intelectuais entre o artesão e a peça, criando uma relação mútua, onde a peça concebe características de íntimas do artesão e, o

artesão, a “exteriorização de alegrias e frustrações, envolvendo, despertando, [...] seu lado artístico e poético” (Rocha, 2015), conforme mostra a figura 07

FIGURA 07: Modelagem à mão livre



Fonte: Rocha (2015)

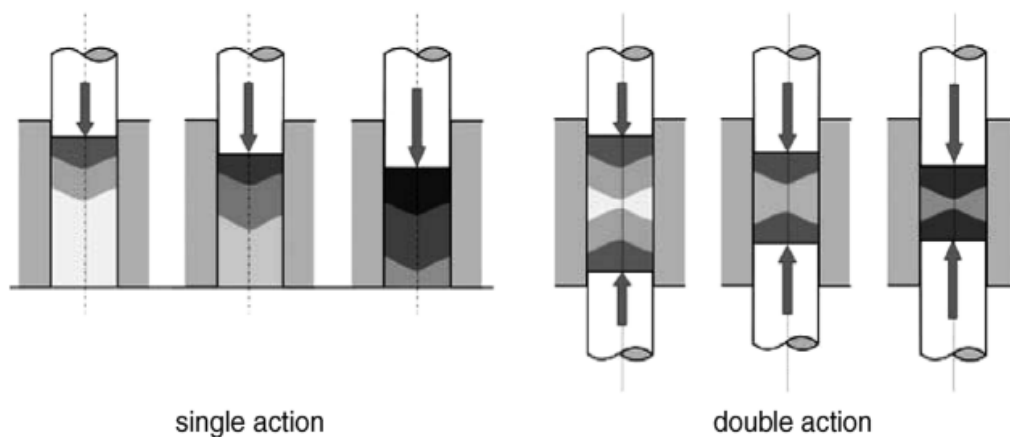
2.3.1.2 Modelagem por prensagem à seco

O processo de conformação por prensagem a seco consiste na colocação de uma massa de argila em pó granulado úmido em um molde rígido, fazendo as misturas das matérias-primas, em seguida sendo compactada com a aplicação de uma força de pressão por um tempo determinado. O molde utilizado tem a forma final da peça, ficando esta com um aspecto praticamente definitivo após a conformação, e uma resistência mecânica que permite aguentar os tratamentos e testes seguintes (Freitas et al, 2009).

Como em toda conformação, há variáveis que influenciam no processo, tais como, a velocidade de aproximação do punção à matriz, a duração da aplicação da força de compactação, a velocidade de subida da força de compactação entre patamares, a força de compactação máxima e o número de ciclos de carga e descarga, caso a força de pressão máxima seja cíclica (Freitas et al, 2009).

De acordo com Oberacker (2011), existe grande desvantagem da compactação de ação única, que acontece quando força de prensagem vem apenas de um lado, que é o gradiente de densidade assimétrico, ocasionando a deformação dos corpos compactados durante a sinterização. Este problema pode ser significativamente reduzido, no entanto, se a pressão de compactação ocorrerem em ambas as punções, conforme mostra a figura 08

FIGURA 08: Modelos de punções

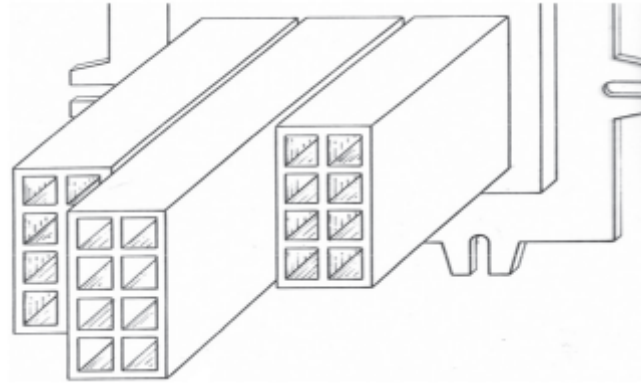


Fonte: Oberacker (2011)

2.3.1.3 Modelagem por extrusão

Esta técnica de conformação consiste em que a massa cerâmica plástica é forçada a passar por um orifício, ou matriz, com a forma final da peça. Segundo Wieck (2014), este processo é limitado para a produção de objetos de seção constante, sendo fortemente utilizado na indústria cerâmica vermelha, conforme mostra a figura 09.

FIGURA 09: Fabricação de tijolos através da extrusão



Fonte: Wieck (2014)

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O presente capítulo descreve e explana todo o percurso metodológico adotado para atingir os objetivos supracitados. Tal percurso é composto de processos que visam a aplicação de técnicas desenvolvidas e apresentadas nas literaturas e cuja finalidade foi auxiliar na investigação para obter as respostas para a questão da pesquisa: “O que compõe esta argila, extraída de Vargem Grande - MA, e se é possível desenvolver um produto somado ao resíduo de marmorarias para produção de um artefato acessível para a comunidade?”.

Para melhor complementar este percurso, segue a seguinte definição: “Pesquisa é o conjunto de procedimentos sistemáticos, baseado no raciocínio lógico, que tem por objetivo encontrar soluções para problemas propostos, mediante a utilização de métodos científicos” (Andrade, 2001, p.121).

Conforme Santos (2018), o método científico é formado por uma sequência de protocolos, ferramentas e critérios que são organizados de forma lógica no desenvolvimento do conhecimento. Assim, a pesquisa parte de uma pergunta, fruto de uma observação, por conseguinte, para ser ratificada, deve-se estar submetida ao rigor dos métodos validados.

Deste modo, esta pesquisa possui abordagem quantitativa, conforme Minayo (2008), pois tem o objetivo de mostrar dados, indicadores e tendências observáveis e a natureza da presente pesquisa é básica, uma vez que preocupa-se em desenvolver conhecimentos científicos visando o progresso da ciência, de acordo com Gil (2008).

O objetivo da presente pesquisa possui caráter exploratório, pois segundo Gil (2008), as pesquisas exploratórias consiste no desenvolvimento, esclarecimento e modificação dos conceitos e ideias, com a finalidade de formulação de problemas ou hipóteses pesquisáveis através de estudos posteriores, ainda, porque há pouca compreensão sobre o fenômeno, incluindo, causas e efeitos, sua dinâmica e identificação de variáveis relevantes.

De acordo com Santos (2018), o primeiro passo para a elaboração de uma pesquisa experimental é a análise crítica do problema, as suas variáveis e dinâmicas conhecidas. Para isso, se faz necessário o conhecimento do estado de arte dos resíduos de rochas ornamentais, com as suas aplicações e técnicas. Do

mesmo modo, há a necessidade de caracterização da argila, uma vez que sobre ela, não há dados disponíveis ainda.

A pesquisa divide-se em duas etapas, consistindo (1) em levantamento teórico através da revisão de literatura, contendo conceitos, normas reguladoras, características e processos de conformação dos materiais cerâmicos e, (2) teste de laboratório para a produção de corpos de provas.

Após o levantamento de dados e as suas análises, há a produção dos compósitos para a realização dos ensaios e testes laboratoriais normatizados. Estes corpos de provas servirão para os estudos de suas características e propriedades tecnológicas da associação dos materiais escolhidos anteriormente.

A formulação da cerâmica tradicional é constituída de dois elementos principais, sendo (1) o material plástico e (2) o material duro. O constituinte plástico permite que o corpo cerâmico seja moldado, enquanto os constituintes duros permitem ao corpo cerâmico sua forma, após a queima (Motter, 2000). Para esta pesquisa, o material plástico determinado é a argila adicionada à argila marfim para conferir melhor adesão e maleabilidade, já o material duro, é o resíduo de rochas ornamentais.

Os testes em laboratórios são realizados mantendo Smith (1998) como referência na confecção dos corpos de provas, devido ao fato de não utilizar o acabamento como etapa necessária, limitando a sinterização do produto. Assim, os testes e experimentações são divididos em (1) modelagem do corpo de prova, (2) conformação do corpo de prova à mão livre, (3) descrição das propriedades antes e após a queima, (4) queima do corpo de prova em temperaturas e duração pré-definidas.

As propriedades analisadas que avaliam a qualidade aos corpos de prova são: (1) absorção de Água, (2) Porosidade Aparente, (3) Densidade, (4) Perda ao fogo, (5) Retração Linear e (6) Módulo de resistência à flexão 3 pontos. De acordo com o resultado obtido destas propriedades é que deve ser direcionada a pesquisa para a produção do material final como revestimentos, artefatos dentre outros.

A pesquisa não pode se distanciar da realidade dos artesãos. Logo, a granulometria selecionada para a fabricação dos compósitos tende ser a mais acessível e de fácil acesso, assim, as argilas são passadas na peneira de 100 mesh, que é comum encontrar na região. Importante ressaltar que todo o processo de fabricação dos corpos de provas são feitos com utilitários de fácil acesso.

Callister (2002) afirma que as temperaturas ideais são entre 900 e 1400°C, mas que podem variar de acordo com a composição do corpo de prova. As confecções, testes e experimentações foram desenvolvidas no Laboratório de Design Cerâmico (LDC) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

3.1 Percurso metodológico de Tutoia a Vargem Grande

A argila que originou o interesse da pesquisa inicialmente foi extraída de Tutoia e foi submetida a modelagem por prensagem à seco. Inicialmente, utilizou-se a argila em diferentes quantidades associados a resíduo de marmoraria em diferentes proporções, com o intuito de associar à argila novas propriedades tecnológicas.

Contudo, a argila não foi eficaz nestas incorporações, pois com a grande quantidade de areia presente na mesma, as partículas do resíduo não tinham aderência à massa cerâmica, neste sentido, foi acrescido à mistura a argila de Marfim, adquirida em comércio local em São Luís, para melhorar a aderência dos resíduos de rochas ornamentais e ter melhor maleabilidade para modelar a argila, conforme mostra a tabela 07.

TABELA 07: Síntese processo dos corpos de prova

	CORPO A	CORPO B	CORPO C
ARGILA DE TUTOIA	60%	50%	55%
ARGILA MARFIM	30%	30%	30%
PÓ DE ROCHAS ORNAMENTAIS	10%	20%	15%

Fonte: Autor (2024)

As temperaturas entre todas formas de permutações de proporções foram as pré-estabelecidas: 1000°C, 1100°C e 1200°C. Como resultado, as peças cerâmicas ainda eram frágeis e insuficientes para prosseguir com os testes.

Outras argilas estudadas pelo Laboratório de Design Cerâmico (LDC) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) reagiram bem na sua maleabilidade com a adição de pó de vidro (Ferreira, 2024). Assim, foram feitos testes utilizando a combinação entre argila extraída em Tutoia, pó de vidro, argila de marfim e o resíduo de marmoraria, contendo também as variações entre os materiais e até mesmo a exclusão da argila de marfim e/ou do resíduo de marmoraria.

Nas referidas combinações, as peças ainda não foram satisfatórias, deste modo, optou-se pela mudança do local da extração da argila. Assim, foi solicitado argila aos ceramistas de Barreirinhas - MA, para seguir os testes. Contudo, a argila apresentou problemas similares devido a quantidade de areia, conforme mostra a figura 10.

FIGURA 10: Argila de Barreirinhas após seca em temperatura ambiente



Fonte: Acervo pessoal do autor (2025)

A grande quantidade de areia nesta argila confere baixa plasticidade, tornando-a difícil para modelar, deste modo, as peças produzidas eram facilmente danificadas e tornavam-se frágeis após a conformação por prensagem.

Ampliando o raio de onde encontra-se a argila de cor clara, foi solicitado uma amostra da região de Vargem Grande. Esta argila foi fornecida pelos próprios ceramistas da região à UFMA para a sua caracterização e melhoria, visando futuras aplicações pelos artesãos.

3.1.1 Adaptação metodológica para argila de Vargem Grande

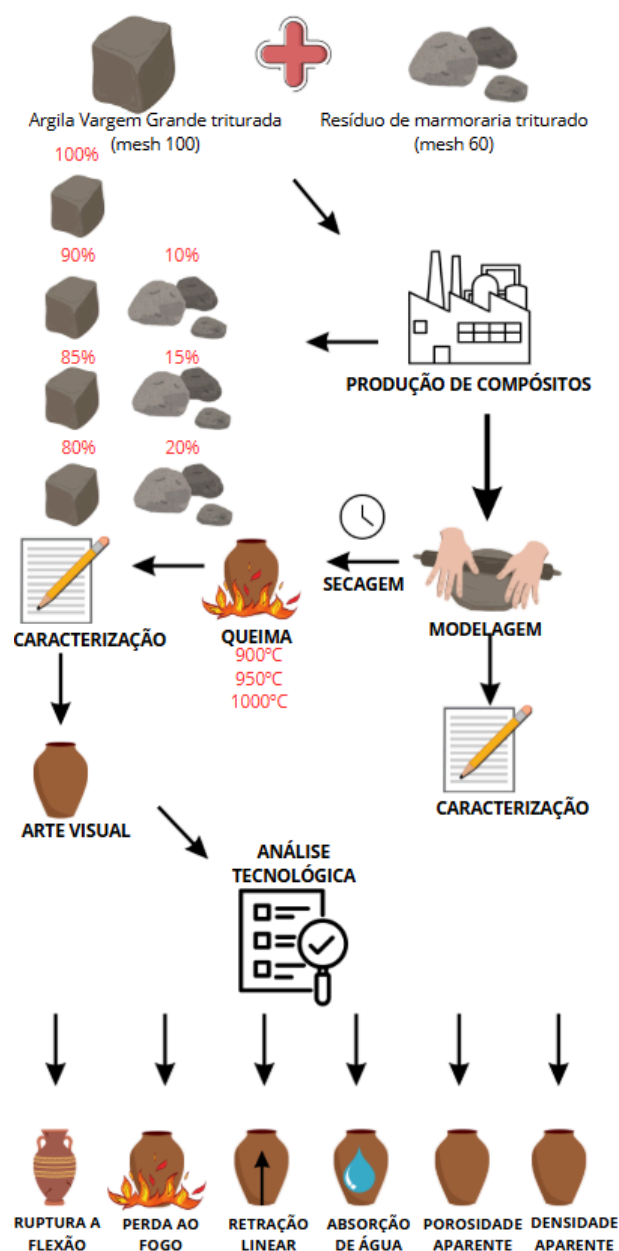
Como todo material cerâmico exige um processo de conformação ou modelagem, para a argila de Vargem Grande foi escolhida a modelagem à mão livre, substituindo o processo de conformação por prensagem utilizado anteriormente pelo processo da argila de Tutoia. Isto ocorre devido à particularidade da argila, embora ambas tenham grande quantidade de matéria orgânica, a presença de menos areia na argila de Vargem Grande faz com que a mesma sofra deformação quando retirada da forma da prensagem, pois se torna grudenta.

Esta particularidade da sua formação é o que permite a adição e incorporação de resíduo de marmoraria sem a necessidade de utilizar argila de

marfim. Assim, ao fim da modelagem à mão livre, as peças são colocadas para secar em temperatura ambiente.

A partir de recomendação das artesãs, a temperatura de queima foi alterada para temperaturas menores, sendo 900°C, 950°C e 1000°C. Pois as peças têm menos risco de quebrar nessas temperaturas em relação às mais elevadas. Com as devidas alterações, é elaborado o infográfico para compreender o passo a passo da pesquisa

FIGURA 11: Infográfico da produção do compósito



Fonte Autor (2025)

3.2 Aspectos técnicos

Prodanov e Freitas (2013) afirmam que para a elaboração de uma pesquisa científica, é necessário discorrer sobre todos os processos desde o início da sua composição ao resultado final e divulgação do conhecimento. Por conseguinte, nesta seção serão abordados os aspectos técnicos e as caracterizações dos ensaios e processos experimentais precedentes à produção.

É importante esclarecer que as pesquisas em design para estudos com materiais, as metodologias são diferentes das engenharias e arquiteturas. Isso ocorre porque, enquanto, as últimas estão focadas no material em si, o design é uma ação contemporânea de tradução e influência na vida do homem (Moura, 2011), se preocupando, portanto, com toda a realidade que o cerca.

3.2.1 Caracterização das matérias-primas, materiais e equipamentos

Guilhon (2016) afirma que é necessário conhecer os materiais e ferramentas que são empregadas em qualquer prática de experimento. Neste sentido, deve-se discorrer sobre os materiais utilizados, são eles:

- ❖ *Argila branca*, em seu estado natural, proveniente de Vargem Grande (MA).
- ❖ *Rochas ornamentais*, mármore e granitos, proveniente das sobras de cortes após beneficiamento por marmorarias de São Luís (MA)

Para o manuseio, preparação dos materiais e confecção dos corpos de provas, são utilizados utensílios de fácil acesso ao cotidiano e a realidade dos artesãos. São eles:

- Colheres e espátulas metálicas
- Pilão metálico
- Recipientes plásticos
- Garrafas de vidro
- Borrifador
- Água
- Caneta
- Fita crepe
- Crivo

Quanto aos equipamentos utilizados para a realização dos ensaios:

- Paquímetro digital
- Estufa elétrica
- Forno elétrico
- Peneira granulométrica (100 mesh e 60 mesh)
- Balança digital

3.2.2 Difração de Raios X

A identificação das espécies minerais presentes na argila e no pó de rochas ornamentais foi realizada através da técnica de difração de raio X (DRX). Os pós analisados foram passados na malha de 100 mesh.

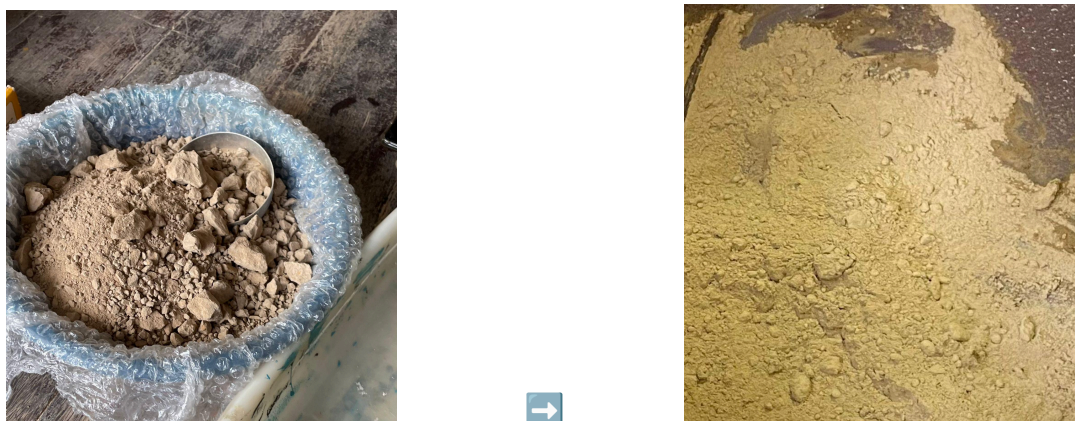
As análises foram realizadas na Central Multiusuário de Pesquisa em Materiais e Biosistemas da UFMA (CeMatBio), no Difratorômetro de Raios-X D8 Advance Bruker. As condições de análise foram as seguintes: campo de varredura de 5º a 80º para 2 θ ; velocidade de varredura de 2º/min; passo de 0,02º; tubo de Cu ($\lambda=1,540598$).

Os picos foram identificados por comparação com as cartas padrões compiladas pelo Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) e cadastradas na International Centre for Diffraction Data (ICDD). O Software utilizado para identificação foi o X' Pert High Score.

3.2.3 Confecção do corpo de prova

Para iniciar a confecção do corpo de prova, foi necessário primeiro manipular as matérias-primas, a fim de padronizá-las. Para isso, o primeiro passo é triturar a argila para obter a granulometria pré-estabelecida, 100 mesh, sendo, em seguida, reservada em um recipiente à parte.

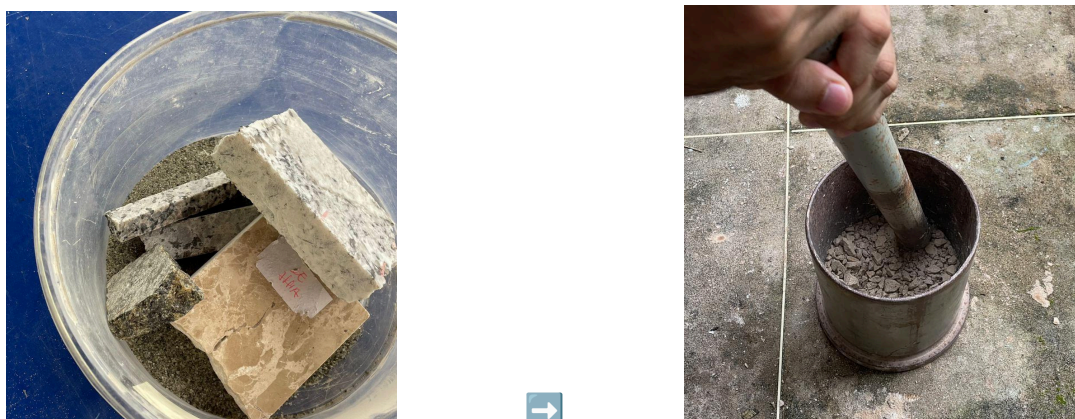
FIGURA 12: Argila após passar pela peneira 100 mesh



Fonte: acervo do autor (2025)

Após essa etapa, foi feita a trituração das pedras ornamentais no pilão. O processo é similar, porém a granulometria a que estão submetidos é 60 mesh e depois reservado em recipiente vítreo, à parte.

FIGURA 13: Resíduo de rochas ornamentais triturados



Fonte: acervo do autor (2025)

Em seguida, com os materiais já beneficiados e separados, foi feita a pesagem individual na balança digital utilizando recipientes plásticos, para obter os devidos pesos de acordo com cada mistura que se pretende confeccionar.

TABELA 08: Proporção de confecção corpos de prova

Argila de Vargem Grande	Pó de rochas ornamentais
100%	0%
90%	10%
85%	15%
80%	20%

Fonte autor (2025)

Posteriormente à pesagem, os materiais são misturados em recipiente plástico, até a composição ficar homogênea. Depois, são umedecidos através do borrifador até que haja a adesão dos grãos de argila, mas sem que estejam encharcadas. Novamente, são peneirados em crivos, para desaglomerar os materiais e seguir para a modelagem.

FIGURA 14: Mistura úmida após passar pelo crivo



Fonte: acervo do autor (2025)

3.2.4 Modelagem

Devido à necessidade de replicabilidade em testes laboratoriais, para esta pesquisa foram desenvolvidos três corpos de provas para cada composição e temperatura. Ou seja, foram confeccionados três corpos de prova 100% argila de

Vargem Grande para cada temperatura (900°C, 950°C e 1000°C), totalizando 9 corpos de provas para cada composição. Ao fim, estima-se a produção de 36 corpos de prova para as temperaturas de queima.

A modelagem foi feita à mão livre, com peças retangulares medindo aproximadamente 7 cm de comprimento por 3 cm de largura e 1,5 cm de altura, podendo sofrer variação, mas que não resultam na qualidade da pesquisa, pois os cálculos são aplicados de acordo com as medidas das peças. Após o processo, os corpos de provas são direcionados para a etapa seguinte.

FIGURA 15: Corpo de prova modelado à mão livre



Fonte autor (2025)

Para a catalogação dos resultados, foi desenvolvido uma codificação em letras de acordo com a temperatura trabalhada, e, para os percentuais da argila de Vargem Grande utilizado na amostra, um número. Por exemplo, para 900°C são chamados de “A”, logo, os corpos de prova 100% argila de Vargem Grande submetidos a esta temperatura são chamados de A1, já o corpo de prova que utiliza apenas 90%, é o A2 e assim sucessivamente.

FIGURA 16: Ficha 900°C

FICHA CATALOGRÁFICA						900°C					
CÓDIGO DO CORPO DE PROVA		MASSAS (g)				DIMENSÕES APÓS (mm)					
						SECAGEM			QUEIMA		
		SECA	ÚMIDA	IMERSA	QUEIMA	C	L	H	C	L	H
A1 (natural)	A101										
	A102										
	A103										
	MÉDIA A1										
A2 (10%)	A201										
	A202										
	A203										
	MÉDIA A2										
A3 (15%)	A301										
	A302										
	A303										
	MÉDIA A3										
A4 (20%)	A401										
	A402										
	A403										
	MÉDIA A4										

Fonte autor, adaptado de Guilhon (2016)

FIGURA 17: Ficha 950°C

FICHA CATALOGRÁFICA						950°C					
CÓDIGO DO CORPO DE PROVA		MASSAS (g)				DIMENSÕES APÓS (mm)					
						SECAGEM			QUEIMA		
		SECA	ÚMIDA	IMERSA	QUEIMA	C	L	H	C	L	H
B1 (natural)	B101										
	B102										
	B103										
	MÉDIA B1										
B2 (10%)	B201										
	B202										
	B203										
	MÉDIA B2										
B3 (15%)	B301										
	B302										
	B303										
	MÉDIA B3										
B4 (20%)	B401										
	B402										
	B403										
	MÉDIA B4										

Fonte autor, adaptado de Guilhon (2016)

FIGURA 18: Ficha 1000°C

FICHA CATALOGRÁFICA						1000°C					
CÓDIGO DO CORPO DE PROVA		MASSAS (g)				DIMENSÕES APÓS (mm)					
		SECA	IMERSA	ÚMIDA	QUEIMA	SECAGEM			QUEIMA		
						C	L	H	C	L	H
C1 (natural)	C101										
	C102										
	C103										
	MÉDIA C1										
C2 (10%)	C201										
	C202										
	C203										
	MÉDIA C2										
C3 (15%)	C301										
	C302										
	C303										
	MÉDIA C3										
C4 (20%)	C401										
	C402										
	C403										
	MÉDIA C4										

Fonte autor, adaptado de Guilhon (2016)

3.2.5 Secagem

Após a modelagem, as peças foram colocadas para secarem de forma natural. Este processo dura por volta de 14 (catorze) dias devido à grande quantidade de água que os CPs foram submetidos para a modelagem, conforme mostra a Figura 19

FIGURA 19: Corpo de prova no processo de secagem

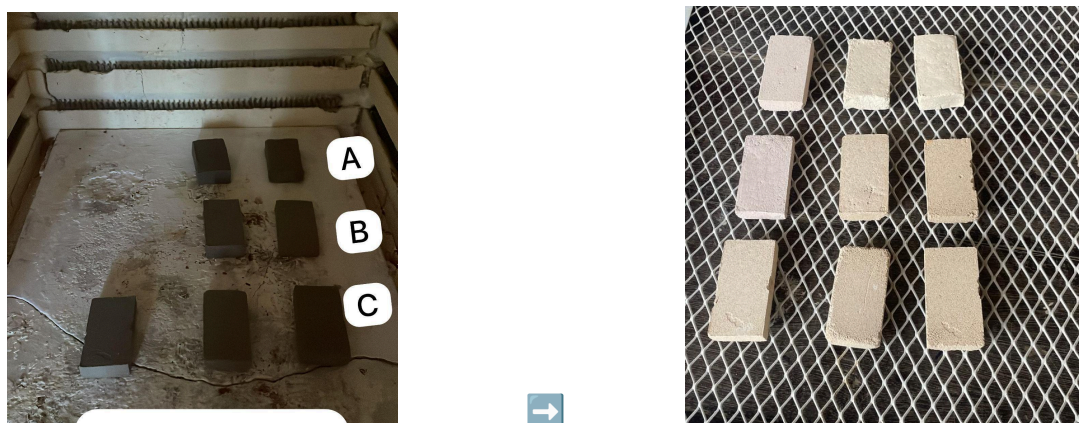


Fonte: acervo do autor (2025)

3.2.6 Queima

A queima dos corpos de prova foi realizada em forno elétrico fornecido pelo Laboratório de Design Cerâmico (LDC) em três momentos separados, e com as variáveis supracitadas (1) 900°C, (2) 950°C e (3) 1000°C.

FIGURA 20: a) Corpos de prova no forno b) Corpos de prova após a queima



Fonte acervo do autor, 2025

3.3 Propriedades tecnológicas

Aqui foram tratados os parâmetros que descrevem o comportamento dos corpos de provas após serem submetidos aos processos de fabricação e os devidos testes;

3.3.1 Absorção de água (AA)

O procedimento para obtenção do parâmetro de absorção de água, obedeceu a norma ABNT NBR 15097-1 (2021), consistindo na imersão dos corpos de prova em água por 24 horas (Figura 21) depois de serem secos em uma estufa à temperatura de 60°C até atingirem uma massa constante. A absorção é calculada pela Equação 01.

FIGURA 21: CPs imersos por 24h



Fonte: acervo do autor (2025)

Em seguida foi aplicado a equação 01 para a determinação da AA:

$$AA = \frac{(M_u - M_s)}{M_s} \times 100 \quad (01)$$

sendo:

AA = absorção de água (%),

MU = massa do corpo de prova úmido (g),

MS = massa do corpo de prova seco (g).

3.3.2 Porosidade Aparente (PA)

Para determinar a porosidade aparente, os corpos de prova foram imersos em água até eliminação de bolhas e pesados em balança hidrostática, obtendo assim a massa imersa, conforme mostra a figura 22. Com um papel toalha, o excesso de água foi retirado da superfície dos corpos de prova que foram novamente pesados, obtendo-se assim, a massa úmida saturada. Com esses valores foi possível calcular a porosidade aparente utilizando-se a equação 02.

$$PA = \frac{(M_u - M_s)}{(M_u - M_i)} \times 100 \quad (02)$$

Sendo:

PA é a porosidade aparente (%),

Mu é a massa do corpo de prova úmido (g),

Ms é a massa do corpo de prova seco (g),

Mi é a massa do corpo de prova imerso (g).

FIGURA 22: CP em balança hidrostática



Fonte: acervo do autor (2025)

3.3.3 Densidade Aparente (DA)

A densidade aparente dos corpos de prova após a queima foi determinada de acordo com a equação 03.

$$DA = \frac{M_q}{M_u - M_i} \times \rho_{\text{água}} \quad (03)$$

Sendo:

DA é a densidade aparente (g/cm³),

M_q é a massa do corpo de prova seco após a queima (g),

M_u é a massa úmida do corpo de prova (g),

M_i é a massa do corpo de prova imerso (g),

ρ_{água} é a densidade da água (g/cm³), que em condições normais ≈ 1 g/cm³.

3.3.4 Perda ao Fogo (PF)

Consiste em verificar a diferença de massa das amostras antes e depois da sinterização (queima), indicando também a perda de matéria orgânica, água e decomposição de carbonatos. Para a realização deste teste necessitou-se apenas das massas dos corpos-de-prova antes e após a queima. Segundo Santos (1989) determina-se a perda ao fogo através da equação 04.

$$PF = \frac{(M_{sa} - M_q)}{M_{sa}} \times 100 \quad (04)$$

Sendo:

PF é a perda ao fogo (%),

M_{sa} é a massa seca antes da queima (g),

M_q é a massa seca após a queima (g).

3.3.5 Retração Linear (RL)

Grandeza que exprime o quanto o corpo de prova diminui de tamanho após a queima. Esta retração, ocorre sobretudo em virtude da união das partículas durante a sinterização, ocasionando a diminuição da quantidade de poros e, consequente retração. O procedimento para sua determinação foi o seguinte: após a etapa de queima, os corpos de prova foram medidos novamente e, através da equação 05,

foi possível determinar a retração linear após a queima, seguindo a norma ABNT NBR 15097-1 (2011)

$$RL = \frac{(L_s - L_q)}{L_s} \times 100 \quad (05)$$

Sendo:

RL é a retração linear (%)

Ls é o comprimento do corpo de prova seco antes da queima (mm),

Lq é o comprimento do corpo de prova seco depois da queima (mm).

3.3.6 Módulo de Resistência à Flexão (MRF)

Orientado pela ABNT NBR ISO 10545-4:2020, é necessário maquinário específico para o ensaio, aplicando carga constante e controlada sobre o corpo de prova.

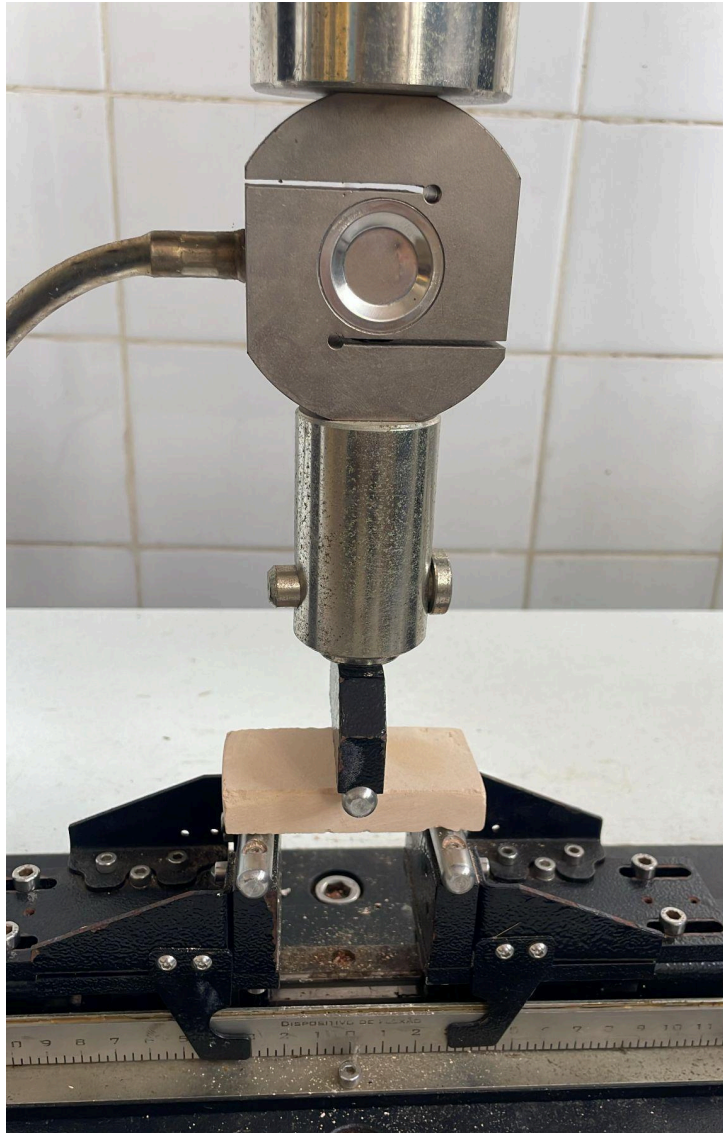
FIGURA 23: Máquina para ensaio de MRF



Fonte: Biopdi. Disponível em <https://biopdi.com.br/ensaios-mecanicos/maquina-universal-de-ensaios/10000kgf/>. Acesso em 19 de junho 2025

Para a execução, o CP deve ficar sobre uma superfície de dois apoios, onde a máquina aplica a força no centro da peça para calcular a máxima tensão de resistência à flexão, como mostra a Figura 28.

FIGURA 24: CP com dois apoios



Fonte: acervo do autor (2025)

Os dados obtidos são enviados para o computador ao qual está conectado, formando o gráfico para análise conforme mostra a Figura 25.

FIGURA 25: Gráfico de análise do CP



Fonte: acervo do autor (2025)

Após essa etapa, os resultados de força e deformação são utilizados para obtenção da RF , calculada através da equação (06):

$$RF = \frac{3P_{max}L}{2wh^2} \quad (06)$$

Sendo:

P_{max} é a carga máxima em Newtons (N),
 L é distância entre apoios (mm),
 W é a largura do corpo de prova (mm),
 H é a espessura do corpo de prova (mm).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sobras das chapas de mármore e granito são facilmente encontradas e adquiridas em São Luís - MA. Usualmente, elas são direcionadas para ecopontos ou para empresas de coleta especializadas, como a Maxtec e a EMAPLA, apesar disso, não há dados oficiais disponibilizados pela prefeitura com as estimativas deste volume.

Através de estudos anteriores, foi possível verificar benefícios que os resíduos têm oferecido às cerâmicas nas mais variadas composições, por conseguinte, este estudo pretende caracterizar e analisar estas incorporações na argila de massa branca encontrada em Vargem Grande - MA, para, além da contribuição com os parâmetros sustentáveis, fornecer uma aplicação para a referida argila na confecção de novos artefatos.

Neste sentido, o propósito desta pesquisa se encontrou na colaboração da redução de resíduos descartados incorretamente, contribuindo com o seu reuso e analisando as melhorias que podem fornecer à argila de Vargem Grande visando a sua usabilidade no cotidiano das comunidades, realçando sua marca identitária e cooperando com o mercado local.

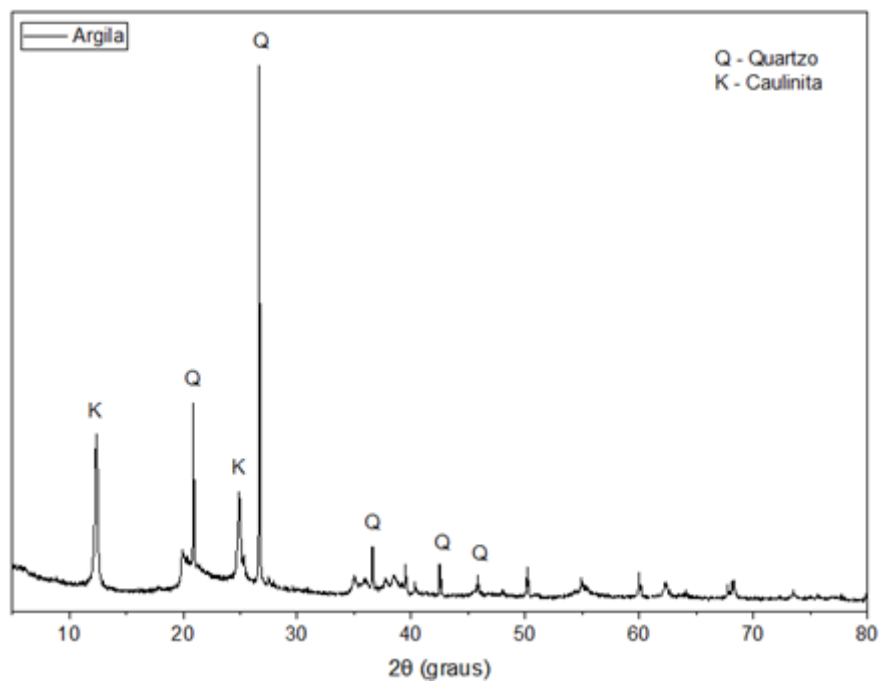
Por se tratar de uma argila que não possui estudos prévios a respeito, foi necessário percorrer um longo caminho para definir as melhores composições somado aos mais variados aditivos referenciados em outras pesquisas com cerâmicas. Assim, esta seção irá expor sobre esta trajetória.

O primeiro passo foi realizar a análise mineralógica dos componentes das massas cerâmicas.

4.1. Identificação mineralógica

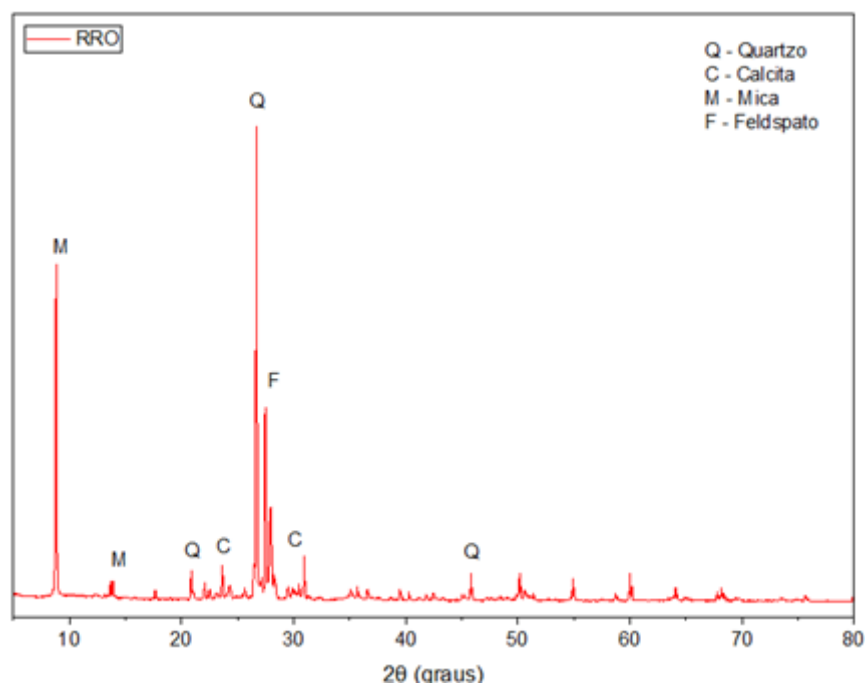
Nas Figuras 26 e 27 são mostrados os difratogramas da argila e do pó de resíduos de rochas ornamentais RRO, respectivamente.

FIGURA 26:Difratograma da argila



Fonte: autor (2025)

FIGURA 27:Difratograma do pó de RRO



Fonte: autor (2025)

Na amostra de argila foram encontradas como fases predominantes, as fases cristalográficas quartzo e caulinita. A fração de quartzo é proveniente da fração arenosa da argila, enquanto, a fração caulinita é resultados da decomposição pelo intemperismo de feldspatos e outros silicatos aluminosos, fases muito comuns em argilas dessa região (MERCURY et al., 2012).

O pó de rochas ornamentais apresenta a preponderância de fases comuns aos pós de mármore e granito. É provável que, em decorrência do pó de mármore, a mistura apresente picos de difração em 22,9° e 29,4°, característicos da calcita (CaCO₃), mineral da classe dos carbonatos que é um fase típica do mármore. Sendo o mármore uma rocha metamórfica resultante da recristalização de calcário, cujo principal mineral é a calcita. O DRX do pó de rochas ornamentais mostra também a presença das fases mica e feldspato, que são fases presentes na composição do granito.

Em ambas as rochas, mármore e granito, há a presença da fase quartzo, o que é comum, pois essa fase é da classe dos silicatos, e está presente em toda a crosta terrestre. A mistura das rochas em forma de pó é composta predominantemente por quartzo e calcita, com presença, em menor escala, de feldspato e mica (KANE et al. 2021).

A partir da compreensão dos constituintes contidos nas massa cerâmica, iniciou-se a etapa de confecção e queima dos corpos de prova.

4.2 Confecção dos corpos de prova

Para o início dos testes laboratoriais, foram pré-estabelecidos alguns critérios essenciais: (1) a escolha da argila, (2) o resíduo, (3) temperatura de queima e (4) percentual de argila e resíduo.

Através da revisão de literatura sobre o uso dos resíduos de rochas ornamentais, verificou-se sucesso em suas aplicações relacionadas aos mais diversos tipos de massas cerâmicas, concedendo-lhe benefícios conforme sua aplicação. Assim, somado à necessidade de direcionamento destes resíduos na cidade de São Luís - MA, foram escolhidos os descartes de marmoraria e granito para compor a massa cerâmica.

Comumente, as temperaturas de queimas variam entre 900°C a 1400°C, dependendo das propriedades que se deseja adquirir à cerâmica (Callister Junior, 2000), contudo, as artesãs informaram que a argila tem tido melhor desempenho nas suas produções com temperatura que varia de 850 a 1000°C. Considerando que o design não se afasta das realidades locais, mas procura envolvê-la em todo o processo de elaboração do projeto e promover as suas técnicas, foi decidido as seguintes temperaturas: (1) 900°C, (2) 950°C e (3) 1000°C.

Quanto aos percentuais das composições, foram analisadas através da revisão de literatura, uma tendência variável de 5% a 25%. Desta maneira, optou-se por composições contendo: 0%, 10%, 15% e 20% de RRO. Para a fabricação dos corpos de provas, foram feitas três amostras para cada composição, obtendo ao fim 12 (doze) CPs para cada temperatura, totalizando 36 (trinta e seis) CPs.

O processo de modelagem e secagem das peças foi de grande dificuldade por se tratar de uma argila pouco conhecida. Inicialmente utilizou-se o processo de conformação por prensagem através de um molde, como já havia sido feito em outros trabalhos desenvolvidos no laboratório de design cerâmico, contudo, por este método a argila de Vargem Grande não ficava compacta o suficiente para ser submetida aos testes. Assim, optou-se pela modelagem e compactação à mão livre, processo tradicionalmente utilizado pelos artesãos locais.

FIGURA 28: Corpo de prova compactado no molde



Fonte: acervo do autor (2025)

FIGURA 29: Corpo de prova compactado no molde e queimado.



Fonte: acervo do autor (2025)

Após o corpo de prova estar devidamente modelado, começava o processo de secagem ao ar livre para extrair suas dimensões. Este processo demorava cerca de 14 (catorze) dias para ser concluído, porém, por volta no terceiro dia, algumas peças começaram a apresentar fissuras.

FIGURA 30: Modelagem à mão livre



Fonte: acervo do autor (2025)

FIGURA 31: Modelagem à mão livre



Fonte: acervo do autor (2025)

FIGURA 32: Corpos de prova sem resíduos fissurados ao décimo dia



Fonte: acervo do autor (2025)

Os CPs sem resíduos tiveram maior tendência a fissuras durante o processo de secagem em comparação aos que tiveram RRO adicionados às massas. De imediato, foi pensado que o problema da secagem se tratava devido à retração natural que a argila sofre com a perda de água, assim foi substituída a superfície vítrea onde CP estava durante o processo, remodelando-os e colocando para secar no isopor.

FIGURA 33: Corpo de prova no isopor durante a secagem



Fonte: acervo do autor (2025)

As peças não apresentaram mais fissuras durante o processo de secagem, porém o mesmo foi prolongado de 14 (catorze) para 17 (dezessete) dias. Ao fim desses dias, as peças apresentaram deformação em suas extremidades devido ao

molde do isopor, de modo que não poderia ter sido feita em uma chapa retilínea, pois o isopor era incorporado à massa cerâmica durante o processo de modelagem.

Por conseguinte, foi escolhido para teste uma peça de úmida madeira para colocar os CPs e imediatamente colocá-la na estufa elétrica a 60°C por 24h. A necessidade da peça estar úmida é para evitar que a argila, devido à sua quantidade de matéria orgânica que a torna grudenta, sofra alguma deformação durante a secagem. Seguindo este modo, elas não apresentaram mais fissuras e nem deformação.

FIGURA 34: CP na estufa a 60°C imediatamente após modelagem



Fonte: acervo do autor (2025)

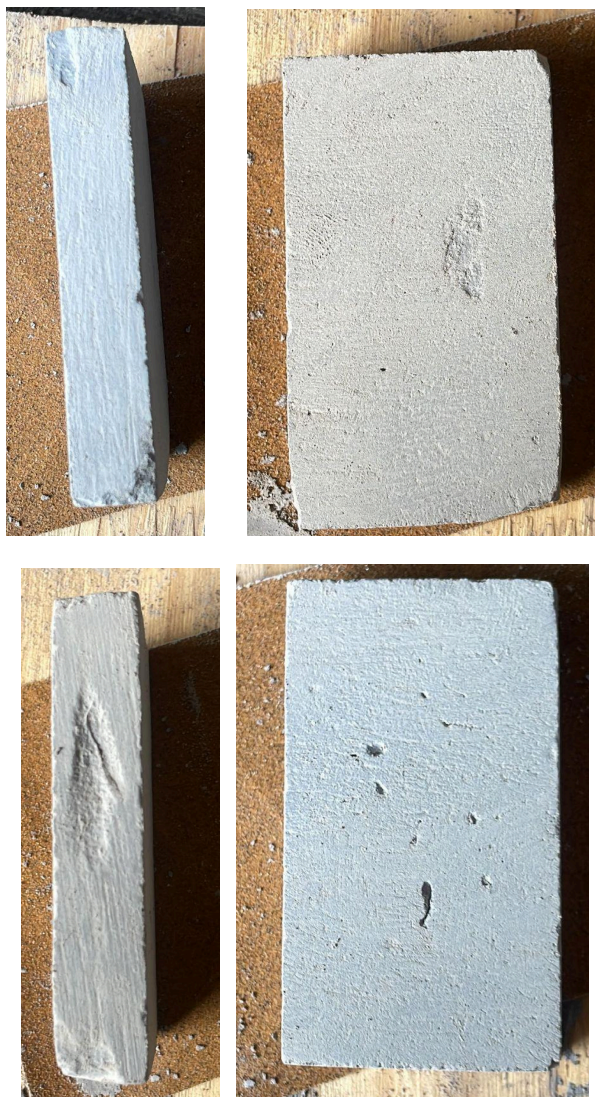
FIGURA 35: CP após 24h na estufa a 60°C



Fonte: acervo do autor (2025)

Após o processo de secagem, as peças são lixadas para melhorar o acabamento e ter mais precisão na sua massa, descartando as incorporações superficiais que estavam apenas com leve adesão.

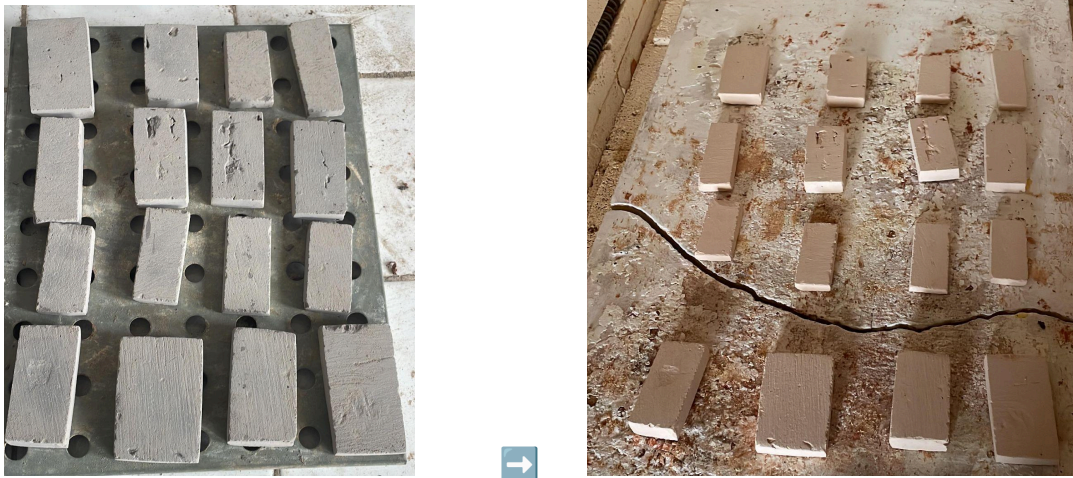
FIGURA 36: CP com acabamento feito na lixa 50



Fonte: acervo do autor (2025)

Devido a imprevisibilidade durante o processo de modelagem e secagem, algumas composições foram feitas mais de 03 (três) CPs, porém, ao final da sinterização, foi descartado de maneira aleatória mantendo a randomização das peças.

FIGURA 37: Antes e depois da queima



Fonte: acervo do autor (2025)

Ao final de todas as fornadas, as peças foram colocadas lado a lado para a análise visual do conjunto conforme mostra a figura abaixo

FIGURA 38: CPs queimados a esquerda para a direita 950°C, 1000°C e 900°C



Fonte: acervo do autor (2025)

4.3 Análise dos corpos de provas

Ao final do preparo de todos os corpos de provas (CPs) e o descarte randomizado dos excedentes aos 36 (trinta e seis) pré-estabelecidos, teve início os testes para a obtenção das propriedades tecnológicas de cada peça.

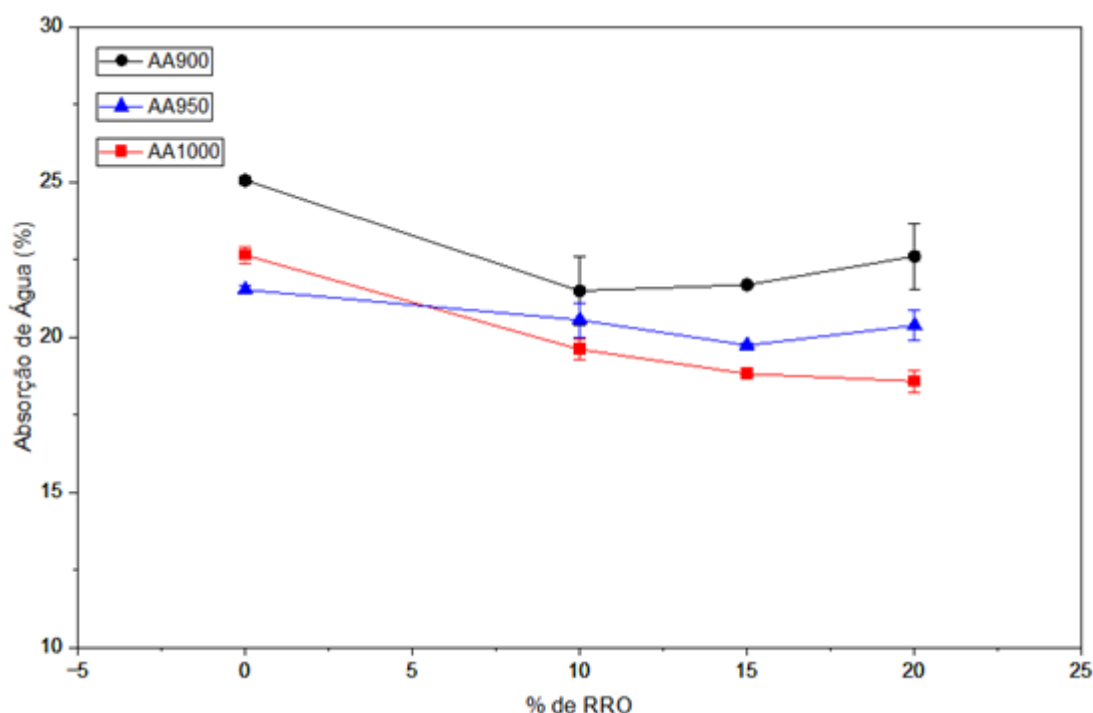
É importante mencionar que todas as peças foram devidamente pesadas com auxílio de balança de precisão e medidas através de paquímetro digital em todas as etapas, isto é, após a secagem na estufa a 60°C por 24h e após o processo de sinterização que teve taxa de aquecimento de 3°C/min.

As propriedades tecnológicas seguem a ordem de: (1) Absorção de Água (AA), (2) Porosidade Aparente (PA), (3) Densidade Aparente (DA), (4) Perda ao Fogo (PF) (5) Retração Linear e (6) Módulo de Resistência à Flexão (MRF)

4.3.1 Absorção de Água (AA)

A finalidade da análise para absorção de água (AA) é verificar a capacidade da cerâmica reter água nos poros, assim, quanto maior a absorção, maior a porosidade. O gráfico 01 apresenta a absorção de água (AA) em função do percentual de resíduo de rochas ornamentais (RRO) para amostras queimadas a 900°C, 950°C e 1000 °C, respectivamente.

GRÁFICO 01: Absorção de água



Fonte: autor (2025)

Verificando de um modo geral, é possível observar a queda na capacidade de absorção de água (AA) à medida que a temperatura aumenta, isto é esperado uma vez que, quanto maior a sinterização da argila e dos resíduos de marmoraria no processo de queima para a formação da cerâmica, menor é a sua capacidade de absorção de água, gerando maior resistência à peça e menos porosidade.

Em todas as temperaturas, é possível observar que a adição de RRO contribui significativamente para a redução na absorção de água (AA), mas o efeito é mais visível quando submetido a 1000°C. Assim, ao comparar os gaps a 1000°C entre puro e 15% e 15% e 20% mostram uma tendência para a estabilidade na capacidade de absorção, ou seja, é possível verificar que após 15% não há diferenças significativas para a redução na absorção de água quando comparados às puras.

Analisando as temperaturas, é possível concluir que 900°C e 950°C não foi alta o suficiente para sintetizar os minerais, assim, mostram uma leve tendência a aumentar a AA quanto maior o percentual de RRO. Isto ocorre porque a porosidade gerada pela decomposição do Carbonato de cálcio (CaCO_3) presente no RRO deixa os espaços vazios, uma vez que não são fechados pela densificação em baixa

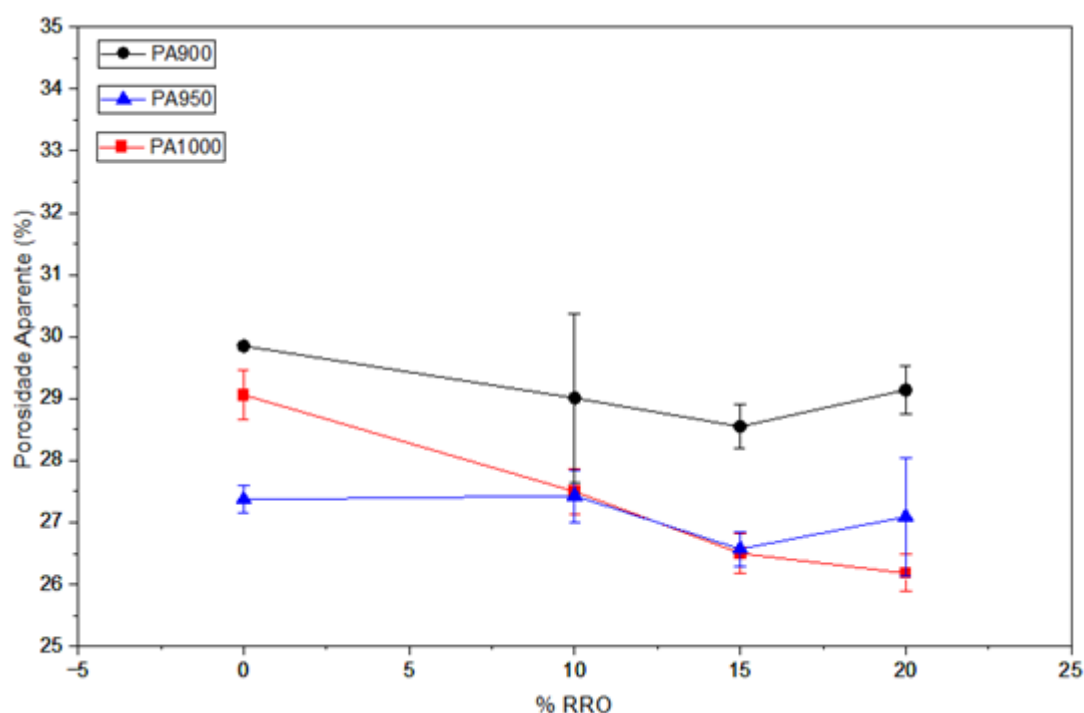
temperatura. Este comportamento é reforçado quando comparado aos gaps de 950°C, onde a relação de proporção entre 10 e 15% mostra queda de absorção, já a 20% mostra aumento da mesma.

Por outro lado, ao analisar o gráfico na temperatura de 1000°C, é possível verificar que a sinterização ocorre de maneira efetiva. Para as amostras queimadas às 950°C e 1000°C, a porosidade gerada pela decomposição do carbonato é compensada pela melhor densificação em temperaturas mais elevadas, o que se observa pela leve queda na AA para maiores percentuais de RRO.

4.3.2 Porosidade Aparente (PA)

A formação de poros ocorre devido aos gases que são formados ao longo do processo de sinterização das peças e, é importante ressaltar que quanto maior a porosidade, maior a absorção de água, menor a resistência mecânica e a durabilidade. Assim, o gráfico 02 apresenta a porosidade aparente (PA) em função do percentual de resíduo de rochas ornamentais RRO para amostras queimadas a 900°C, 950°C e 1000°C, respectivamente.

GRÁFICO 02: Porosidade aparente



Fonte: autor (2025)

A maior porosidade se encontra para amostras queimadas a 900°C, mesmo para as composições contendo RRO. Já nas amostras queimadas a 950°C e 1000°C apresentaram menor porosidade, o que se deve a uma maior densificação. Deste modo, há uma inversão no esperado para a amostra pura, queimada à 950°C, que deveria estar acima da queimada à 1000°C, e que, possivelmente, se deve a uma maior compactação da amostra ou reflexo da aleatoriedade da composição orgânica da argila devido à proximidade dentre elas.

Em todas as temperaturas, a adição de RRO se mostrou eficaz na redução da porosidade aparente, quando comparado à pura, contudo, a maior redução é visível no gap de 1000°C com 20% de resíduos. Neste sentido, as composições igual ou superior a 15% de resíduo demonstram a influência dos minerais presentes. Portanto, as temperaturas 900 e 950°C se mostraram insuficientes para o processo de sinterização da RRO, ocasionando que as partículas dos mesmos contribuíssem na formação porosa.

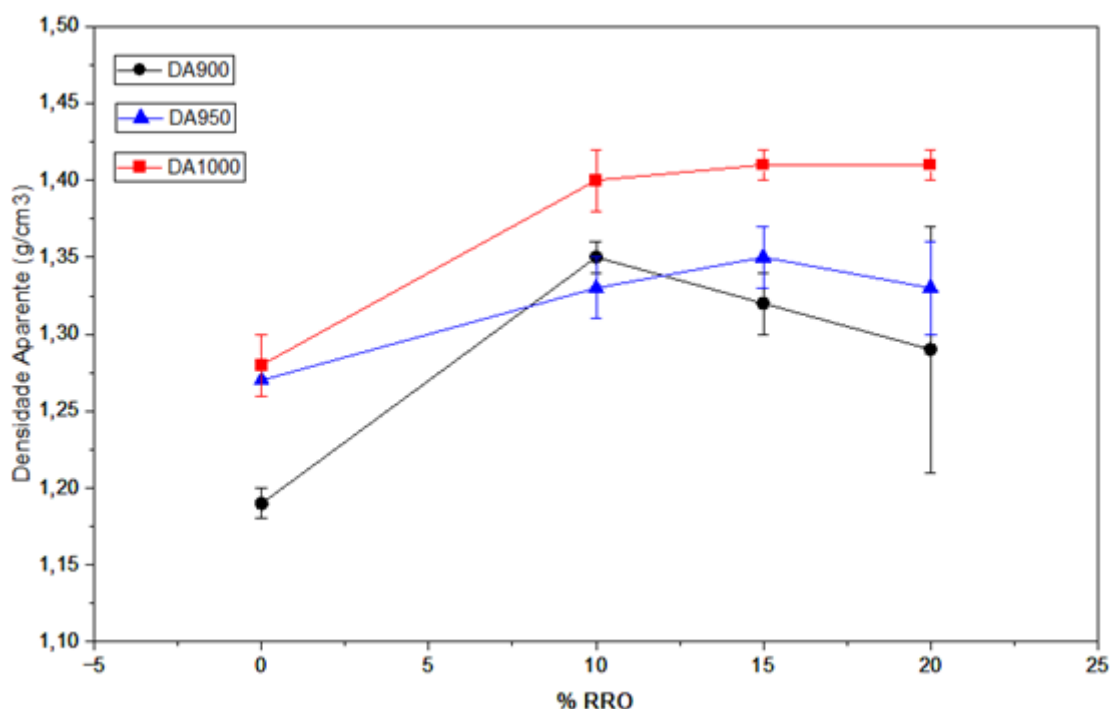
Ao comparar os gráficos 01 e 02, o comportamento ocorreu como esperado, pois menor a porosidade aparente, tende a menor absorção de água, assim, é

possível concluir que a temperatura dos compósitos a 1000°C com 15% de RRO se mostraram a melhor opção, pois acima de 15% a PA se tornou pouco significativo.

4.3.3 Densidade Aparente (DA)

A análise da densidade aparente (DA) serve para avaliar a compactação e a qualidade das peças. Assim, quanto maior a densidade aparente, mais compactado está a peça, afetando a porosidade, a permeabilidade e a resistência mecânica. O gráfico 03 apresenta a Densidade Aparente (DA) em função do percentual de resíduo de rochas ornamentais RRO para amostras queimadas a 900°C, 950°C e 1000°C, respectivamente.

GRÁFICO 03: Densidade aparente



Fonte: autor (2025)

O gráfico se comportou de maneira esperada, pois as peças submetidas a 1000°C possuem maior compactação, menor porosidade e permeabilidade, como reforçado pelos gráficos acima. O gap entre as peças queimadas puras e 10% mostra a eficiência da adição de resíduo para o aumento da densidade, tendo como resultado as peças menos porosas e mais compactadas. Todavia, o gráfico reforça a insuficiência das temperaturas 900 e 950°C para a completa sinterização dos

minerais, pois eles se tornam decrescentes quanto maior a porcentagem de resíduos.

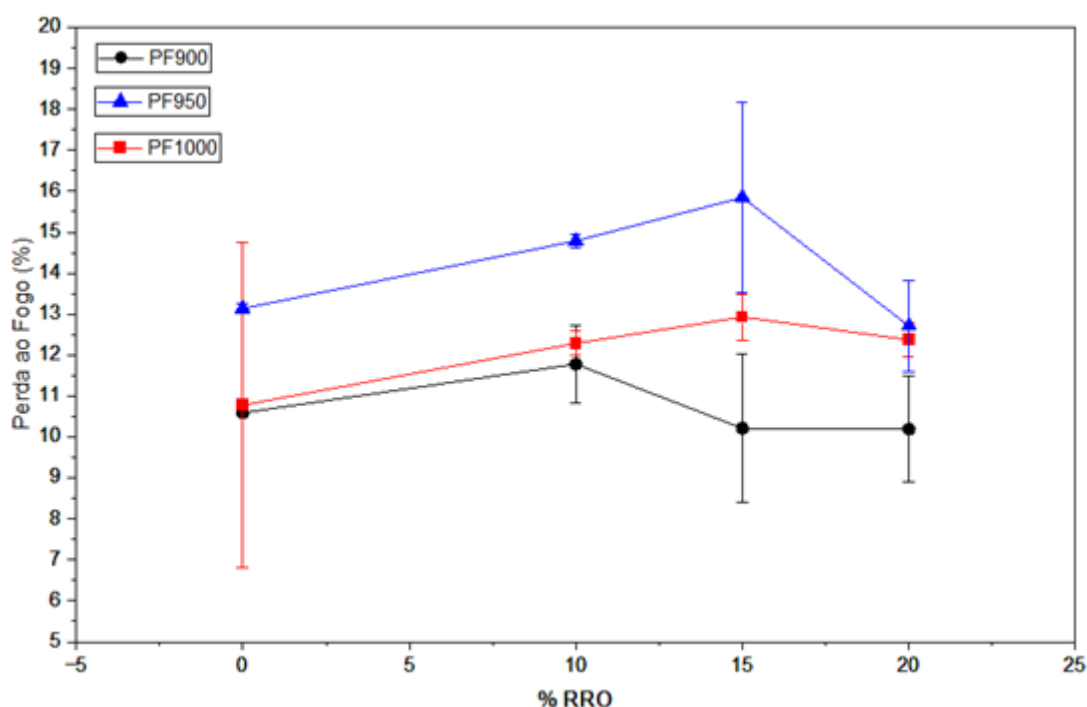
As composições contendo RRO 15% e 20% queimadas a 900°C e 950°C, apresentaram uma queda na DA com o aumento de RRO. Isto ocorre porque quanto mais resíduo, maior a decomposição de carbonato e maior a geração de porosidade na mais baixa temperatura, uma vez que a liberação do CO₂ pela decomposição do carbonato (CaCO₃), se reflete em porosidade, que não chega a ser eliminada pela densificação devido a baixa temperatura de queima.

Sobre o CP na temperatura de 1000°C, é possível observar ainda que a comparação do gap relacionado entre 10 e 15% e 15 e 20% mostram pouca diferença significativa e tendência a comportamento linear, ou seja, acrescentar resíduo acima de 15% não vai resultar em melhorias significativas. Deste modo, a DA aumenta com o aumento da temperatura e adição de até 15% do resíduo para melhor sinterização, assim, em 1000°C tem-se os maiores valores de DA. Acima de 15% de resíduo a melhora não é tão significativa

4.3.4 Perda ao Fogo (PF)

O gráfico de perda ao fogo (PF) retrata a variação de massa após a queima, onde os componentes voláteis da amostra foram eliminados nos parâmetros pré-estabelecidos. Deste modo, quanto maior a perda ao fogo, maior a chance de retração ou fissura durante o processo de sinterização, podendo resultar no desperdício da peça. O gráfico 04 apresenta a Perda ao Fogo (PF) em função do percentual de resíduo de rochas ornamentais RRO para amostras queimadas a 900°C, 950°C e 1000°C, respectivamente.

GRÁFICO 04: Perda ao fogo



Fonte: Autor (2025)

O comportamento registrado a 900°C mostrou que houve PF quase constante, em relação às outras temperaturas, isso pode ter ocorrido porque a temperatura da queima da argila não foi suficiente para a completa sinterização e incorporação dos minerais, o que é reforçado no aumento das porcentagens de resíduo.

Já em 950°C, é possível verificar que o comportamento até 15% de resíduo é crescente, ou seja, a matéria orgânica e os minerais foram sinterizados e incorporados à argila, causando grande variação na massa. Assim, Os maiores valores de PF nessa faixa de temperatura, indicam a maior decomposição dos carbonatos presentes no mármore. Porém, quando analisada a composição de 20%, é possível verificar que a temperatura se tornou insuficiente e a PF cai em todas as curvas, o que pode estar ligado à maior proporção de granito, rico em silicatos e feldspato, e que tem menor perda ao fogo.

Para as amostras queimadas a 1000°C, esperava-se uma maior PF, mas o gráfico mostra que ela é menor que 950°C, podendo indicar que ocorreu a formação de fases estáveis (vítreas), com menor geração de gases, ou que parte da perda tenha ocorrido antes de atingir 1000°C, e o material tenha estabilizado, assim, a PF teve o comportamento mais próximo ao linear, quando analisado com as outras peças. Contudo, a PF em 10% e 15% refletem a pouca influência dos RRO, porém ao na curva entre 15% e 20% é possível verificar a ação dos minerais sendo benéficas reduzindo a perda ao fogo.

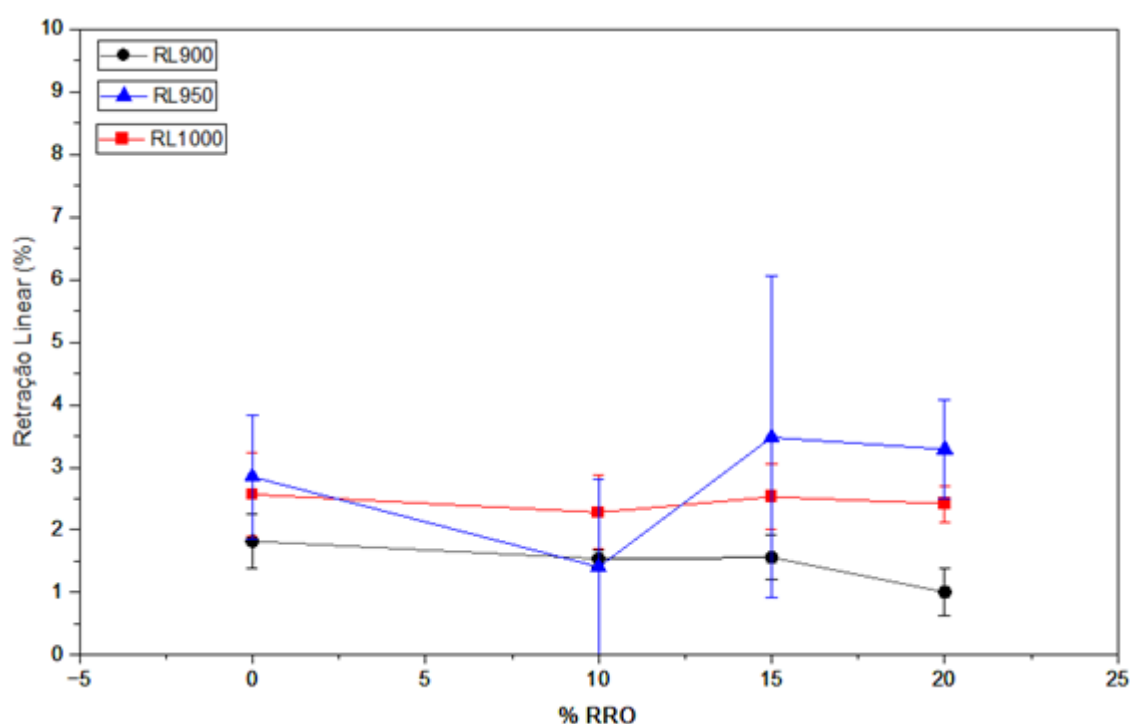
É importante ressaltar que o comportamento da PF depende mais da temperatura e do teor relativo de mármore na mistura. 950°C foi a temperatura crítica, onde a decomposição do carbonato foi mais intensa. O granito atua como redutor de PF quando em maior proporção.

Assim, quanto maior a PF, maior a formação de poros (PA), pois estes são fechados e a argila rearranjada, causando a redução do volume. Logo, o compósito submetido a 950°C tem maior porosidade e menor densidade em relação a 1000°C. Esta última tem mostrado melhores resultados de densidade (DA) e a absorção (AA), já na perda ao fogo (PF), os resultados são mais lineares, tendo menor chance de fissura ou desperdício da peça.

4.3.5 Retração Linear (RL)

O estudo de retração linear (RL) da argila tem finalidade para avaliar e controlar as variações dimensionais da argila durante o processamento. Ou seja, quanto menor a retração linear do compósito, mais exato será o tamanho final da peça e menor a chance de empenamento ou fissura. O gráfico 05 mostra o desenvolvimento das peças quando analisados:

GRÁFICO 05: Retração linear



Fonte: autor (2025)

As amostras queimadas a 900°C apresentaram valores mais baixos de RL (< 2%), mostrando uma tendência decrescente com o aumento de resíduo, chegando próximo a 1% para 20% de RRO, indicando que a sinterização ficou limitada nessa temperatura, sem retrações significativas.

Na temperatura de queima 950°C o comportamento mostrou-se mais instável com a variação do percentual de resíduo, iniciando com ~3%, caindo para ~1,5% (10% RRO), elevando-se para ~3,5% para os demais percentuais de resíduo. Essa oscilação pode estar ligada a decomposição do carbonato (mármore), que gera porosidade temporária, com menor retração em 10% RRO, seguida da intensificação da sinterização após liberação dos voláteis, elevando a RL para valores de 15% e 20% de RRO, sugerindo estabilização da sinterização.

As amostras queimadas a 1000°C apresentaram valores praticamente constantes para toda a faixa de resíduo, sugerindo que nesta temperatura há equilíbrio entre a queima do carbonato e a sinterização da matriz. Essa estabilização na temperatura de queima 1000°C sugere maior potencial de uso tecnológico nessa faixa, pois a retração é mais previsível.

De modo geral, a adição de resíduos de marmoraria até 10% tendem a reduzir a retração, porém não houve diferença significativa quando comparado a 15%, exceto quando submetido a temperatura de 950°C, provavelmente devido ao processo de sinterização. Por conseguinte, ao analisar o gráfico 05, é possível verificar que a 900 e 1000°C as peças tendem a ter comportamento mais previsível, já em 950°C o desempenho teve mais oscilações.

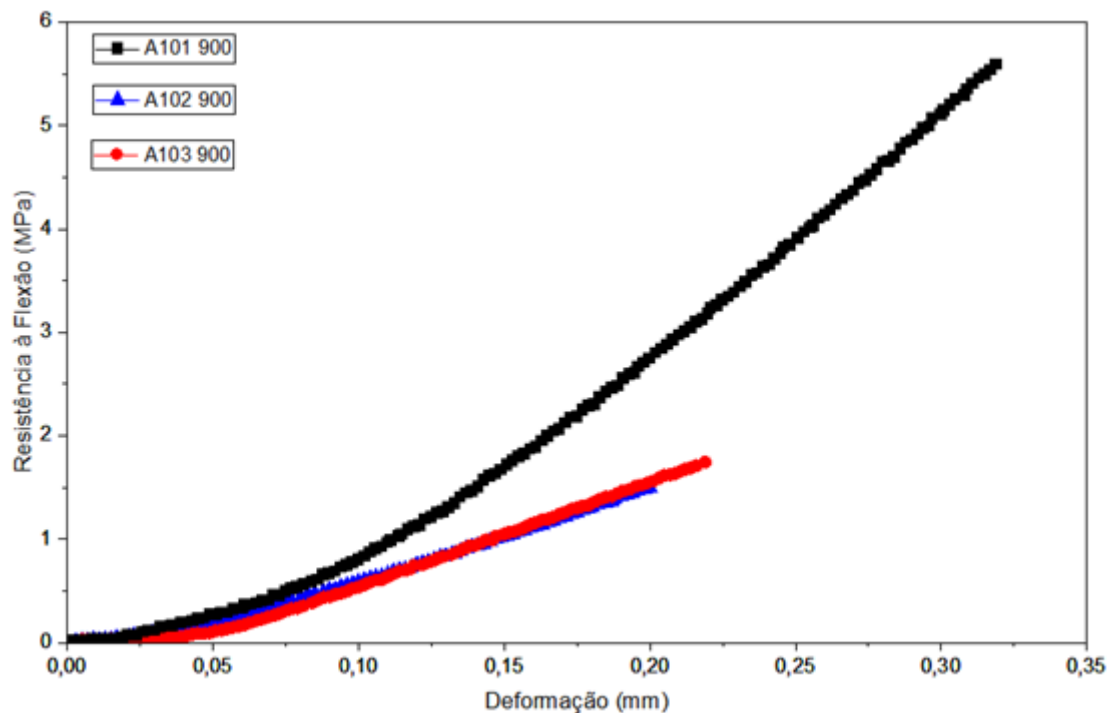
A menor retração linear está de acordo com o esperado em 900°C, pois é a que tem menor densidade e maior porosidade, tendo menor sinterização. Por outro lado, em 950°C a retração com maior gap explica a maior perda ao fogo e porosidade na mesma composição. Já em 1000°C a retração se mostrou equilibrada e sem oscilações significativas, refletindo melhor sinterização, maior densidade aparente e menor absorção de água.

4.3.6 Módulo de Resistência à Flexão (MRF)

A finalidade do estudo de MRF consiste em medir a resistência mecânica da cerâmica quando submetida ao esforço de flexão, ou seja, a sua tensão máxima antes de romper quando aplicada uma carga que tende a dobrá-la. Com isso, é possível avaliar a resistência estrutural da peça e comparar as formulações dos CPs.

O gráfico 06 apresenta a resistência à flexão em função da deformação para três amostras de argila pura queimadas a 900 °C.

GRÁFICO 06: CPs sem resíduos queimados a 900°C

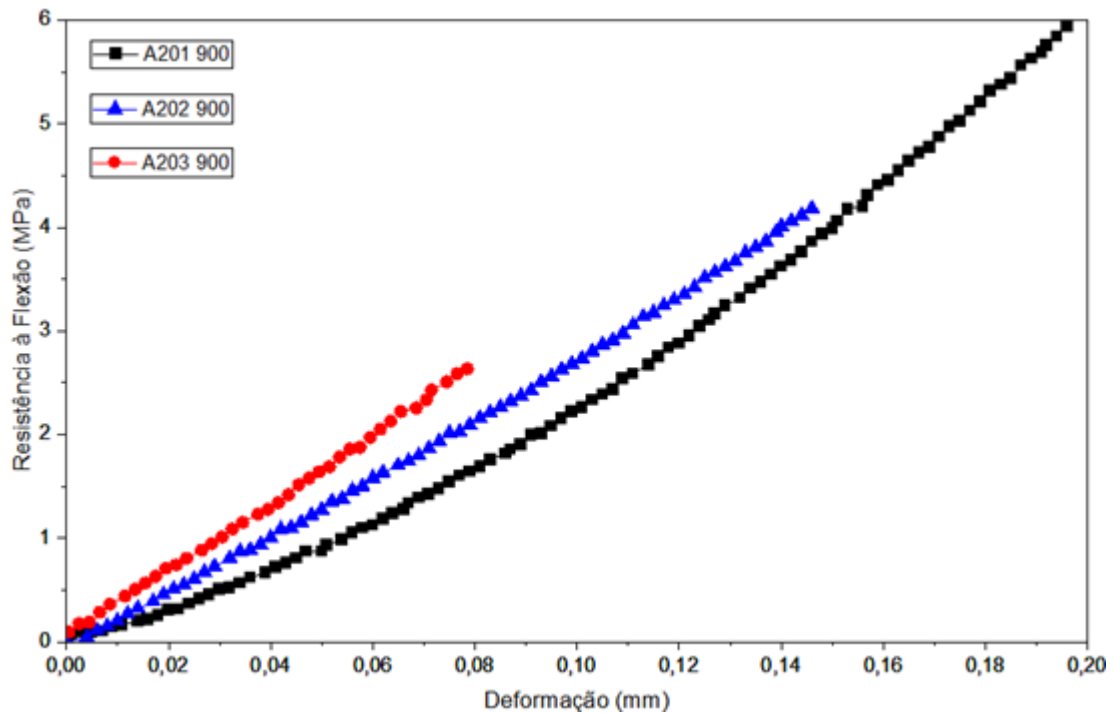


Fonte: autor (2025)

O comportamento se mostrou semelhante para as amostras A102 e A103, como deformações e resistência máximas muito próximas. A Composição A101 apresentou uma resistência e deformação maiores, o que foi resultado de uma melhor compactação no processo de modelagem.

O gráfico 07 apresenta a resistência à flexão em função da deformação para três amostras da composição contendo argila e 10% de RRO queimadas a 900 °C.

GRÁFICO 07: CPs com 10% de RRO queimados a 900°C

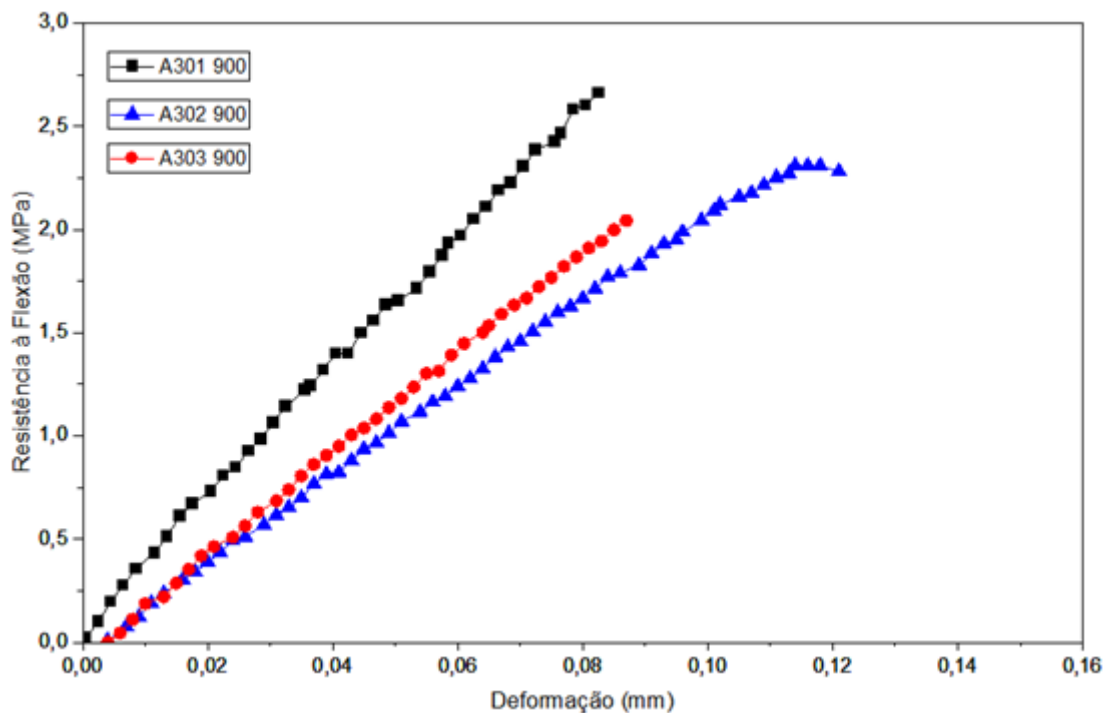


Fonte: autor (2025)

O comportamento apresentou semelhança à argila pura, mas mostrando uma pequena elevação na resistência máxima para as três amostras, possivelmente referente à formação de fase vítrea a partir dos componentes fundentes do granito, como o feldspato.

O gráfico 08 apresenta resistência à flexão em função da deformação para três amostras da composição contendo argila e 15% de RRO queimadas a 900 °C.

GRÁFICO 08: CPs com 15% de RRO queimados a 900°C

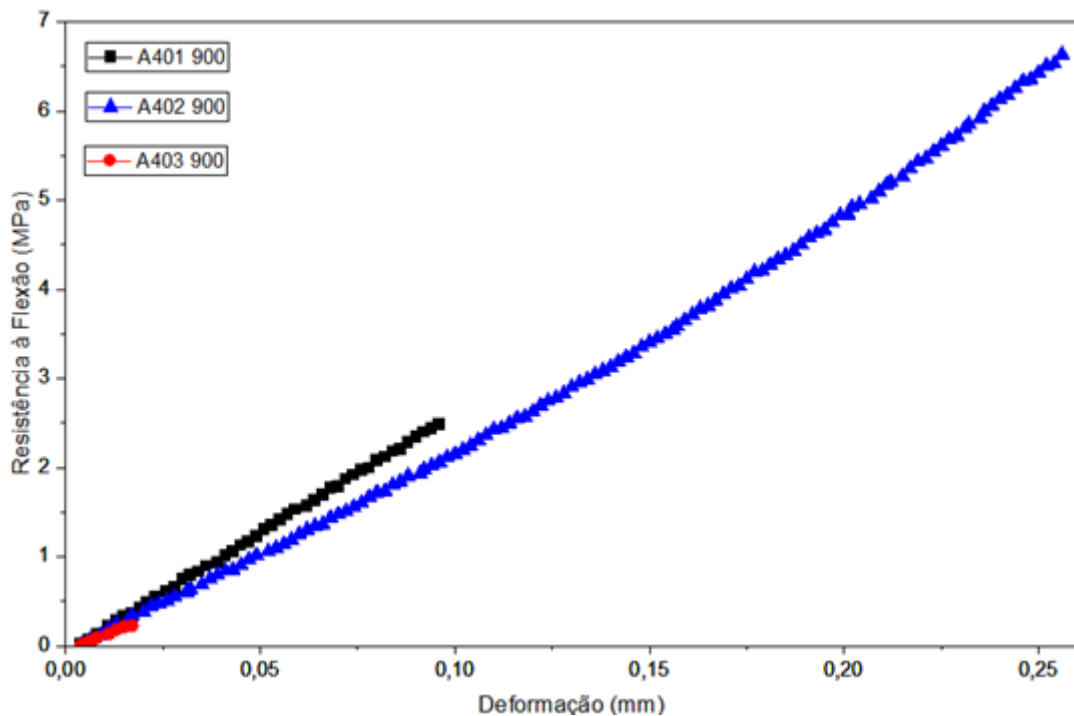


Fonte: autor (2025)

Neste caso o comportamento mostrou-se bastante semelhante para as três amostras, mas com resistências máximas menores, o que é resultado da decomposição do carbonato, liberando mais CO_2 em função da maior quantidade de RRO, e gerando porosidade que fragiliza a cerâmica.

O gráfico 09 apresenta a resistência à flexão em função da deformação para três amostras da composição contendo argila e 20% de RRO queimadas a 900 °C.

GRÁFICO 09: CPs com 20% de RRO queimados a 900°C

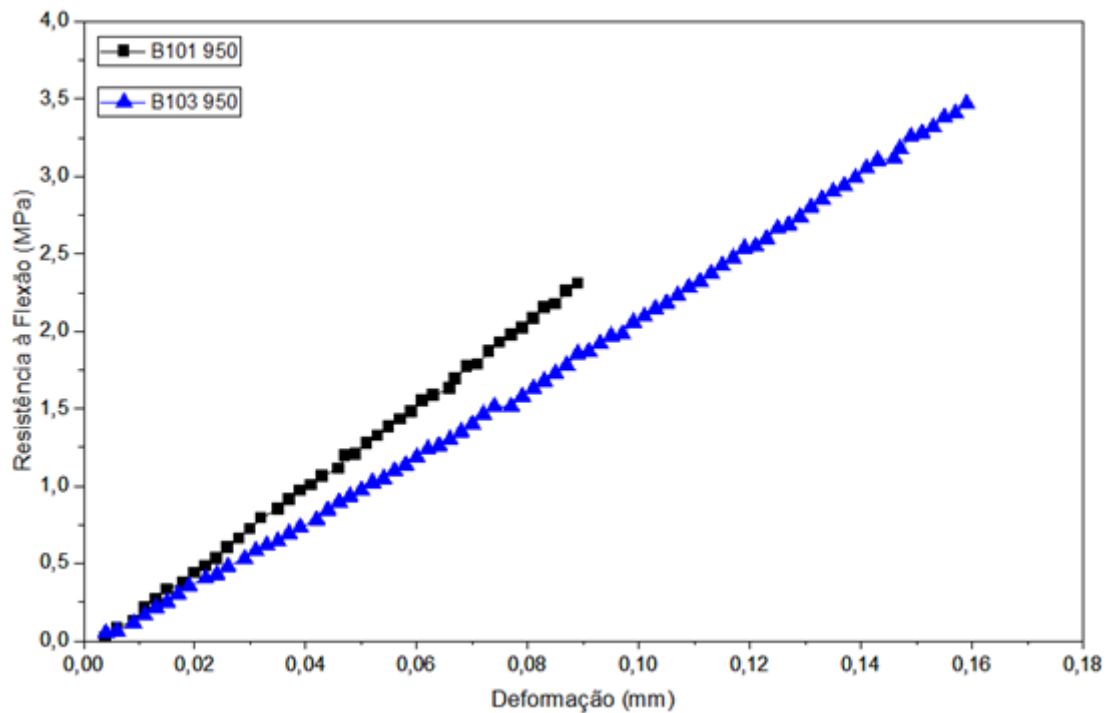


Fonte: autor (2025)

O resultado foi altamente disperso para as três amostras, indo de valores de RFmax que variaram de 0,3 a 6,6 Mpa. Demonstrando um comportamento altamente frágil, com a ruptura podendo ocorrer a qualquer momento. A amostra A402 alcançou melhor desempenho, revelando efeito positivo do RRO na densificação, o que pode ser resultado da formação de fase vítrea a partir do feldspato contido no granito. A amostra A401 apresentou resistência intermediária, enquanto A403 foi a mais deficiente, rompendo em baixa tensão, devido à elevada porosidade oriunda da decomposição do carbonato contido no mármore.

O gráfico 10 apresenta a resistência à flexão em função da deformação para duas amostras de argila pura queimadas a 950 °C.

GRÁFICO 10: CPs sem resíduos queimados a 950°C

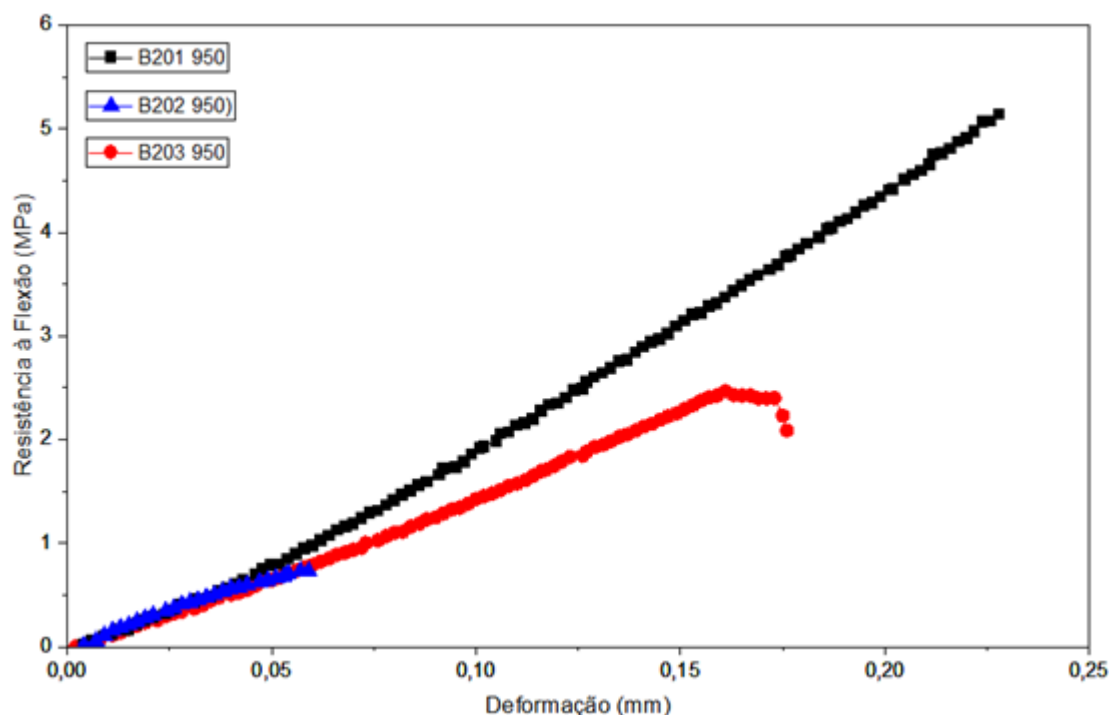


Fonte: autor (2025)

As amostras de argila pura queimadas a 950 °C apresentaram comportamento semelhante às queimadas a 900 °C, mas com aumento médio na RF, o que se deve à melhor densificação que ocorre em temperaturas mais altas de queima.

O gráfico 11 apresenta a resistência à flexão em função da deformação para três amostras da composição contendo argila e 10% de RRO queimadas a 950 °C.

GRÁFICO 11: CPs com 10% de RRO queimados a 950°C

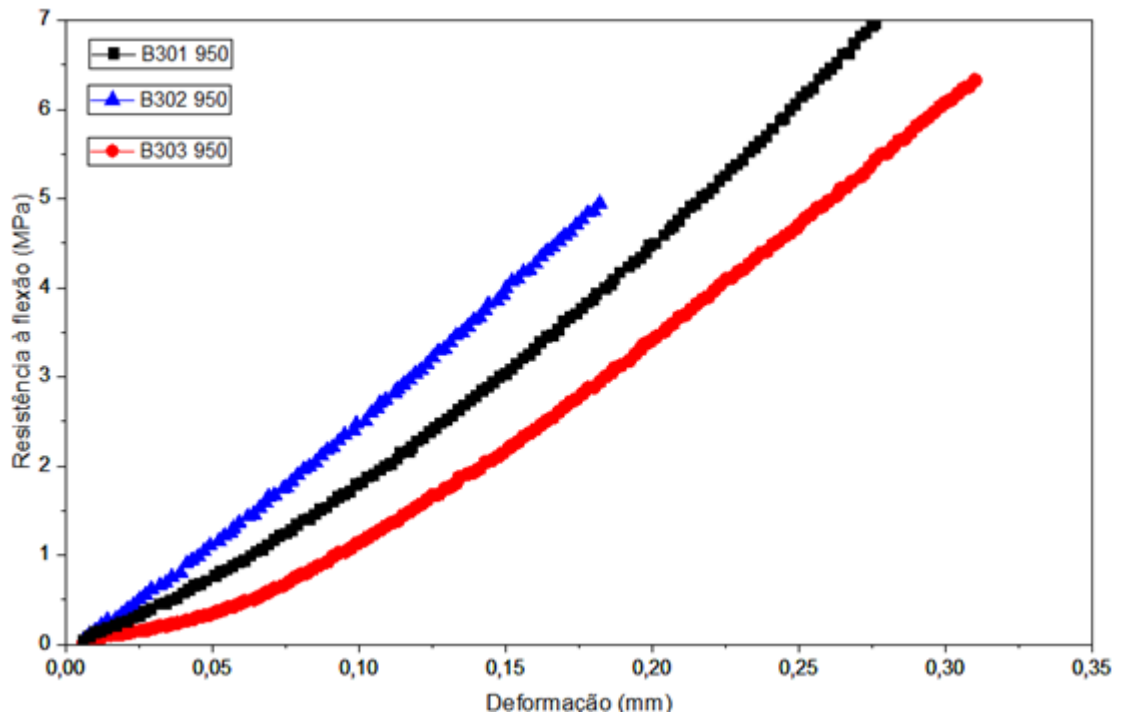


Fonte: autor (2025)

O resultado foi relativamente disperso para as três amostras, sendo que a amostra B202 mostrou-se menos resistente, com valor abaixo de 1 MPa, o que pode ser resultado da heterogeneidade do RRO, ou seja, da precisão da quantidade de pó de mármore e de pó de granito. A maior quantidade de pó de mármore favorece a porosidade e menor resistência mecânica.

O gráfico 12 apresenta a resistência à flexão em função da deformação para três amostras da composição contendo argila e 15% de RRO queimadas a 950 °C.

GRÁFICO 12: CPs com 15% de RRO queimados a 950°C

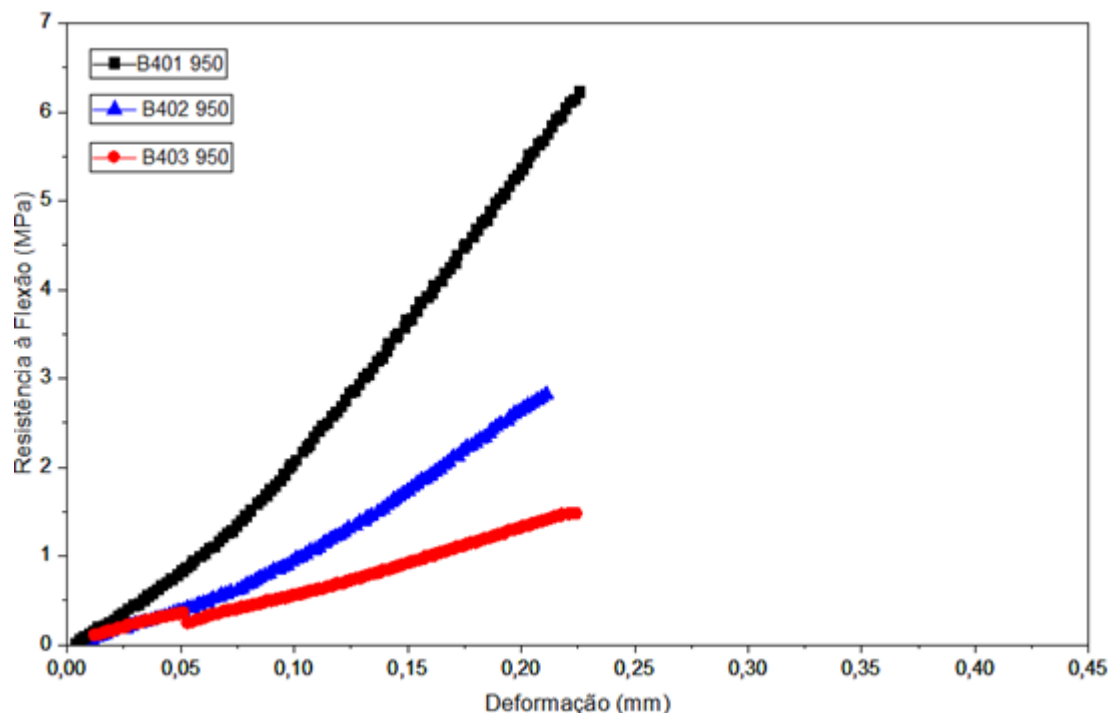


Fonte: autor (2025)

Todas as amostras apresentam comportamento típico de materiais cerâmicos com certo grau de tenacidade, mostrando crescimento gradual da resistência até a ruptura. As curvas não são abruptas, indicando que há absorção progressiva de energia antes da fratura. A parte do RRO referente ao granito atua como fundente durante a queima, promovendo formação de fase vítrea e maior densificação da cerâmica. Isso explica a resistência relativamente elevada observada, já que a matriz fica mais coesa. Entretanto, pequenas variações na homogeneidade da mistura ou na proporção entre fases do RRO podem justificar as diferenças entre as três amostras.

O gráfico 13 apresenta a resistência à flexão em função da deformação para três amostras da composição contendo argila e 20% de RRO queimadas a 950 °C.

GRÁFICO 13: CPs com 20% de RRO queimados a 950°C

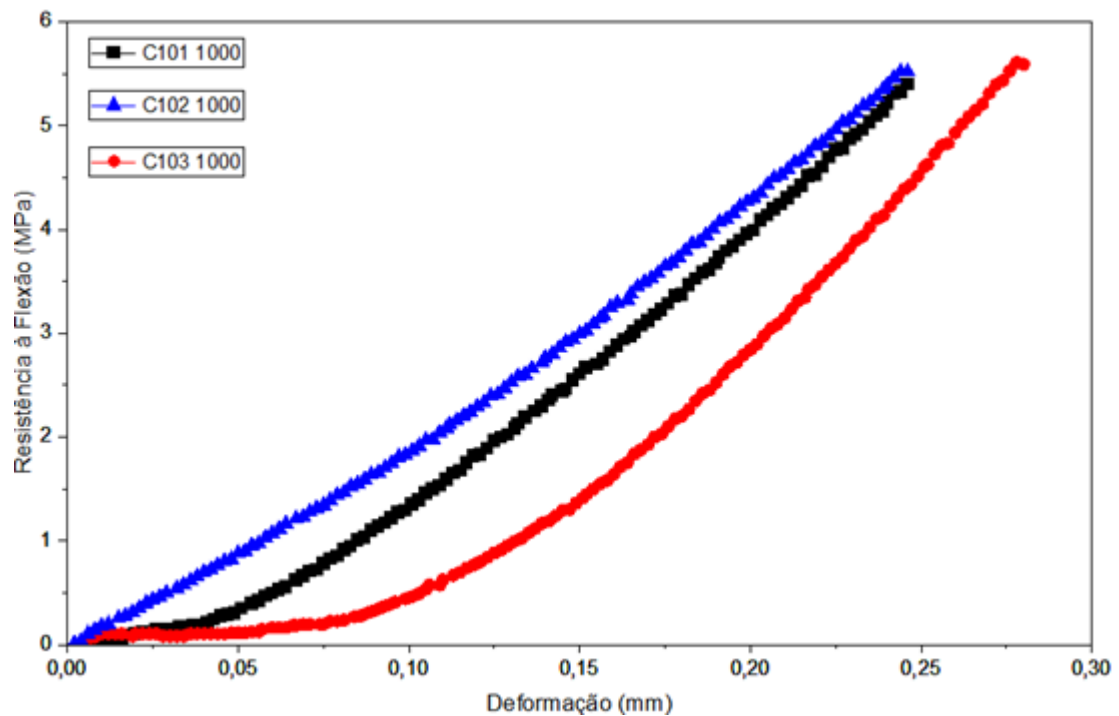


Fonte: autor (2025)

O aumento do teor de RRO (20%) em relação ao caso anterior (15%) provocou maior variação entre as amostras, mostrando discrepância. Enquanto a amostra B401 se beneficiou da formação da fase vítrea, apresentando maior resistência, as outras sentiram o efeito da liberação do CO_2 , gerando poros residuais que findaram na redução da resistência. Assim, esta composição se mostrou com resultados imprevisíveis.

O gráfico 14 apresenta a resistência à flexão em função da deformação para três amostras de argila pura queimadas a 1000 °C.

GRÁFICO 14: CPs sem resíduos queimados a 1000°C

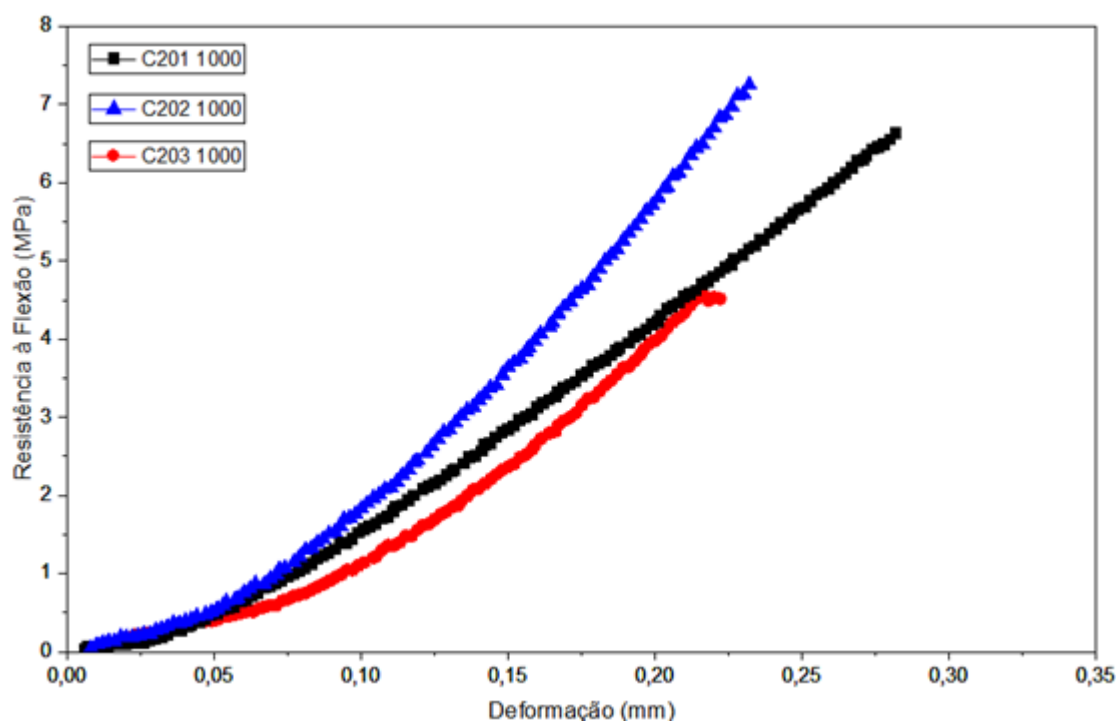


Fonte: autor (2025)

As três curvas apresentam crescimento contínuo da resistência com a deformação, sem uma queda abrupta no final, sugerindo comportamento frágil, mas com capacidade de deformação progressiva antes de romperem.

O gráfico 15 apresenta a resistência à flexão em função da deformação para três amostras da composição contendo argila e 10% de RRO queimadas a 1000 °C.

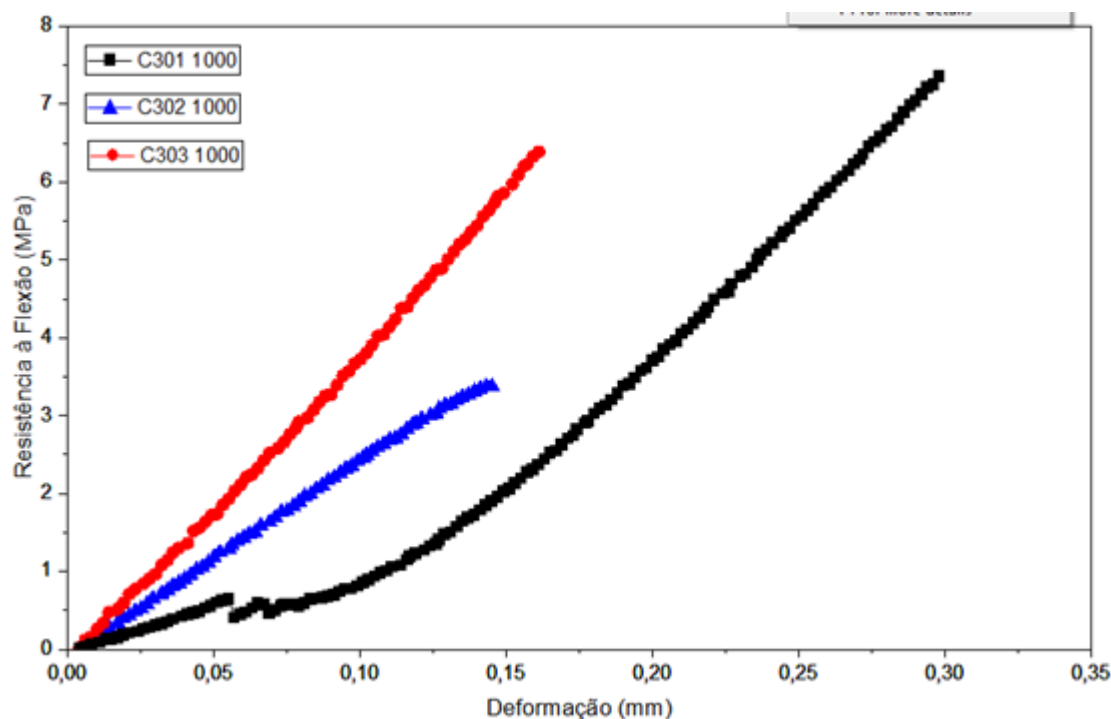
GRÁFICO 15: CPs com 10% de RRO queimados a 1000°C



A incorporação de 10% de RRO promoveu um reforço na MRF, principalmente para a C202, superando as amostras de argila pura. O que pode estar associado à presença de óxidos fundentes, que favorecem a melhor sinterização e a formação de fase vítrea, reduzindo a porosidade.

O gráfico 16 apresenta a resistência à flexão em função da deformação para três amostras da composição contendo argila e 15% de RRO queimadas a 1000 °C.

GRÁFICO 16: CPs com 15% de RRO queimados a 1000°C

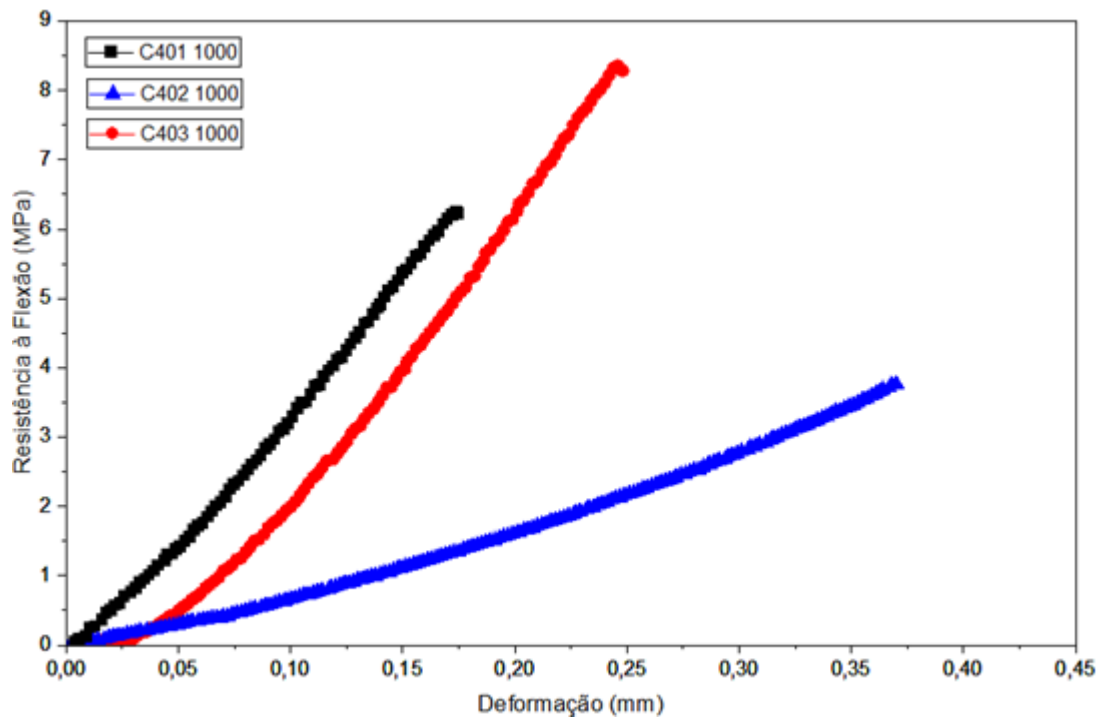


Fonte: autor (2025)

A adição de 15% de RRO promoveu resultados distintos. A amostra C301 se destacou pela maior ductilidade e boa resistência final, possivelmente pela melhor distribuição do resíduo, resultando em maior coesão. Portanto, houve melhora no desempenho mecânico em algumas amostras (C301 e C303), mas também instabilidade em outras (C302), evidenciando que o aumento de RRO pode gerar benefícios ou fragilidades, dependendo da homogeneidade da mistura.

O gráfico 17 apresenta a resistência à flexão em função da deformação para três amostras da composição contendo argila e 20% de RRO queimadas a 1000 °C.

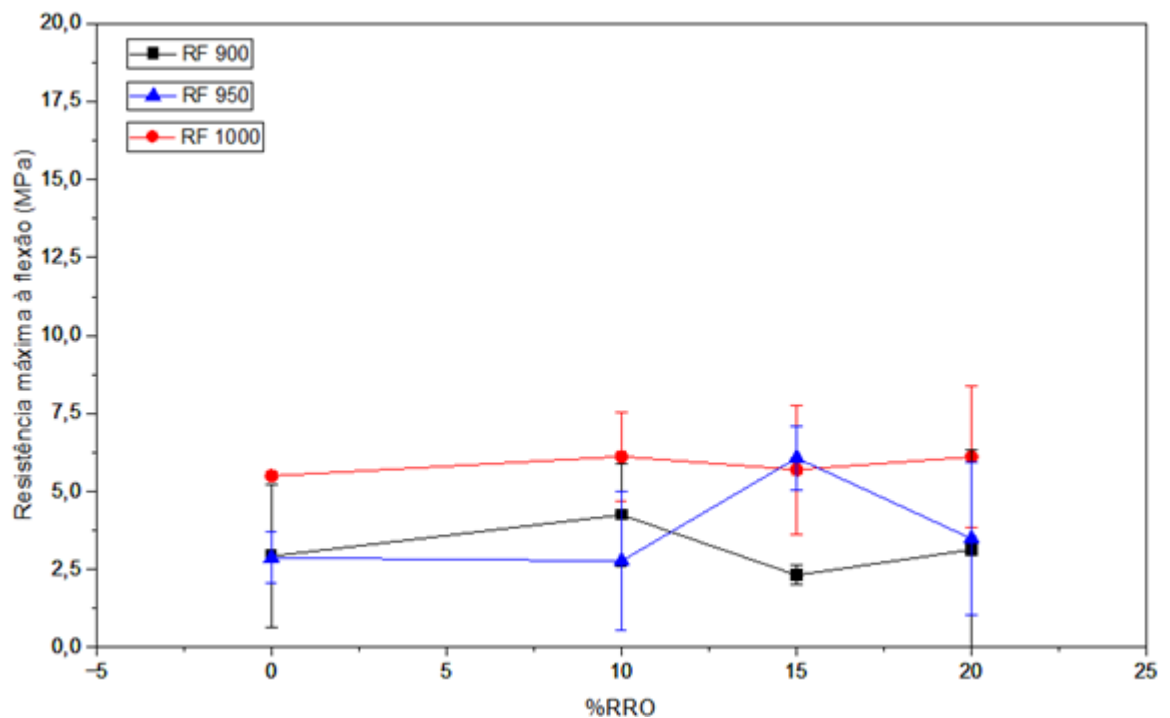
GRÁFICO 17: CPs com 20% de RRO sinterizados a 1000°C



A adição de 20% de RRO resultou em comportamento diferenciado entre as amostras, possivelmente relativo à não homogeneidade da mistura. A amostra C403 se destacou como mais eficiente, conciliando maior RF e maior deformação. Esse comportamento sugere maior sinterização da matriz cerâmica e melhor distribuição do RRO na massa.

O gráfico 18 a seguir, apresenta as médias das resistências máximas à flexão $RF_{m\acute{a}x}$ em função do percentual de RRO, para três diferentes temperaturas. De cada curva de RF versus Deformação foram extraídas as $RF_{m\acute{a}x}$ a fim de demonstrar o efeito da temperatura e do percentual de resíduo na cerâmica.

GRÁFICO 18: Médias da MRF nas três temperaturas



Fonte: autor (2025)

A RF é sistematicamente mais elevada para a temperatura de 1000 °C, variando de 5 a 7 MPa, confirmando que o aumento da temperatura favorece a sinterização, densificando o material e reduzindo a porosidade. Com relação ao percentual de RRO verifica-se que com 10%, ocorre um aumento discreto na RF_{máx}, sugerindo que a presença de RRO atua como fundente. Em 15% há um pico de RF_{máx} para 950 °C (~6 MPa), o que pode indicar uma combinação favorável entre fase vítrea e matriz cerâmica. Em 20% de RRO a RF_{máx} tende a cair para amostras queimadas a 900 e 950 °C, sugerindo que o excesso de RRO aumenta a formação de poros, fragilizando o material final. Conclui-se que a adição de RRO em proporções de 10 a 15%, aliada a temperaturas de queima em torno de 1000 °C é a condição mais favorável para obtenção de cerâmicas com melhor desempenho mecânico.

5. CONFEÇÃO DE ARTEFATOS CERÂMICOS

Após as análises dos resultados obtidos, o melhor desempenho foi encontrado em 15% de RRO adicionado à massa cerâmica branca, queimados a 1000°C. Isto se dá pela previsibilidade de comportamentos nas capacidades tecnológicas e melhor desempenho na incorporação dos resíduos.

Os utensílios cerâmicos, desde os mais antigos registros das primeiras civilizações brasileiras, são objetos de identidade cultural, seja através das suas funções, formas, pinturas ou composições das massas cerâmicas. Assim, a atuação do design nesta pesquisa visou ao incentivo da autonomia da comunidade através da disponibilização de uma nova composição para confecção de artefatos.

Deste modo, foi elaborado um painel semântico com referências de petisqueiras e outros utensílios, cuja produção seja simples, única e que possam ser replicados e adaptados pela comunidade de Vargem Grande - MA, conforme mostra a figura 39.

FIGURA 39: Painel semântico com referências de utensílios cerâmicos



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

O processo de confecção foi feito com 2.5kg de argila com 15% de RRO na sua composição, e após a modelagem à mão livre, os artefatos foram secos sobre uma placa de gesso, em seguida foram colocados no forno a 1000°C, finalizando o processo de fabricação, como mostra as imagens abaixo:

FIGURA 40: Modelagem à mão livre sobre forma de gesso



Fonte: acervo do autor (2025)

FIGURA 41: Peças após a queima a 1000°C



Fonte: acervo do autor (2025)

Os produtos obtidos após a queima, como mostram nas figuras acima, retratam o êxito da composição desenvolvida ao longo desta pesquisa. Assim, para apreciar o valor artesanal das peças e valorização do produto, as formas orgânicas em elementos rígidos, como as cerâmicas, exploram a delicadeza e reforçam o seu caráter unitário e manufaturado.

6. CONCLUSÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Após as avaliações e discussões percorridas ao longo desta pesquisa, é possível observar que a caracterização da argila encontrada em Vargem Grande - MA foi essencial para compreender a sua dificuldade durante as modelagens, enquanto sem adição de resíduos, e a sua tendência de fissura durante o longo processo de secagem natural.

A adição dos resíduos de rochas ornamentais (RRO) se apresentou de maneira benéfica em todas as propriedades tecnológicas, variando somente na sua quantidade em relação à massa branca, contribuindo para a redução de fissuras durante o processo de secagem e colaborando para que o tamanho final da modelagem seja mais próximo ao da sinterização.

Os melhores desempenhos à massa cerâmica foram registrados em 15% a 1000°C devido a previsibilidade dos gráficos, apesar da randomicidade dos RRO, expostos principalmente nos ensaios de módulo de resistência à flexão (MRF). Isto ocorre porque em temperaturas mais baixas, não houve a completa sinterização dos minerais, fazendo com que a calcita (CaCO_3) reduzisse as propriedades tecnológicas de resistência e contribuísse na formação de poros, aumentando a absorção de água.

Quanto ao caráter visual, a adição de RRO à massa cerâmica branca, gerou pequenos pontos brilhantes do mineral, o que confere à peça outro diferencial em relação às argilas marrons encontradas comumente no Maranhão. Deste modo, a pintura das peças torna-se opcional ou apenas para detalhes ornamentais.

As pesquisas direcionadas para a aplicação dos resíduos de rochas ornamentais atuam principalmente no campo da construção civil. As amostras aqui desenvolvidas não apresentaram características suficientes, principalmente na absorção de água (AA), para a criação de peças cerâmicas com função de piso ou revestimento. Contudo, são excelentes para a confecção de artefatos usuais, como pratos, petisqueiras, porta-talheres, dentre outros, onde também são objetos do design para abranger a identidade e a cultura da comunidade.

Por fim, espera-se que esse trabalho contribua com a comunidade de Vargem Grande - MA, oferecendo uma nova composição para trabalhar a com a massa cerâmica branca e, ao mesmo tempo, reforçando o caráter sustentável de utilizar resíduos de uma outra área, agregando-lhe um senso estético e incentivando

a sua identidade cultural através do design nas suas mais variadas vertentes como as formas, pinturas, dentre outros. Para além disso, este trabalho também visa a documentação da argila, explanando seu comportamento e suas propriedades tecnológicas, tornando-a conhecida no meio acadêmico

6.1 Sugestões para estudos futuros

Esta pesquisa foi feita majoritariamente através de análises laboratoriais e identificou caracterização e comportamentos específicos da massa cerâmica branca encontrada na região de Vargem Grande - MA, somados a parâmetros pré-estabelecidos de resíduos de rochas ornamentais. Contudo, o objeto de pesquisa inicialmente se encontrava na região de Tutoia - MA e, através do mapeamento por proximidade, chegou-se a cidade de Vargem Grande. Assim, é possível surgir novas linhas de pesquisas com as referidas sugestões:

- Mapeamento das regiões onde podem ser encontradas a massa cerâmica branca e a sua caracterização para comparação;
- Testes laboratoriais com diferentes temperaturas e percentuais de RRO para viabilidade em outras aplicações, como a construção civil;
- Investigar o comportamento da massa cerâmica com outros resíduos como pó de vidro, sedimentos de animais ou ossos bovinos;
- Analisar mudanças visuais a longo prazo dos produtos desenvolvidos com a composição elaborada nesta pesquisa;
- Estudar técnicas de pinturas que possam ter melhor desempenho, durabilidade e absorção, na superfície das peças produzidas;

7. REFERÊNCIAS

ABIROCHAS. **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2023**. Brasília: ABIROCHAS; 2023.

ABREU, U.A.; RUIZ, M.S.; CARUSO, L.G. Perfil 7- **Rochas dimensionadas e aparelhadas**. In: RUIZ, M.S.; NEVES, M.R. (Coord.). Mercado produtor mineral do estado de São Paulo. São Paulo: I.P.T., 1990. p.137-151

ANDRADE, Maria. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Atlas, 2001. p. 121.

ASHBY, M. F. **Materials selection in mechanical design**. 3ed. New York: Pergamon Press. 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA - ABCERAM. Disponível em: <https://abceram.org.br/>. Acesso em: 10 julho. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15097-1: Materiais cerâmicos — Determinação de propriedades físicas — Parte 1: Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10545-4: Placas cerâmicas — Parte 4: Determinação da resistência à flexão e módulo de ruptura**. Rio de Janeiro, 2020.

BABISK, M. P.; ROCHA, J. C.; LOURO, L. H. L.; SILVA, M. H. P. **Aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais na fabricação de vidros**. IN: Simpósio de Geologia do Nordeste, 23, 2009, Fortaleza,CE. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2009. p.102-111.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 02 de setembro de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1990.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico 2021: setor de transformação de não metálicos - ano base 2020**. Brasília: MME, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-tra>

nsformacao-de-nao-metalicos/anuario-estatitico-2021-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos-ano-base-2020.pdf/view Acesso em: 08 julho. 2024.

CALLISTER, W. D., Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CARDOSO, R. **Uma introdução à história do design**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. **Um estudo focado na relação entre design e materiais**. Revista Projética, Londrina, v.4, n.1, p. 49-64, jan/jun. 2013.

CAMPOS, A. R.; RIBEIRO, R. C. C; CASTRO, N. F; AZEVEDO, H. C. A.; CATTABRIGA, L. **Resíduos: tratamento e aplicações industriais**. In: VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO N. F. (org). Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. p. 435-493.

CASTRO, A. A. **Elaboração e Apresentação de Comunicação Científica**. Formulação da Pergunta de Pesquisa, 41–47, 2001.

CUSTÓDIO, A. R. F.; GOMES, Q. C.; CAVERZAN, D. **Aproveitamento econômico dos rejeitos e resíduos do beneficiamento das rochas ornamentais: revisão bibliográfica**. Ifes ciência, Espírito Santo, V. 9, n. 2, p. 01-09, 2023.

FRANGELLA, L. N. M. **Aproveitamento de rejeitos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais no estado do Rio de Janeiro**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2006.

FERREIRA, I. L. V. **Sedimentos de um ecossistema litorâneo: experimentações com pó de exoesqueleto de caranguejo orientado ao design sustentável**. 2024. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Design, São Luís, 2024.

FRASCÁ, M.H.B.O. **Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento**. 2003. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia. São Paulo.

FREITAS, C. S. R.; PEREIRA, I. A. F. S.; PEREIRA, M. L. G.; SIMÕES, T. C. R.; FERREIRA, A. A. L. **Influência de diferentes processos de conformação nas**

características finais de produtos cerâmicos. Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 15-18. 2009

GALVAO, T. F.; PEREIRA, M. G. **Revisões sistemáticas de literatura: passos para sua elaboração.** Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, 2014, v.23, n.1, p. 183-184

GIL, A C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** São Paulo: Atlas, 2008

GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos.** 2000. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000.

GUILHON, D. **Análise da adição de resíduos de rochas ornamentais em massa cerâmica vermelha para a utilização em processos de conformação por prensagem.** 2016. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Design, São Luís, 2016.

GUIMARÃES, K. L. M. **Análise da adição de resíduos de ossos bovinos e rochas ornamentais em massa cerâmica branca para a utilização em processos de conformação.** 2015. Dissertação (Mestrado) - Design. Universidade Federal do Maranhão, MA. 2015.

HARRELL, J. A. **Building stones of ancient Egypt: quarries and geology.** UCLA Encyclopedia of Egyptology, Los Angeles, 2012. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/3fd124g0>. Acesso em: 14 mar. 2025

HWANG, E.H; SOO K., Yung. **Comparison of mechanical and physical properties of SBR-polymer modified mortars using recycled waste materials.** Journal of Industrial and engineering chemistry. Volume 14, Pag. 644-650, Set. 2008.

KANE, TJ, Campbell, KM e Eberl, DD, 2021, **Uma biblioteca atualizada de difratogramas de raios X de materiais geológicos: divulgação de dados do US Geological Survey**, <https://doi.org/10.5066/P9ID8IX1>.

KELLER, P. F. **O artesão e a economia do artesanato na sociedade contemporânea.** Revista de Ciências Sociais, São Luís, v. 41, n. 4, p. 323-347, out. 2014.

LEAL, J. J. **Um olhar sobre o design brasileiro.** São Paulo: Objeto Brasil; Instituto Uniemp; Imprensa Oficial do Estado, 2002.

LOPES, R. **Uma região Tropical.** Rio de Janeiro: CIA Fon-Fon e Seleta, 1970

MACHADO, R. V.; RIBEIRO, R. C. C.; ANDRADE, F. V.; PASSOS, R. R.; MESQUITA, L. F. **Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. (Série Tecnologia Ambiental, 55).

MANZINI, E. **Design: quando todos fazem design: uma introdução ao design para inovação social**. São Leopoldo, RS: Ed. UNISINOS, 2017

MELLO, G. **Panorama da exploração mineral no Brasil: quem, o quê, onde?**. In: Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, VI, 2014, Ouro Preto. Anais Eletrônicos [...]. Agência para Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira, 2014. Disponível em <https://www.adimb.com.br/simexmin2014/pdfs/14/09H50%20GUSTAVO%20MELLO>. Acesso em: 05 de julho. 2024

MINAYO, M.C.S. **O desafio do conhecimento**. 11 ed. São Paulo: Hucitec, 2008.

MONTANI, C. **XXX Relatório mármore e rochas no mundo 2019** - Dossiê Brasil 2019. Projeto Editorial Daniele Canali. Sea Carrara, Brasília, 2019, n.1, 46f.

MOREIRA, A. M. **Materiais Compósitos. Materiais de Construção I**. 2008/2009 - 1º Semestre. [Documento digital]. Tomar: Instituto Politécnico de Tomar, Escola Superior de Tecnologia de Tomar, Departamento de Engenharia Civil, 2008. Disponível em: http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932_Compositos_MC1.pdf. Acesso em: 18 de julho. 2024

MOTTER, B. **Feldspar for the sanitaryware industry**. Industrial Minerals, March 2000, no 390, p. 81-87

MOURA, M. **Pesquisa em design: olhares e descobertas, criação e invenção**. Em Estudo e Prática de metodologia em design nos cursos de pós-graduação. Organizado por Denise Westin e Luiz Antonio L. Coelho. 2011

MUNARI, B; **“Artista e Designer”**; **coleção dimensões**; Editorial Presença – Portugal; Livraria Martins Fontes – Brasil; 2ª edição; 1984.

NAPOLI, L. **Cerâmica: a mais antiga das indústrias**. In: SOUZA, Manuela (Org.). Revista ANICER. Edição 96. Porto Alegre: ANICER, out. 2015. Disponível em <https://www.anicer.com.br/revista-anicer/revista-96/historia>. Acesso em: 10 julho. 2024.

NETO, E. B. **Design e artesanato: uma nova perspectiva**. São Paulo: Editora da Universidade, 2014. p. 3.

NEVES, G.; PATRICIO, S. M. R., FERREIRA, H. C., SILVA, M. C., **Utilização de resíduos da serragem de granitos para a confecção de tijolos cerâmicos**. In: 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Anais. Florianópolis/SC. Jun/1999.

NEVES, E. G. **O rio Amazonas: fonte de diversidade**. Revista del Museo de La Plata, Buenos Aires, v. 4, n. 2, p. 385-400, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.24215/25456377e082>. Acesso em: 20 ago. 2024.

NORONHA, R. **Corpo e Saber Fazer: Da cosmologia à política**. In: SANTOS, D.; NORONHA, R; CARACAS, L.; CESTARI, G. (org.). Artesanato no Maranhão: práticas & sentidos. São Luís: EDUFMA, 2016. p. 17-44.

OBERACKER, R. **Powder compaction by dry pressing**. In: RIEDEL, Ralf; CHEN, I-Wei. *Ceramics Science and Technology: Volume 3: Synthesis and Processing*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011. p. 1–18. ISBN 9783527311572. Disponível em: https://www.wiley-vch.de/books/sample/3527311572_c01.pdf. Acesso em: 19 mar. 2025.

OLIVEIRA, C. N.; RIBEIRO, R. C. C.; QUEIROZ, J. P. **Aplicação de resíduos de mármore na produção de cosméticos**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. (Série Tecnologia Ambiental, 54).

OLIVEIRA, L. S. **Reaproveitamento de resíduos de marmoraria em compósitos cimentícios**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São João Del Rei. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Minas Gerais.

PALDÉS, R. J. A. **Aproveitamento de rejeitos do processo industrial de rochas ornamentais na arquitetura**. In: Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais. Natal, 2007. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 42-53.

PEREIRA, C.; SANTOS, V. B. dos. *Teoria e fundamentos do Design*. Maringá: Unicesumar, 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013

PROUS, André. **O Brasil antes dos brasileiros**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1992. p. 433.

QUELUZ, M. L. P. (org.). **Design & Cultura Material: outros olhares**. Curitiba: EDUTFPR, 2020.

RIBEIRO, R. C. C.; CARANASSIOS, A.; MORANI, B. M. **Utilização de resíduos oriundos do corte de mármore como carga na indústria de papel**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. (Serie Tecnologia Ambiental, 70).

RIBEIRO, R. C. C. et al. **Utilização de rejeitos de rochas ornamentais em misturas asfálticas**. Rio de Janeiro: CETEM, 2007. (Série Tecnologia Mineral, 87)

RIVAS MERCURY, J. M.; CORREIA, G. S.; LEMOS SILVA VASCONCELOS, N. S.; CABRAL, A. A.; ANGÉLICA, R. S. **Ceramic raw materials from the State of Maranhão, Brazil**. Part 1: chemical and mineralogical characterization and technological properties of clays from São Luis, Rosário, Pinheiro and Mirinzal. Rem – Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 65, n. 4, p. 513-521, out. 2012. DOI: 10.1590/S0370-44672012000400012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672012000400012>. Acesso em: 21 ago. 2025.

ROCHA, E. **Oficina de modelagem de barro à mão livre e o incentivo à manifestação artística no povoado de Rancharia, Minas Gerais: uma experiência com a arte da cerâmica**. 2015. Monografia (Especialização em Ensino de Artes Visuais) – Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-AN2LHQ/1/monografia_eliane_rocha.pdf. Acesso em: 17 mar 2025.

SANTOS, D. M.; NORONHA, R. G.; CARACAS, L. B.; CESTARI, G. A. V. (Org.). **Artesanato no Maranhão: práticas e sentidos**. 1. ed., São Luís, 2016. 270 p. ISBN 978-85-7862-532-0

SANTOS, M. M. A.; DESTEFANI, A. Z.; HOLANDA, J.N.F. **Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento**. Revista Matéria, v.18, n.04, pp. 1442 – 1450, 2013

SANTOS, A. **Seleção do método de pesquisa: guia para pós-graduando em design e áreas afins** / Aguinaldo dos Santos. - Curitiba, PR: Insight, 2018.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia das Argilas**. 2 ed. São Paulo, Editora Edgard Blucher. v. 01, 408p. 1989

SCHAAN, D. P. **A arte da cerâmica marajoara: encontros entre o passado e o presente**. Habitus, Goiânia, v. 5, n. 1, p. 99-117, jan./jun. 2007.

SILVA, C.; ARBILLA, G. **Antropoceno: os desafios de um novo mundo**. Revista Virtual de Química, volume 10, N. 6, p.1619 - 1647, 2018.

SIMÕES, M. F. **Relatório sucinto das atividades científicas de Mario Ferreira Limões realizados no 1º semestre de 1975**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1975.

SIMÕES, M. F. **Coletores-pescadores ceramistas do litoral do Salgado**. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi- Nova Série, Belém, n. 78. 1981

SMITH, William F. **Princípios de ciência e engenharia de materiais**. Portugal: McGRAW-Hill de Portugal, 1998.

SOUZA, L. R; RIBEIRO R. C.C; CARRISSO, R. C. C.; SILVA, L. P.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. **Aplicação de resíduos de mármore na indústria polimérica**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. 36p. (Série Tecnologia Ambiental, 52).

THIOLLENT, M. (2009). **Metodologia de Pesquisa-ação**. São Paulo: Saraiva

TOYOTA, R. G. **Caracterização química da cerâmica marajoara**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-09092009-174353/publico/RosimeiriGalbiatiToyota.pdf>. Acesso em: 10 junho. 2024.

VIEIRA, A. Z.; DUARTE, L. C. **Reaproveitamento de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais: o design como ferramenta de valorização**. In: Encontro de Sustentabilidade em Projeto. IX., 2021, Florianópolis.

VIDAL, F. W. H. **Aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais e de revestimentos**. In: Anais do IV Simpósio de rochas ornamentais do Nordeste, 16 a 19 de novembro de 2003, Fortaleza. Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003. p. 221-229.

Wieck, R.; Fh, J. D. **Princípios básicos, problemas e soluções no processo de extrusão de cerâmica vermelha**. Revista Cerâmica Industrial, v. 18, n. 3, p. 16-23. 2013. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657517f8c9d6e028b47e3/pdf/ci-18-3-587657517f8c9d6e028b47e3>. Acesso em 10 jun 2025

8. APÊNDICES

APÊNDICE 01 - Fichas catalográficas para anotação de dados dos corpos de prova preenchido

FICHA CATALOGRÁFICA						900°C					
CÓDIGO DO CORPO DE PROVA		MASSAS (g)				DIMENSÕES APÓS (mm)					
		SECA	IMERSA	ÚMIDA	QUEIMA	SECAGEM			QUEIMA		
						C	L	H	C	L	H
A1 (natural)	A101	50,20	18,30	56,20	44,90	68,18	34,16	14,63	66,65	33,58	14,22
	A102	58,30	21,50	65,10	52,10	65,80	38,64	15,63	64,89	37,54	15,30
	A103	54,90	20,30	61,40	49,10	74,81	41,96	11,99	73,43	41,22	11,33
	MÉDIA A1	54,47	20,03	60,90	48,70	69,60	38,25	14,08	68,32	37,45	13,62
A2 (10%)	A201	26,50	10,90	28,30	23,20	57,10	29,16	10,15	56,18	28,92	9,80
	A202	27,10	11,30	29,10	24,20	61,14	28,32	9,92	60,29	27,97	9,61
	A203	23,00	9,80	24,70	20,20	58,32	29,35	9,11	57,37	28,14	8,80
	MÉDIA A2	25,53	10,67	27,37	22,53	58,85	28,94	9,73	57,95	28,34	9,40
A3 (15%)	A301	39,00	16,00	41,60	34,20	73,36	28,52	12,20	72,24	27,24	11,41
	A302	51,30	20,90	56,70	46,60	65,94	34,33	14,72	64,67	33,97	14,35
	A303	49,10	20,30	54,30	44,60	67,34	34,41	14,06	66,52	33,78	13,73
	MÉDIA A3	46,47	19,07	50,87	41,80	68,88	32,42	13,66	67,81	31,66	13,16
A4 (20%)	A401	59,30	23,00	66,20	53,70	72,49	41,12	13,09	71,98	40,67	12,68
	A402	47,70	18,60	53,20	43,20	58,25	36,65	15,07	57,42	36,23	15,05
	A403	29,10	12,60	31,20	25,70	75,01	29,77	8,90	74,34	28,46	8,63
	MÉDIA A4	45,37	18,07	50,20	40,87	68,58	35,85	12,35	67,91	35,12	12,12

FICHA CATALOGRÁFICA						950°C					
CÓDIGO DO CORPO DE PROVA		MASSAS (g)				DIMENSÕES APÓS (mm)					
		SECA	IMERSA	ÚMIDA	QUEIMA	SECAGEM			QUEIMA		
						C	L	H	C	L	H
B1 (natural)	B101	58,80	21,70	61,90	51,00	75,41	39,59	13,04	73,15	38,29	12,41
	B102	56,50	21,10	59,70	49,10	74,98	38,89	12,27	73,63	38,51	12,17
	B103	52,10	19,50	55,10	45,30	74,47	38,03	12,06	71,67	37,09	11,76
	MÉDIA B1	55,80	20,77	58,90	48,47	74,95	38,84	12,46	72,82	37,96	12,11
B2 (10%)	B201	60,10	23,40	61,60	51,30	72,76	39,90	12,21	70,52	39,11	11,93
	B202	30,50	11,70	31,50	26,00	42,91	37,27	15,13	42,56	30,75	14,57
	B203	37,40	14,70	38,30	31,80	43,48	45,67	11,45	43,34	45,03	11,35
	MÉDIA B2	42,67	16,60	43,80	36,37	53,05	40,95	12,93	52,14	38,30	12,62
B3 (15%)	B301	65,00	25,00	65,60	54,80	72,04	42,85	12,38	71,09	42,40	11,30
	B302	74,78	28,70	77,40	64,60	79,02	38,26	14,57	76,80	38,00	14,38
	B303	75,10	28,40	73,50	61,40	78,03	37,48	15,38	73,10	37,30	13,54
	MÉDIA B3	71,63	27,37	72,17	60,27	76,36	39,53	14,11	73,66	39,23	13,07
B4 (20%)	B401	73,70	28,50	77,40	64,60	74,49	42,68	13,66	71,63	38,90	13,48
	B402	60,90	23,70	64,80	53,70	74,41	36,28	14,35	71,70	35,70	13,85
	B403	52,30	21,20	54,30	45,00	69,76	36,79	12,91	68,10	36,42	12,79
	MÉDIA B4	62,30	24,47	65,50	54,43	72,89	38,58	13,64	70,48	37,01	13,37

FICHA CATALOGRÁFICA						1000°C					
CÓDIGO DO CORPO DE PROVA		MASSAS (g)				DIMENSÕES APÓS (mm)					
		SECA	IMERSA	ÚMIDA	QUEIMA	SECAGEM			QUEIMA		
						C	L	H	C	L	H
C1 (natural)	C101	41,50	17,70	47,60	38,90	76,85	31,58	12,30	75,46	31,21	12,05
	C102	27,60	10,50	29,70	24,20	55,48	27,56	12,08	53,77	26,74	11,70
	C103	26,90	10,50	28,50	23,20	53,42	30,14	11,12	51,91	29,35	10,84
	MÉDIA C1	32,00	12,90	35,27	28,77	61,92	29,76	11,83	60,38	29,10	11,53
C2 (10%)	C201	37,50	15,80	39,60	33,00	65,14	35,82	10,78	64,09	34,09	10,17
	C202	39,20	16,90	41,10	34,40	68,67	39,42	9,20	66,94	38,60	8,90
	C203	32,50	13,60	33,90	28,40	59,09	31,87	10,91	57,49	30,87	10,62
	MÉDIA C2	36,40	15,43	38,20	31,93	64,30	35,70	10,30	62,84	34,52	9,90
C3 (15%)	C301	62,20	25,40	64,00	53,90	68,01	40,18	13,40	66,51	38,84	13,17
	C302	58,60	24,30	60,50	50,90	70,67	41,05	13,34	68,46	40,10	11,97
	C303	42,30	18,00	44,10	37,10	74,11	30,37	11,23	72,43	29,77	10,91
	MÉDIA C3	54,37	22,57	56,20	47,30	70,93	37,20	12,66	69,13	36,24	12,02
C4 (20%)	C401	39,00	16,40	40,60	34,20	61,46	31,97	12,02	60,07	30,95	11,77
	C402	57,80	23,70	59,90	50,40	70,31	34,64	15,04	68,73	33,95	14,75
	C403	47,50	20,00	49,40	41,80	70,12	30,41	13,27	68,19	29,67	13,10
	MÉDIA C4	48,10	20,03	49,97	42,13	67,30	32,34	13,44	65,66	31,52	13,21

APÊNDICE 02 - Parâmetro de dimensionamento dos corpos de provas

