

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN  
Design de Produtos | Linha de Sustentabilidade

KAROLINE DE LOURDES MONTEIRO GUIMARÃES

**ANÁLISE DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE OSSOS BOVINOS E ROCHAS  
ORNAMENTAIS EM MASSA CERÂMICA BRANCA PARA A UTILIZAÇÃO EM  
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO**

SÃO LUÍS

2015

**Karoline de Lourdes Monteiro Guimarães**

**ANÁLISE DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE OSSOS BOVINOS E ROCHAS  
ORNAMENTAIS EM MASSA CERÂMICA BRANCA PARA A UTILIZAÇÃO EM  
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Maranhão para obtenção de título de Mestre em Design.

**Orientador:** Prof. Dr. Denilson Moreira Santos

SÃO LUÍS  
2015

KAROLINE DE LOURDES MONTEIRO GUIMARÃES

**ANÁLISE DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE OSSOS BOVINOS E ROCHAS  
ORNAMENTAIS EM MASSA CERÂMICA BRANCA PARA A UTILIZAÇÃO EM  
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Design do Programa  
de Pós-graduação em Design, Departamento de  
Desenho e Tecnologia da Universidade Federal do  
Maranhão.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. **Denilson Moreira Santos** (Orientador), Doutor em Química  
DEDET/ PPGDg – Universidade Federal do Maranhão

---

Prof. Dr. **Sanatiel de Jesus Pereira**, Doutor em Engenharia Florestal  
DEDET/ PPGDg – Universidade Federal do Maranhão

---

Prof. Dr. **Antônio Ernandes Macedo Paiva**, Doutor em Ciência e Engenharia dos  
Materiais  
IFMA – Instituto Federal do Maranhão

---

Profa. Dra. **Ivana Márcia Oliveira Maia**, Doutora em Engenharia Mecânica  
IFMA – Instituto Federal do Maranhão

Aprovado em 28 de abril de 2015.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a esta Universidade, à coordenação do Curso e aos professores pela oportunidade em aprender e crescer na minha formação acadêmica e na minha profissão.

Aos participantes da banca, que se apresentaram solícitos e gentis para a realização da minha defesa.

Ao professor Dr. Ernandes, que tornou possível a realização do ensaio de ruptura à flexão.

Ao meu orientador, o professor Dr. Denilson, pelo suporte, pela disponibilidade, pela orientação no direcionamento correto da pesquisa, por contribuir com referências científicas, por viabilizar materiais, equipamentos e a realização dos ensaios, além da compreensão em algumas dificuldades que tive.

Ao professor Dr. Sanatiel Pereira, pelo incentivo, amizade e pela disponibilidade durante todo o meu tempo na Universidade, pois foi essencial para a minha conquista de entrada no Curso, permanência e crescimento.

À pesquisadora Railde Diniz, pelo enorme auxílio, pela amizade e parceria, oferecidas a todo tempo, com profissionalismo e perfeccionismo no desenvolvimento da pesquisa.

À minha família, aos meus amigos do Mestrado, à Mariana Valporto, Lílian Cantanhede, Valkíria Viégas e Pablo Neves, além dos amigos de vida, sobretudo às enfermeiras Adriana Guimarães Sá e Natália Coêlho.

Agradeço ainda à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – CAPES -, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão - FAPEMA, pelo suporte financeiro que viabilizou o desenvolvimento deste estudo.

*“The mind that opens to a new idea  
never returns to its original size.”*

**Albert Einstein**

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiii
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	xv
<b>RESUMO</b> .....	xvi
<b>ABSTRACT</b> .....	xvii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 OBJETIVOS .....	2
1.1.1 Objetivo geral .....	2
1.1.2 Objetivos específicos .....	2
1.2 HIPÓTESES .....	3
1.3 JUSTIFICATIVA .....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	6
2.1 CERÂMICA .....	6
2.1.1 Composição da cerâmica .....	8
2.1.2 Classificação da cerâmica .....	10
2.1.2.1 <i>Cerâmica branca</i> .....	12
2.1.3 Processo produtivo .....	15
2.1.3.1 <i>Preparação do material</i> .....	16
2.1.3.2 <i>Processos de conformação</i> .....	17
2.1.3.3 <i>Secagem</i> .....	20
2.1.3.4 <i>Sinterização</i> .....	21
2.1.4 Propriedades tecnológicas .....	22
2.1.4.1 <i>Absorção de água (A.A.)</i> .....	23
2.1.4.2 <i>Porosidade aparente (PA)</i> .....	25
2.1.4.3 <i>Densidade (D)</i> .....	26
2.1.4.4 <i>Perda ao Fogo (PF)</i> .....	27
2.1.4.5 <i>Retração Linear (R<sub>L</sub>)</i> .....	28
2.1.4.6 <i>Tensão de ruptura à flexão (TRF)</i> .....	28
2.1.5 Análise visual .....	28
2.2 RESÍDUOS .....	30
2.2.1 Resíduos sólidos .....	32

2.2.2 Aproveitamento de resíduos .....	35
2.2.2.1 Ossos bovinos .....	36
2.2.2.2 Rochas ornamentais .....	37
2.2.3 Contextualização de pesquisas desenvolvidas com os resíduos escolhidos	40
2.2.3.1 Ossos bovinos .....	40
2.2.3.2 Rochas ornamentais .....	42
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>44</b>
3.1 MATERIAIS .....	44
3.1.1 Caracterização das matérias-primas .....	44
3.1.2 Seleção e aquisição das matérias-primas .....	44
3.1.3 Preparação das matérias-primas .....	45
3.1.3.1 Ossos bovinos .....	45
3.1.3.2 Rochas ornamentais .....	46
3.1.4 Formulação das composições .....	46
3.1.5 Caracterização dos demais equipamentos utilizados .....	48
3.2 MÉTODOS .....	48
3.2.1 Etapas .....	49
3.2.1.1 Etapas da preparação da cerâmica com ossos bovinos .....	49
3.2.1.2 Etapas da preparação da cerâmica com rochas ornamentais .....	50
3.2.2 Moldagem dos corpos de prova .....	51
3.2.3 Medição e pesagem .....	52
3.2.4 Secagem dos corpos de prova .....	54
3.2.5 Sinterização dos corpos de prova .....	54
3.2.6 Propriedades tecnológicas analisadas .....	55
3.2.7 Desvio padrão .....	59
3.2.8 Gráficos .....	59
3.2.9 Ensaio de flexão .....	60
3.2.10 Análise visual .....	60
3.2.11 Processo de prensagem .....	60
3.2.12 Processo de colagem de barbotina .....	62
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>64</b>
4.1 ESTUDO DOS CORPOS DE PROVA .....	64
4.1.1 Medições .....	64
4.1.2 Propriedades tecnológicas .....	67
4.1.2.1 Absorção de água (AA) .....	68

4.1.2.2 Porosidade (PA) .....	71
4.1.2.3 Densidade (D).....	73
4.1.2.4 Perda ao fogo (PF) .....	75
4.1.2.5 Retração linear após secagem (RLs) .....	77
4.1.2.6 Retração linear após queima (RLq) .....	80
4.1.2.7 Tensão de ruptura à flexão (TRF) .....	83
4.1.3 Análise visual .....	87
4.1.3.1 Contabilização dos problemas superficiais .....	87
4.1.3.2 Diferenças de tonalidade .....	91
4.2. ESTUDO DOS PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO .....	96
4.2.1 Processo de conformação por prensagem .....	96
4.2.1.1 Análise visual no processo de conformação por prensagem .....	97
4.2.2 Processo de conformação por colagem de barbotina .....	102
4.2.2.1 Análise visual no processo de conformação por colagem de barbotina ....	102
<b>5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE ESTUDOS POSTERIORES .....</b>	<b>108</b>
5.1 CONCLUSÕES .....	108
5.2 SUGESTÕES DE ESTUDOS POSTERIORES .....	112
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>120</b>
<b>APÊNDICE A – Modelos de fichas para dimensões e pesagens dos corpos de prova .....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>122</b>
<b>Anexo A - Imagens dos corpos de prova durante o processo produtivo .....</b>	<b>123</b>
<b>Anexo B – Exemplo de resultado da aplicação do ensaio de flexão dos corpos de prova (OB30) .....</b>	<b>125</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Locais de produção cerâmica no Maranhão. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	14
Figura 2: Técnicas de prensagem. Fonte: Elaborado pelo autor.....	18
Figura 3: Etapas da colagem de barbotina. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	19
Figura 4: Fases da secagem de argila úmida em uma seção transversal à superfície. Fonte: NORTON, 1973, p.149.....	20
Figura 5: Ilustração da formação do pescoço. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	22
Figura 6: Medição da densidade pelo método de Arquimedes. Fonte: ASHBY et al, 2012, p. 49. ....	27
Figura 7: a) Ossos bovinos calcinados; b) Pó de ossos bovinos calcinados após peneiramento. Fonte: Arquivo pessoal.....	45
Figura 8: a) Fino de rochas ornamentais após a secagem; b) Resultado final do beneficiamento; c) e d) Sobras do beneficiamento do fino de rochas ornamentais. Fonte: Arquivo pessoal.....	46
Figura 9: Moldagem dos corpos de prova: 1. Preparação da mistura; 2. Desmoldante; 3. Montagem do molde; 4. Introdução da mistura no interior do molde; 5. Compactação; 6. Resultado dentro do molde. Fonte: Arquivo pessoal.....	51
Figura 10: Medição das dimensões dos corpos de prova. a) Comprimento; b) Largura; c) Espessura. Fonte: Arquivo pessoal.....	53
Figura 11: a) Preparação para identificação das massas imersas e úmidas; b) Pesagem; c) Corpos de prova submersos em água. Fonte: Arquivo pessoal.....	53
Figura 12: a) Corpos de prova no interior da estufa; b) Painel eletrônico da estufa ligada. Fonte: Arquivo pessoal. ....	54
Figura 13: Ciclos de queima. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	54
Figura 14: Teste de Ruptura à Flexão de 3 Pontos. Fonte: Elaborado pelo autor.....	58
Figura 15: a) Molde do revestimento; b) Mistura com água; c) Amassamento da mistura; d) Preenchimento do molde. Fonte: Arquivo pessoal. ....	61
Figura 16: a) Molde poroso; b) Inserção de barbotina no molde; c) Aderência ao molde; d) Nivelamento das bordas. Fonte: Arquivo pessoal. ....	62

Figura 17: Gráfico de absorção de água para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.....	68
Figura 18: Gráfico de absorção de água para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.....	70
Figura 19: Gráfico de porosidade aparente para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.....	71
Figura 20: Gráfico de porosidade aparente para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.....	72
Figura 21: Gráfico da densidade para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.....	73
Figura 22: Gráfico da densidade para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	74
Figura 23: Gráfico de perda ao fogo para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.....	75
Figura 24: Gráfico de perda ao fogo para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	76
Figura 25: Gráfico de retração linear após secagem para cerâmicas com ossos. Fonte: Elaborado pelo autor.....	77
Figura 26: Gráfico de retração linear após secagem para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.....	79
Figura 27: Gráfico de retração linear após queima para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	80
Figura 28: Gráfico de retração linear após queima para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.....	81
Figura 29: Diferentes retrações dos corpos de prova. Fonte: Arquivo pessoal. ....	82
Figura 30: Gráfico de tensão de ruptura a flexão para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	83
Figura 31: Gráfico da tensão de ruptura a flexão para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.....	85
Figura 32: Identificação de problemas na análise visual. Fonte: Arquivo pessoal.....	87
Figura 33: Tonalidades da cerâmica com adição de ossos. Fonte: Arquivo pessoal. ....	91

Figura 34: Tonalidades da cerâmica com adição de ossos em relação ao tempo. Fonte: Arquivo pessoal.....	92
Figura 35: Tonalidades da cerâmica com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Arquivo pessoal.....	93
Figura 36: Tonalidades da cerâmica com adição de fino de rochas ornamentais em relação ao tempo. Fonte: Arquivo pessoal. ....	93
Figura 37: Diferenças de tonalidades. Fonte: Arquivo pessoal. ....	94
Figura 38: a) Produtos de ossos bovinos após conformação por prensagem; b) Uniformização superficial. Fonte: Arquivo pessoal.....	97
Figura 39: Revestimentos de cerâmica com ossos bovinos: a) Após sinterização; b) Após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal. ....	98
Figura 40: Problemas superficiais da cerâmica com ossos por prensagem: a) Presença de uma pinta; b) Depressão e um furo; c) Demonstração da deformação dimensional. Fonte: Arquivo pessoal.....	99
Figura 41: Revestimentos de cerâmica com fino de rochas ornamentais: a) Após conformação; b) Após sinterização; c) Após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal. ...	100
Figura 42: Problemas superficiais da cerâmica com fino de rochas por prensagem: a) Furos; b e c) Rachaduras; d) Demonstração da diferença de nível. Fonte: Arquivo pessoal.....	101
Figura 43: Demonstração da deformação dimensional no revestimento com fino de rochas. Fonte: Arquivo pessoal. ....	101
Figura 44: Petisqueira de cerâmica com ossos confeccionada por colagem de barbotina: a) Vista superior após conformação; b) Vista superior após queima; c) Vista superior após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal.....	103
Figura 45: Resultados identificados na superfície do produto com ossos: a) Superfície irregular após conformação; b) Rachaduras; c) Resultado após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal.....	103
Figura 46: Vista superior da petisqueira de cerâmica com fino de rochas ornamentais, confeccionada por colagem de barbotina: a) Após conformação; b) Após queima; c) Após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal. ....	105
Figura 47: Vista posterior da petisqueira de cerâmica com fino de rochas ornamentais, confeccionada por colagem de barbotina: a) Após conformação; b) Após queima; c) Após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal. ....	105

Figura 48: Problemas superficiais encontrados na pestiqueira de cerâmica com fino de rochas ornamentais. Fonte: Arquivo pessoal. ....	106
Figura 49: Descolamento do produto à partir da parede do molde. Fonte: Arquivo pessoal.....	106
Figura 50: Produto vitrificado. Fonte: Arquivo pessoal. ....	107
Figura 51: Corpos de prova de cerâmica branca triaxial: a) Após conformação; b) Após secagem; c) Após sinterização. Fonte: Arquivo pessoal. ....	123
Figura 52: Corpos de prova de cerâmica branca com ossos bovinos: a) Após conformação; b) Após secagem. Fonte: Arquivo pessoal. ....	123
Figura 53: Corpos de prova de cerâmica branca com ossos após sinterização. Fonte: Arquivo pessoal.....	123
Figura 54: Corpos de prova de cerâmica branca com adição de fino de rochas ornamentais após conformação. Fonte: Arquivo pessoal.....	124
Figura 55: Corpos de prova de cerâmica branca com adição de fino de rochas após secagem. Fonte: Arquivo pessoal. ....	124
Figura 56: Corpos de prova de cerâmica branca com fino de rochas ornamentais após sinterização. Fonte: Arquivo pessoal. ....	124

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Alguns materiais cerâmicos e aplicações. Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em ASKELAND, 2013, p.451.....	7
Tabela 2: Possibilidades de classificação de cerâmicas. Fonte: Arquivo pessoal.....	11
Tabela 3: Argilas utilizadas na cerâmica branca. Fonte: SANTOS, 1975, P. 468. ....	12
Tabela 4: Normas sobre ensaios de absorção de água para produtos cerâmicos. Fonte: ABNT.....	24
Tabela 5: Normas sobre ensaios de densidade aparente para produtos cerâmicos. Fonte: ABNT.....	26
Tabela 6: Conceitos de lixo, resíduo e sobra. Fonte: WEISZFLOG, 2002. ....	31
Tabela 7: Classificação de resíduos e suas características. Fonte: ABNT (2004). ...	34
Tabela 8: Classificação das rochas quanto à origem, conforme a NBR 15012:2013. Fonte: ABNT, 2013.....	38
Tabela 9: Porcentagem proposta para os componentes utilizados nas misturas. Fonte: Arquivo pessoal.....	47
Tabela 10: Componentes da cerâmica branca tradicional triaxial. Fonte: Arquivo pessoal.....	47
Tabela 11: Listagem das matérias-primas e equipamentos utilizados na pesquisa. Fonte: Arquivo pessoal.....	48
Tabela 12: Composição da massa cerâmica branca com resíduos para a prensagem. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	61
Tabela 13: Composição da mistura com resíduos para colagem de barbotina. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	62
Tabela 14: Valores de medição e pesagem dos corpos de prova triaxiais. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	65
Tabela 15: Valores de medição e pesagem dos corpos de prova com ossos. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	65
Tabela 16: Valores de medição e pesagem dos corpos de prova com rochas. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	66
Tabela 20: Valores das propriedades tecnológicas. Fonte: Elaborado pelo autor.....	67

Tabela 21: Classificação dos revestimentos cerâmicos. Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT 13818 (1997) e website do Inmetro. ....	69
Tabela 22: Classificação de revestimentos cerâmicos com TRF. Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT 13818 (1997) e website do Inmetro. ....	84
Tabela 23: Problemas superficiais identificados na cerâmica com ossos. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	88
Tabela 24: Problemas superficiais identificados na cerâmica com fino de rochas. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	90
Tabela 25: Problemas superficiais da cerâmica com ossos bovinos na prensagem. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	98
Tabela 26: Problemas superficiais da cerâmica com fino de rochas no processo de prensagem. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	100
Tabela 27: Problemas superficiais da cerâmica com ossos bovinos no processo de colagem de barbotina. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	104
Tabela 28: Problemas superficiais da cerâmica com fino de rochas no processo de colagem de barbotina. Fonte: Elaborado pelo autor. ....	106

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	International Organization for Standardization
NM	Norma Mercosul
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OBC	Ossos bovinos calcinados
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
AA	Absorção de água
PA	Porosidade aparente
PF	Perda ao fogo
RL	Retração linear
RLs	Retração linear após secagem
RLq	Retração linear após queima
TRF	Tensão de ruptura à flexão
DP	Desvio padrão

## RESUMO

O descarte de resíduos sólidos é visto como um problema ambiental. Uma solução apresentada pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos consiste no reaproveitamento de resíduos em novos processos produtivos, proposta trabalhada neste estudo. O reaproveitamento pode ser visto também como uma solução tecnológica, pois agrega características funcionais e estéticas aos produtos. Os ossos bovinos e o fino de rochas ornamentais possuem características fisio-químicas interessantes, passíveis de serem incorporados a outros materiais, como ocorre na produção cerâmica. Neste trabalho, foram desenvolvidas composições de cerâmica branca com adições de resíduos de ossos e de rochas, as quais foram submetidas a análises em duas etapas: a primeira consistiu em uma análise quantitativa de propriedades tecnológicas, tais como a absorção de água, a porosidade, densidade, perda ao fogo, retração linear e o módulo de ruptura à flexão; e a segunda foi uma avaliação qualitativa do aspecto visual do material. As porcentagens com melhor desempenho foram utilizadas em produtos pelos processos de prensagem e colagem de barbotina, para nova análise visual. Os resultados mostram que as composições de 30%, 35% e 55% de ossos bovinos e de 30%, 35% e 40% de fino de rochas ornamentais apresentaram os melhores resultados. Além disso, o material apresentou ótimo desempenho visual na aplicação em produtos - como revestimentos e utilitários - por prensagem e colagem de barbotina.

Palavras-chave: cerâmica branca; resíduos; materiais.

## ABSTRACT

*The disposal of solid waste is seen as an environmental problem. A solution presented by the National Plan for Solid Waste the reuse of waste in new production processes, proposal worked in this paper. The use can also be seen as a technological solution because adds functional and aesthetics characteristics of the products. The cattle bones and the fine of ornamental rocks have physio-chemical characteristics, which can be incorporated into other materials as in ceramic production. In this paper, white ceramic compositions were developed with waste additions of bones and rocks which were analyzed in two steps: the first consisted of a quantitative analysis of technological properties such as water absorption, porosity, density, loss to fire, linear shrinkage and the modulus of rupture in bending; and the second were an qualitative evaluation of the visual appearance of the material. The percentages of the best performing were used in products, for pressing and bonding the slip process, to a new visual analysis. The results show that the compositions of 30%, 35% e 55% of cattle bones and 30%, 35% e 40% of fine of ornamental rocks showed the best results. Furthermore, the material presented a great visual performance in the application of products – like coatings and utilities - by pressing and bonding the slip.*

*Key-words: white ceramic; waste; materials.*

# 1 INTRODUÇÃO

Este estudo visa a análise da incorporação de resíduos, como ossos bovinos e finos de rochas ornamentais, à massa cerâmica branca, avaliando algumas características físicas e mecânicas e também o seu comportamento quando submetida a dois processos cerâmicos de conformação – a prensagem e a colagem de barbotina. Com a experimentação, foi possível saber quais são as características tecnológicas deste material e responder se as misturas que apresentaram melhor desempenho podem ser submetidas a processos de conformação conhecidos industrialmente.

A indústria cerâmica consiste em um segmento de grande aceitação no Brasil e ainda possui possibilidades de crescimento. No País e sobretudo no Estado do Maranhão, as indústrias contam com elevada disponibilidade da matéria-prima e baixos custos de produção, porém poucos estudos referentes ao conhecimento e aprimoramento das características do material são encontrados, demonstrando que ainda há muito a ser estudado e explorado.

O reaproveitamento de resíduos de outras indústrias na indústria cerâmica consiste na proposta de trabalho. Reaproveitar materiais é uma proposta encontrada, inclusive, no Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010), lei brasileira de 2010, que faz uma abordagem acerca a destinação adequada de resíduos sólidos, por meio de conceitos, propostas e orientações frente às práticas ambientais.

Portanto, sendo a terceira destinação para resíduos sólidos citada pelo PNRS conforme hierarquia proposta para o destino dos resíduos, esta pesquisa propõe o reaproveitamento de ossos bovinos e do fino de rochas ornamentais na indústria cerâmica.

Em pesquisas experimentais com materiais, diversos aspectos podem ser abordados, tais como (1) o seu aspecto ambiental, para que os resíduos de processos industriais não tenham como único destino a poluição da natureza, (2) o aspecto estético, devido à diferenciação estética apresentada nos produtos fabricados com estas novas misturas, (3) o aspecto funcional com o possível aprimoramento das propriedades cerâmicas e (4) o aspecto econômico envolvido,

ao aproveitar resíduos de outros processos industriais ao invés da aquisição de novas matéria-primas.

Em resumo, a incorporação dos resíduos sólidos à massa cerâmica agrega diversos aspectos positivos à indústria. É importante frisar que a melhor estratégia a ser adotada é agir na prevenção do surgimento de resíduos e refugos, no planejamento, desenvolvido no início do processo, como faz entender o PNRS, porém os resíduos utilizados nesta pesquisa são gerados de processos produtivos de outras indústrias, portanto este material trata-se de um problema concreto que necessita de uma solução ou minimização de impactos, pois serão descartados de qualquer maneira.

No âmbito da tecnologia, o designer pode atuar na interferência e desenvolvimento de novos materiais e processos, analisando sua composição, características e pensar na aplicabilidade em produtos com inovação tecnológica, ou ainda estudar melhorias de processos existentes ou mesmo propor inovações. Assim, busca-se que esta pesquisa contribua como um referencial teórico em pesquisas de materiais cerâmicos que incorporem resíduos sólidos na constituição da massa cerâmica branca.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a incorporação de resíduos de ossos bovinos e fino de rochas ornamentais em massa cerâmica branca em composições pré-estabelecidas e em processos de conformação por prensagem e por colagem de barbotina.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar levantamento bibliográfico acerca de conceitos, características e processos de conformação dos materiais cerâmicos e dos resíduos sólidos;
- b) Realizar testes em laboratório com a adição dos resíduos à massa cerâmica;

- c) Caracterizar as propriedades tecnológicas das cerâmicas desenvolvidas;
- d) Analisar visualmente o resultado obtido das cerâmicas conformadas pelos processos escolhidos.

## 1.2 HIPÓTESE

Pesquisas cujo âmbito envolvem o reaproveitamento de resíduos tendem a mostrar que é possível a substituição de determinada porcentagem de algum componente da mistura para a fabricação de produtos cerâmicos.

Portanto, formulou-se a hipótese de que a incorporação dos ossos bovinos e do fino das rochas ornamentais iria apresentar aspectos positivos na análise das propriedades tecnológicas do material e teriam um desempenho satisfatório ao serem submetidos a processos de conformação habituais para a indústria cerâmica.

Se mediante a coleta de referências bibliográficas, de testes, de experimentações e da análise dos dados a hipótese for confirmada, o problema foi solucionado.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Com o desenvolvimento das cidades e o crescimento populacional, a poluição tornou-se uma consequência. Um dos temas relevantes acerca do assunto refere-se ao destino adequado para descarte de resíduos sólidos. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), descrito pela Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), determina conceitos, traça orientações neste sentido e apresenta o reaproveitamento destes resíduos em outros processos como uma alternativa.

Pesquisas de novas composições da massa argilosa são identificadas na literatura mundial, mostrando o enorme potencial de novos caminhos para a o setor. Podem ser citadas as pesquisas de Josiah Wedgwood, do início do século, na Inglaterra. O pesquisador desenvolveu um tipo de massa cerâmica branca conhecida como “porcelana de ossos”, ao substituir parte da matéria-prima da mistura de louça inglesa por 50% de ossos calcinados (SANTOS, 1975, p. 374). Ele

conseguiu objetos com alvura, fino acabamento e excelentes propriedades mecânicas.

Outras pesquisas são encontradas na literatura, como Gouvêa et al. (2007), que também estudou a porcelana de ossos, porém com foco nos efeitos da temperatura de calcinação dos resíduos; Lopes (2005) que abordou acerca do pó de fumo na massa cerâmica; Dantas et al. (2010) que estudou sobre rochas ornamentais em cerâmica; e, mais recentemente, Babisk et al. (2012), que pesquisou sobre resíduos de quartzitos em cerâmica vermelha.

Estas pesquisas possuem objetos de estudo diversificados, mas todos correspondem a resíduos sólidos, assim como neste estudo, que utiliza os ossos bovinos - coletados em açougues e beneficiados pelo processo de calcinação, transformados em pó e peneirados - e também o fino de rochas ornamentais - provenientes do corte de mármore e granitos, no qual a água é extraída para peneiramento do pó.

Conforme classificação da ABNT (2004), são Resíduos da classe III, do tipo inertes, que não se degradam ou não se decompõem quando colocados em solo, o que significa que não são reintroduzidos na natureza e não desaparecem facilmente com tempo, tornando seus depósitos um problema de ordem ambiental.

Mas, além do aspecto ambiental atrelado a este assunto, existe ainda seu aspecto funcional, no qual os resíduos passam a serem vistos não mais como um problema, mas como uma alternativa de potencial tecnológico ao serem incorporados em outros processos ou materiais, lhes conferindo uma destinação adequada e um bom desempenho de trabalho ao interferir nas propriedades do material. Como exemplo, pode-se citar as pesquisas de Bragança e Bergmann (2006, p. 206), que mostram que a porcelana de ossos apresenta maior tensão de ruptura à flexão e elevada resistência mecânica em relação às porcelanas comuns.

Os mesmos autores fazem referência também ao aspecto estético da porcelana de ossos. Os produtos obtidos apresentaram alvura, translucidez, fino acabamento e superfície menos porosa. A porcelana produzida com o fino de rochas ornamentais também deve apresentar características peculiares.

Por fim, o aspecto econômico torna-se bastante relevante em um trabalho deste tipo visto que, ao substituir parte de uma matéria-prima virgem por um resíduo

proveniente de outro processo sem custo direto, há economia de material e, portanto, redução de custos. Este enfoque retorna à questão ambiental uma vez que ao diminuir a quantidade de matéria-prima virgem utilizada, diminui-se também a necessidade de exploração de novas jazidas, minimizando teoricamente a sua extração.

Com base nos aspectos inerentes ao estudo da incorporação de resíduos já descritos, a escolha deste tema se deu para a contribuição do design em processos produtivos locais, pois a atividade ceramista é muito comum na região. A fabricação de produtos cerâmicos consiste em um setor muito promissor no Brasil, inclusive no Maranhão, diante de diversos fatores que contribuem para este cenário, como a disponibilidade da matéria-prima, o baixo custo de produção, a grande aceitação dos produtos no mercado, e as excelentes propriedades do material cerâmico. Assim, com o design de produto, foi possível a interferência e o desenvolvimento dos materiais.

Para a cidade, o estudo pode contribuir para potencialização da indústria local, dando destaque ao seu trabalho e aos produtos gerados, capazes de atender à demandas. O estudo pode também incentivar novos e maiores estudos e o início da produção de cerâmica com incorporação de resíduos sólidos, ainda inexistente no Estado.

Para a comunidade acadêmica, o estudo apresenta referências bibliográficas relevantes e contribui como fundamentação teórica para outras pesquisas nas áreas de design de produto, engenharia de materiais e engenharia de produção, bem como no desenvolvimento e aprimoramento de produtos e processos de produção.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico é destinado à revisão bibliográfica acerca dos temas que fundamentam este estudo: a cerâmica branca, características tecnológicas e processos de conformação da cerâmica, resíduos e seus tópicos relevantes, além da conceituação e caracterização dos ossos bovinos e das rochas ornamentais.

### 2.1 CERÂMICA

Ao falar em cerâmica, pensa-se imediatamente em produtos utilitários vendidos como artesanato, porém este assunto envolve produtos e conceitos mais abrangentes.

Ao começar pelas nomenclaturas, a cerâmica e materiais cerâmicos possuem conceituações diferentes. Santos (1975, p. 375) conceitua materiais cerâmicos com base nas definições da *American Ceramic Society* e *American Society for Engineering Education* (1963). Para ele, consistem em materiais de uso na engenharia ou produtos químicos inorgânicos que possuem utilidade após serem submetidos a tratamentos térmicos, com excessão dos metais e suas ligas. Portanto, os materiais cerâmicos são elementos inorgânicos, não-metálicos (SMITH, 1998, p. 650), submetidos à energia térmica elevada para a sinterização de suas moléculas.

Estes materiais podem ser encontrados em estado puro (ver Tabela 1) - tais como a alumina, o diamante e a zircônia - ou não puros, que apresentam vantagens de trabalho ao serem misturados a outros materiais.

Como exemplo de sua mistura a outros materiais, pode-se citar a sílica. Trata-se de um material cerâmico que serve de matéria-prima base no desenvolvimento de diversos produtos, a exemplo da cerâmica, popularmente empregada para produtos fabricados de material argiloso e sílica.

Tabela 1: Alguns materiais cerâmicos e aplicações. Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em ASKELAND, 2013, p.451.

<b>Materiais Cerâmicos</b>	<b>Características</b>	<b>Aplicações</b>
Alumina (AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Alta resistência mecânica, alta resistência a elevadas temperaturas e material refratário.	Em fornos de fusão de metais, circuitos eletrônicos de silício semicondutor, isolantes em velas de ignição, na medicina e da odontologia.
Diamante (C)	Material natural mais duro que existe, resistente à abrasão.	Abrasivos para desbaste e polimento, ferramentas de corte e jóias.
Sílica (SiO <sub>2</sub> )	Material refratário, isolante térmico.	Fibras ópticas, pneus, pigmentos de tintas, utilitários domésticos e revestimentos.
Carbeto de silício (SiC)	Resistente à oxidação, com propriedades semicondutoras, resistente a elevadas temperaturas.	Fornos e circuitos eletrônicos.
Nitreto de silício (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> )	Moderada resistência à oxidação, com propriedades semicondutoras, resistente entre moderadas e elevadas temperaturas.	Componentes automotivos e de turbinas a gás.
Zircônia (ZrO <sub>2</sub> )	Utilizada na fabricação de cerâmicas.	Jóias, cerâmicas eletrônicas e refratários.

Cerâmicas são constituídas de materiais cristalinos, formados por silicatos à base de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) (SHACKELFORD, 2008, p. 277), mas segundo Santos (1975, p. 376), “a palavra cerâmica pode ser usada como substantivo singular, contudo é usada mais frequentemente como um adjetivo significando inorgânico e não metálico”. Ou seja, a palavra cerâmica acaba sendo utilizada coloquialmente para designar tanto o material quanto os produtos.

Conforme a etimologia da palavra, “cerâmica” é proveniente do grego *kérameikos*, que significa feito da terra ou algo terroso (SANTOS, 1975, p. 374). O termo foi proposto pelo arqueólogo Passeri e utilizado a partir de 1768, na cidade italiana Veneza (GÜETO, 2005).

Abordando estes materiais acerca da aplicabilidade em produtos, quando fala-se em produtos cerâmicos, a primeira ideia diz respeito à sua forma mais tradicional, como cita Van Vlack:

O termo cerâmico é mais familiar como um adjetivo para designar certos objetos de arte. Para o engenheiro, entretanto, os materiais cerâmicos abrangem uma grande variedade de substâncias naturais e sintéticas tais como vidro, tijolos, pedras, concreto, abrasivos, vidrados para porcelana, isolantes dielétricos, materiais magnéticos não-metálicos, refratários para altas temperaturas e muitas outras. (VAN VLACK, 1970, p. 199).

Pensa-se em produtos artísticos, decorados, utilitários domésticos como potes, jarras e vasos, ou mesmo para uso na arquitetura e construção civil, como em tijolos, telhas e revestimentos, contudo, produtos cerâmicos abrangem um universo de possibilidades tecnológicas.

Pesquisadores tem desenvolvido projetos com cerâmica envolvendo alta tecnologia para aplicação na engenharia avançada, na medicina, indústria aeroespacial e eletrônica (SHACKELFORD, 2008). Dessa maneira, o estudo e proposta de novas composições de massas cerâmicas ganha relevância para o avanço tecnológico.

### 2.1.1 Composição da cerâmica

Para a fabricação de produtos cerâmicos, a mistura é constituída por elementos geralmente naturais, tais como argila, óxido de ferro, sílica, alumina livre, feldspato, cálcio, sais solúveis, matéria orgânica e a água, sendo a sílica e a argila suas principais matérias-primas.

A sílica é um termo popular para designar o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ). Este material, juntamente com o oxigênio, correspondem a 75% dos elementos na crosta terrestre, portanto são elementos encontrados com facilidade, e adquiridos por valor acessível (SHACKELFORD, 2008, p. 277). A forma mais comum da sílica é o quartzo (NORTON, 1973, p. 53).

As argilas, por sua vez, são constituídas por argilominerais e outros materiais, que ganham plasticidade ao serem misturadas à água e ganham rigidez quando submetidas a altas temperaturas.

Podem ser classificadas (1) conforme sua origem geológica em a) argilas residuais ou primárias e b) argilas sedimentares e (2) conforme usabilidade em a) argilas que queimam com cor branca, b) argilas refratárias, c) argilas para materiais de construção civil ou cerâmica vermelha, d) argila para louça de pó de pedra, e) argilas para tijolos e f) argilas fundentes (NORTON, 1973, p. 26). É mais frequentemente classificada quanto ao uso, inclusive esta é a forma de classificação utilizada neste trabalho, que tem como foco argilas que apresentam colocação branca após a sinterização.

As matérias-primas utilizadas na composição da argila determinam sua origem natural ou artificial, característica que influencia no seu desempenho. As matérias-primas que compõem as argilas podem ser a) naturais (correspondente a argilas vermelhas, argilitos, siltitos, filitos, agalmatolitos, caulins, talcos, feldspatos, quartzos, calcários, entre outras), b) beneficiadas (filitos, agalmatolitos, caulins, feldspatos, magnesitas, argilas refratárias, alumina e chamotes) ou c) sintéticas (óxidos, alumina e esmaltes) (BUSTAMANTE; BRESSIANI, 2000, p. 35).

Ao compor a mistura, as matérias-primas são escolhidas conforme propriedades desejadas para determinado produto, pois cada uma delas possui características de trabalho específicas. As argilas do tipo naturais correspondem à base dos produtos estruturais de argila como tijolos, telhas e canos de esgoto. Já os produtos que precisam ser expostos ao calor, são compostos por argilas beneficiadas, chamadas de argilas refratárias, com características melhoradas e resistentes a elevadas demandas caloríficas, por isso muito utilizadas pela indústria (SHACKELFORD, 2008, p. 278).

A grande problemática da utilização de argilas consiste na irregularidade de sua composição. Em um local de extração é possível encontrar variados tipos de materiais argilosos, tanto sedimentares quanto residuais, de constituição variável. Até um mesmo tipo de argila pode apresentar características diferentes conforme local de extração. Isto acontece por ser um material natural, produto da formação geológica e das interferências de intempéries no local. Ou seja, cada cerâmica pode

apresentar características próprias conforme local de extração, tipo de argila e matéria-primas envolvidas.

Isto inviabiliza maior precisão técnica para o uso do material, como é possível ser feito com outros materiais como os metais. Apesar disso, é possível submeter o material a análises estruturais e testes de seu comportamento de trabalho, traçando possíveis previsões de seu desempenho.

### 2.1.2 Classificação da cerâmica

A cerâmica pode ser classificada de diversas maneiras, mas é frequentemente classificada conforme sua 1) classe de compostos químicos, 2) por suas propriedades, 3) quanto à sua aplicabilidade e 4) quanto à sua coloração.

Conforme a classe de compostos químicos, pode ser classificada em óxidos, carbetos, nitretos, sulfetos, fluoretos, etc, conforme os tipos de elementos químicos encontrados.

A classificação quanto às propriedades, leva em consideração a propriedade do material que seja mais relevante para aplicação em produtos. Podem ser classificadas como elétricas, magnéticas, ópticas, automotivas, mecânicas/estruturais, biomédicas, habitacionais, químicas, domésticas e outras (ASKELAND; WRIGHT, 2014, p. 480).

Quanto à aplicabilidade, podem ser cerâmicas tradicionais ou cerâmicas técnicas (SMITH, 1998, p. 612). As tradicionais são as mais facilmente encontradas, moldadas com argilas de propriedades plásticas e aplicadas para produtos mais comuns como louças, tijolos, telhas, constituídos basicamente por argila, sílica e feldspato, com composição controlada. Neste grupo, estão as louças brancas.

Já as cerâmicas técnicas, possuem características mais aprimoradas do material, pois são para uma utilização específica, como para *chips* de computadores, turbinas de gás, uso na medicina e odontologia, portanto são constituídas de materiais puros ou quase puros, como o óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), o carboneto de silício (SiC) e o nitreto de silício ( $Si_3N_4$ ). Na constituição dos óxidos puros, a quantidade de impurezas é menor que 1%, por isso muito usados na indústria eletrônica (SHACKELFORD, 2008, p. 278).

No Brasil, os produtos cerâmicos são encontrados principalmente de maneira tradicional, para a cerâmica estrutural, revestimentos, produtos sanitários, louças de mesa e adornos (BUSTAMANTE; BRESSIANI, 2000, p. 31).

Por fim, quanto à sua coloração, as mais conhecidas são as cerâmicas vermelhas e as cerâmicas brancas. A vermelha apresenta coloração em tons terrosos após a queima, que variam entre o amarelo queimado, tons de marrom até o vermelho. Isto ocorre devido à grande quantidade de óxido de ferro em sua constituição, responsável pela coloração.

As cerâmicas brancas são produtos constituídas por argilas com baixo teor de óxido de ferro. Portanto, quando existente em pouca ou nenhuma quantidade, proporciona cerâmicas em tonalidades que variam do roseado, creme até o branco no aspecto final, sem acabamento, além de grãos finos. Como produtos, são encontrados os louças, porcelanas, equipamentos sanitários e as porcelanas técnicas.

Um resumo destas classificações pode ser visto na Tabela 2.

*Tabela 2: Possibilidades de classificação de cerâmicas. Fonte: Arquivo pessoal.*

<b>CLASSIFICAÇÃO CERÂMICA</b>		
	<b>Tipos</b>	<b>Alguns produtos</b>
Quanto à classe de composto químicos	Óxidos	
	Carbetos	
	Nitreto	
	Sulfetos, etc.	
Quanto à propriedade	Elétricas	Óxidos condutores, cerâmica piezoelétrica
	Magnéticas	Isolantes, circuladores, indutores, imãs
	Ópticas	Fibras ópticas, vidros
	Automotivas	Velas de ignição, pára-brisa, janelas
	Mecânicas	Ferramentas de corte, abrasivos
	Biomédicas	Implantes, restaurações odontológicas
	Habitacionais	Prédios
	Químicas	Catalisador, filtros de ar, sensores
	Domésticas	Azulejos, louças sanitárias, utensílios de cozinha e objetos de decoração
Outras	Equipamentos nucleares, compon. militares	
Quanto à aplicabilidade	Tradicionais	Louças, tijolos, telhas
	Técnicas	Chips
Quanto à coloração	Vermelha	Tijolos,
	Branca	Louça

### 2.1.2.1 Cerâmica branca

A cerâmica branca é constituída pela utilização de uma argila com baixa quantidade de óxido de ferro, que proporciona uma tonalidade clara ao produto cerâmico após a sinterização, com variação tonal entre o bege e o branco. Sua principal matéria-prima é chamada de argila branca, mas pode ainda ser denominada na literatura de argila preta, por apresentar cor escura ao ser extraída.

Segundo Norton (1973, p. 168), as massas mais usuais da cerâmica branca são chamadas de triaxiais. Este nome é devido à sua composição, formada pela mistura de três matérias-primas: a argila plástica misturada ou rica em caulim, o feldspato e o quartzo. Portanto, os produtos gerados com este material são chamados de cerâmicas brancas triaxiais tradicionais.

As triaxiais tradicionais podem ser produzidas com o emprego de três tipos de argilas: os caulins, as argilas plásticas e os filitos cerâmicos (SANTOS, 1975, P. 468). Os filitos cerâmicos correspondem a rochas metamórficas de grãos finos, compostos por caulinita  $[Al_2(Si_2O_5)(OH)_4]$ , mica moscovita  $[Al_2K(Si_{1,5}Al_{0,5}O_5)_2(OH)_2]$  e quartzo ( $SiO_2$ ). Com até 6% de óxido de potássio, os filitos são utilizados como material fundente, responsáveis por aumentar a velocidade da sinterização das moléculas na fusão da massa cerâmica. No Brasil, este material é proveniente de Itaperava (SP), Campo Largo (PR), Santo Antônio dos Montes (PR), Belo Horizonte (MG) e Divinópolis (MG) (SANTOS, 1975, p. 480).

O resumo dos três tipos de argilas encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3: Argilas utilizadas na cerâmica branca. Fonte: SANTOS, 1975, P. 468.

Tipos de argilas	Características
<b>Caulim</b>	É um tipo de argila na cor branca ou clara, constituída por caulinita e/ou haloisita, com queima em torno de 1250°C.
<b>Argilas plásticas</b>	Argilas de grande plasticidade e elevada resistência mecânica quando cruas, de cores variadas.
<b>Filitos cerâmicos</b>	São materiais utilizados como fundentes na composição, responsável por aumentar a velocidade da sinterização das moléculas.

Outro material que pode substituir parcialmente ou totalmente os filitos cerâmicos, trata-se do feldspato. O feldspato corresponde a um aluminosilicato que consegue baixar a temperatura necessária para a fusão das moléculas e formação da fase vítrea desejada para a cerâmica. Portanto, é conhecido como um material fundente que ainda proporciona maior resistência à peça, maior tenacidade e durabilidade das massas cerâmicas (ALATRISTA, 2008, p. 10).

O feldspato pode ser encontrado em três tipos, tais como o ortoclásio, que corresponde ao feldspato potássico ( $KAlSi_3O_8$ ); o albita, que consiste no feldspato sódico ( $NaAlSi_3O_8$ ); e o anortita, correspondente ao feldspato cálcico ( $CaAl_2Si_2O_8$ ). Apesar de suas interferências positivas na massa, este material pode gerar defeitos no resultado final da peça quando colocado em excesso, devido à instabilidade dimensional e deformações que ele pode gerar.

Os caulins, também chamados de *china clay*, correspondem a um material argiloso de pouca plasticidade e baixa resistência mecânica, composto por caulinita e/ou haloisita, com temperatura de queima em torno de 1200°C (SANTOS, 1975, p. 468). São utilizados em diversos setores industriais, como na produção de papéis, materiais poliméricos, pesticidas, rações, produtos alimentícios e farmacêuticos, fertilizantes, entre outros.

Já as argilas plásticas, são constituídas por finas partículas de caulinita, mica (ilita) e quartzo. São utilizadas na massa cerâmica para proporcionar alta plasticidade quando misturadas à água antes da queima, e para elevar a resistência mecânica (NORTON, 1973, p. 31). As argilas plásticas originárias do Reino Unido, Estados Unidos e República Checa são chamadas de *ball clays*. São utilizadas para a constituição de produtos de elevada complexidade e onde a cor não seja tão importante, pois apresentam tons terrosos escuros (SHACKELFORD; DOREMUS, 2010, p. 120).

No Estado do Maranhão, há diversos pontos de extração e produção de argilas plásticas para cerâmica vermelha, com diversas indústrias, como mostra o mapa na Figura 1. Em todo o Estado é possível identificar produtores, com os principais pólos produtivos localizados em Itapecuru Mirim, Timon, Caxias e Imperatriz (MELLO et al, 2011, p. 25).



Figura 1: Locais de produção cerâmica no Maranhão. Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Mello et al (2011, p. 25), existem reservas no Estado de material argiloso para cerâmica branca, porém ainda pouco exploradas, com inexistência de iniciativa industrial, prevalecendo a exploração da cerâmica vermelha e um enorme potencial de cerâmica branca ainda a ser explorado.

A argila plástica de tonalidade branca é proveniente da Baixada Maranhense, mais precisamente da cidade de Mirinzal. Estudos de caracterização de suas propriedades físico-químicas (MOREIRA et al, 2012) mostram que a argila desta região possui alto teor de caulinita e de alumínio, que propiciam o alcance de tonalidades claras para a cerâmica sinterizada. Além disso, possui elevada plasticidade, porém baixa resistência mecânica, justificando assim o estudo para aprimoramento das propriedades do material através da incorporação de resíduos, como a possibilidade de proporcionar o aumento da resistência.

### 2.1.3 Processo Produtivo

“O conhecimento dos processos e do comportamento das matérias-primas durante os mesmos é vital para o desenvolvimento de novos processos e de novos materiais cerâmicos”, disse Santos (1975, p. 378). Significa dizer que os processos e os materiais existentes devem ser conhecidos, para que uma intervenção ou aprimoramento deles seja possível. Diante da intervenção do material proposto por este trabalho, o processo produtivo pelo qual ele passa também será apresentado.

A literatura sobre processo produtivo apresenta diversas maneiras de divisão do processo produtivo da cerâmica, em etapas, conforme cada autor, como Santos (1975) e Smith (1998). O processo geral é o mesmo, apenas sua segmentação que é diferenciada. Para Santos (1975, p. 378), por exemplo, a fabricação de objetos cerâmicos envolve quatro etapas, que consistem na (1) preparação da matéria-prima, sua (2) conformação e fabricação, (3) o seu tratamento térmico, com operações de secagem e queima, e (4) o acabamento. As etapas gerais de produção são descritas a seguir:

1. Preparação das matérias-primas: o material passa por regularidade do tamanho dos grãos, através da redução e fracionamento granulométrico, além da mistura ou dispersão de sólidos em líquidos ou gases;
2. Conformação (ou moldagem) e fabricação: etapa em que se dá a forma desejada ao produto, através da moldagem da mistura com as matérias-primas;
3. Tratamento térmico: etapa de transformação estrutural da peça por meio da exposição ao calor. É subdividido em etapas de secagem, queima, recozimento e fusão;
4. Acabamento: consiste no tratamento final na superfície do produto cerâmico.

Já o Smith (1998, p. 604), reduz o processo produtivo, ao deixar de incluir o acabamento superficial final da peça. Para ele, as etapas fundamentais do processamento de produtos cerâmicos são:

1. A preparação do material;
2. Conformação ou vazamento (por diversos tipos de métodos, como a prensagem ou a extrusão);

3. Secagem;
4. E o cozimento (queima ou sinterização).

Assim, os autores descrevem o processo geral de maneira semelhante. Ao escolher uma maneira de descrever as etapas a serem seguidas, é importante manter os padrões característicos, uma vez que o processamento pode influenciar no desempenho dos materiais cerâmicos (SHACKELFORD, 2008, p. 277). Portanto, obedecer a ordem das etapas proporciona o controle do processo.

O processo produtivo será realizado conforme seguintes etapas gerais descritas nos tópicos seguintes.

#### *2.1.3.1 Preparação do Material*

Antes do início do processo de beneficiamento das matérias-primas, a argila é extraída das jazidas. Os locais são selecionados conforme o tipo e características do material que se deseja trabalhar. Ao ser retirada, a matéria-prima apresenta certa quantidade de impurezas, como matéria orgânica e outras rochas, além de outros resíduos, que devem ser retirados. Por isso, o material pode passar por etapas de apodrecimento e retirada de impurezas grosseiras. No apodrecimento, o material argiloso descansa ao ar livre para que as partículas orgânicas possam ser fermentadas. Depois, há a retirada manual e à olho nu de objetos identificados na argila.

Além disso, os grãos encontram-se irregulares. Por isso, é necessária a regularização da matéria-prima através dos processos de moagem e de atomização, antes de ser submetida ao manuseio e à conformação. Esta etapa é essencial, pois a regularidade granulométrica permite a garantia da qualidade da peça a ser desenvolvida, pois evita alguns defeitos.

A moagem, também chamada de maceração, consiste na diminuição e homogeneização do tamanho das partículas. Esta etapa é realizada com o uso de peneiras, que podem apresentar tamanhos de aberturas de malhas diferentes, conforme orienta a ABNT.

A atomização é realizada em argilas com grande quantidade de água e propicia a evaporação parcial da água para a formação do pó atomizado.

Há, ainda, etapas de correção e de amassamento. Na correção, há adição de algum componente à mistura, conforme as propriedades que se objetiva atribuir ao corpo cerâmico. A título de exemplo, a água pode ser adicionada para conferir maior plastificidade à massa ou mesmo o inverso, adicionando mais sílica para que se obtenha menor plasticidade, pois em excesso pode gerar o aparecimento de trincas quando se diminui a retração, ou mesmo para otimizar a secagem.

Por fim, há a etapa de amassamento, na qual todas as matéria-primas utilizadas são bem misturadas, garantindo que elas possam ser regularmente distribuídas em toda a mistura. Uma vez que a massa esteja homogênea, ela já pode ser trabalhada nos processos de conformação.

### *2.1.3.2 Processos de conformação*

A quantidade de água na massa é determinada pela escolha do processo de conformação. Ela influencia diretamente no processo e no resultado final das peças. Shackelford e Doremus (2010, p. 124) explicam que o controle da água depende da “*composition of the clay, its structure, additives to the batch, and other factors*”. Ou seja, depende da composição da argila, de sua estrutura, dos aditivos incorporados à massa, entre outros fatores. Caulins e argilas refratárias (resistentes às elevadas temperaturas de trabalho) costumam necessitar de pouca água para adquirir plasticidade, enquanto que as argilas plásticas necessitam de quantidades um pouco maiores.

Dessa maneira, a conformação de produtos cerâmicos pode ser realizada por via úmida e por via seca, com argilas encontradas em estado líquido, plástico ou seco (SMITH, 1998, p. 605). Portanto, o processo deve ser escolhido conforme a consistência da mistura (NORTON, 1973, p. 131). Os métodos mais utilizados são a moldagem plástica, a extrusão, a prensagem (conformação em placa), e o vazamento de suspensões (ou colagem de barbotina) (SMITH, 1998, p. 605). Neste estudo foram utilizados apenas dois métodos de conformação: (1) a conformação por prensagem de placas e (2) a colagem da barbotina, por isso foram os processos citados aqui.

### ➤ **Prensagem**

Na prensagem, a mistura cerâmica é colocada no interior de uma matriz metálica com o formato do produto desejado, onde uma prensa vai empurrar a massa contra a matriz para que as partículas das matérias-primas sejam comprimidas ao máximo até agregarem umas às outras e tomarem a forma da matriz.

A prensagem pode ser realizada com a massa cerâmica em estado seco, com moderada plasticidade ou em estado úmido (SMITH; HASHEMI, 2012, p. 418). A quantidade de água empregada na mistura costuma ser baixa, variando entre 5% e 15% (NORTON, 1973, p. 131). É aplicado também um desmoldante no molde, para que a massa cerâmica tenha facilidade de desgrudar.

O processo ocorre geralmente com o auxílio de prensas hidráulicas, de extrema força constante compactadora, como mostra a Figura 5. Em massas com água em até 15%, por exemplo, é realizada uma pressão compactadora entre 20 a 400 MPa (SHACKELFORD; DOREMUS, 2010, p. 125).

Quando a compactação é bem realizada com uma pressão bem intensa, o maior número de espaços é preenchido pelo material e a quantidade de retração das peças após queima é reduzida, minimizando a possibilidade de apresentar defeitos. Mas quando não é bem realizada, pode causar diversos problemas superficiais, tais como fissuras, bolhas e ondulações.

As variações mais comuns deste processo são a prensagem uniaxial, onde ocorre uma tensão de compressão em uma única direção e para peças menores (ASKELAND; WRIGHT, 2014, p. 483) e a prensagem isostática, com uma tensão de compressão em mais direções, para peças maiores, mostradas na Figura 2.

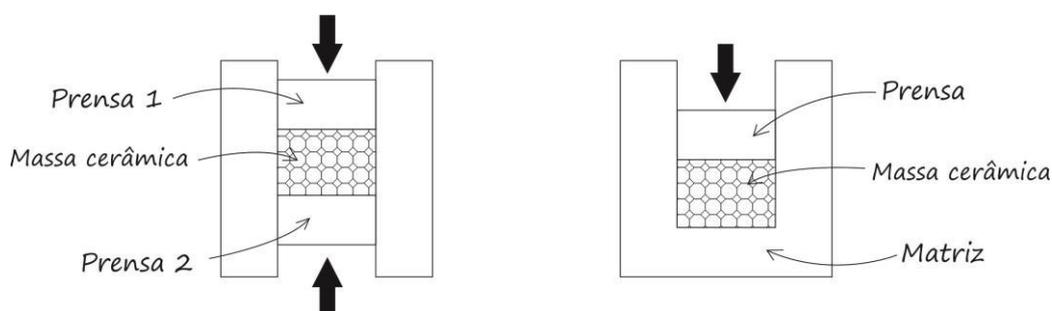


Figura 2: Técnicas de prensagem. Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Askeland e Wright (2014, p. 483), “um dos modos mais econômicos de produzir milhares de peças cerâmicas relativamente pequenas, em geral menores do que 15 cm, com geometria simples, é por prensagem”. Os produtos fabricados por este tipo de processo geralmente são os perfilados, os ladrilhos cerâmicos e os azuleijos.

➤ **Vazamento de suspensões ou fundição ou colagem de barbotina**

O vazamento de suspensões, também chamado de fundição ou colagem de barbotina, é um processo de conformação cerâmica que utiliza uma mistura de massa cerâmica em pó com adição de água, transformada em uma suspensão densa, também chamada de barbotina.

A barbotina é colocada em um molde poroso, geralmente de gesso. Quando a barbotina passa pela superfície do molde, a água contida na barbotina é parcialmente absorvida pelo molde, aderindo em seus poros. Assim, começa a se formar uma camada fina semi-rígida em toda a superfície do molde. Dessa maneira, a barbotina não deve apresentar grossa granulometria, para que a superfície do produto não fique áspera (NORTON, 1973, p. 141).

Após ser alcançada espessura suficiente para a peça, o excesso de barbotina é retirado através de uma cavidade e o conteúdo que permanece colado ao molde é mantido até que apresente a rigidez necessária para ser retirado do molde com segurança (SMITH; HASHEMI, 2012, p. 421), como mostra a Figura 3.

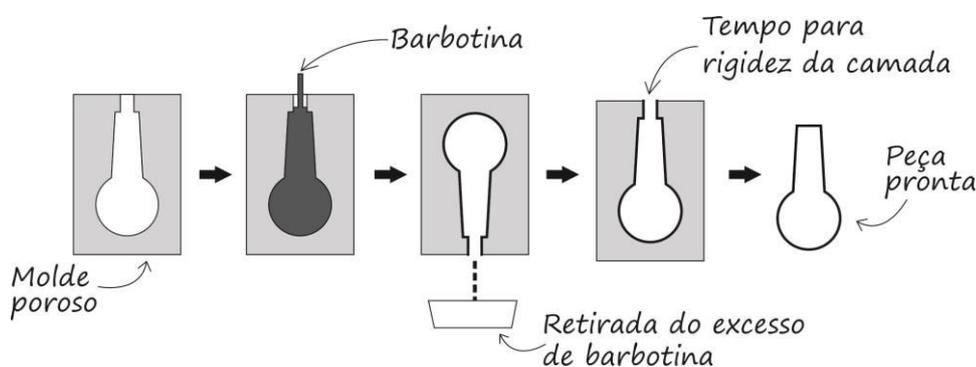


Figura 3: Etapas da colagem de barbotina. Fonte: Elaborado pelo autor.

A principal vantagem do processo de vazamento de suspensões é a obtenção de produtos com paredes finas e uniformes, e da complexidade da forma (SMITH, 1998, p. 608). Pode também ser utilizado tanto para produtos pequenos quanto para grandes.

### 2.1.3.3 Secagem

Depois de conformadas, as peças passam pela etapa de secagem. A secagem visa a retirada do excesso das águas de constituição e de adição contidas, para que o produto adquira a resistência necessária para manter a sua forma. Trata-se de uma etapa de preparação da peça, antes de ser submetida à queima.

Assim, à medida em que a água vai sendo retirada dos poros, o corpo cerâmico sofre retração e diminuição de suas dimensões, como mostra a Figura 4. Esta corresponde a uma etapa muito importante do processo, pois a perda de água e a redução de seu volume são fenômenos que devem ser controlados para evitar o aparecimento de defeitos. Norton (1973, p. 146) diz que “uma programação de secagem demasiadamente rápida causa retração diferencial de tal ordem que produz trincamento”. Ou seja, a peça não pode perder água rápido demais, pois pode apresentar trincas, rachaduras e empenamentos. Além disso, a retração da peça deve ser prevista, para que a peça final apresente o tamanho planejado inicialmente.

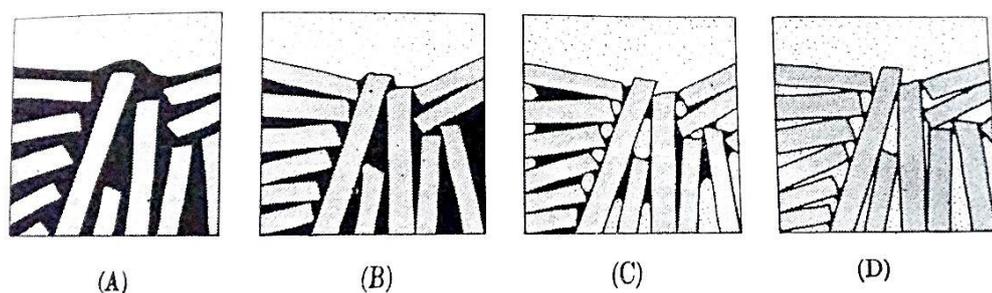


Figura 4: Fases da secagem de argila úmida em uma seção transversal à superfície. Fonte: NORTON, 1973, p.149.

Para isso, é necessário a utilização de secadores ou estufas, submetendo as peças a um processo controlado. Os secadores controlam o fluxo de correntes de ar quente em um ambiente confinado, mantendo o calor constante e moderado, para melhor evaporação das partículas de água. Ocorre geralmente a temperaturas em torno de 100°C por até 24 horas (SMITH; HASHEMI, 2012, p. 422).

Alguns fatores podem influenciar na velocidade de evaporação da água e sua consequente retração, tais como a temperatura e a velocidade do ar, a umidade do ar e a temperatura da água. Mas de maneira geral, “a retração total de uma argila varia com a granulometria, sendo que a de granulometria mais fina tem maior retração” (NORTON, 1973, p. 150).

#### *2.1.3.4 Sinterização*

A etapa de sinterização também pode ser chamada de queima ou ainda de cozimento. Smith e Hashemi (2006, p. 422) conceituam como o “processo pelo qual pequenas partículas são unidas pela difusão em estado sólido”. Ou seja, consiste no procedimento de aglutinação das partículas do material, ao serem submetidas ao tratamento térmico.

As peças são colocadas no interior de fornos. São utilizados diversos tipos de fornos, conforme tamanho, finalidade, tecnologia envolvida e combustível alimentador. Existem fornos modernos que utilizam eletricidade ou combustíveis gasosos como o gás natural, ou ainda fornos tradicionais, que ainda utilizam matéria orgânica como combustível, a exemplo da madeira e dos óleos vegetais.

Uma vez encontradas no interior dos fornos, são submetidas a elevadas temperaturas, que podem variar conforme a mistura utilizada. No caso de fornos elétricos, as condições do interior dos fornos devem ser controladas pela programação escolhida. A temperatura e o tempo de exposição ao calor e de resfriamento quando bem definidos, podem evitar o aparecimento de muitos defeitos na peça.

Esta exposição ao calor faz com que as partículas se movimentem, tornando-as cada vez mais próximas, até se tocarem. Neste momento inicia-se o chamado *empescoamento* das partículas, como mostrado na Figura 5, quando uma adere à

outra formando uma espécie de “pescoço” e diminuindo a quantidade de poros no material.

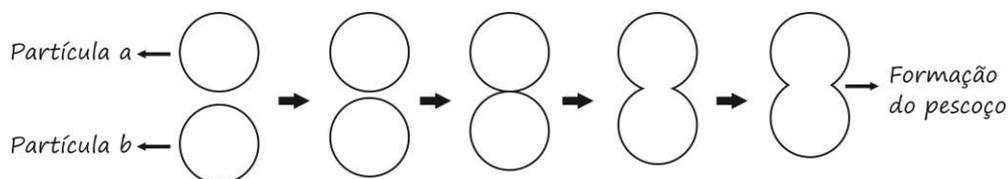


Figura 5: Ilustração da formação do pescoço. Fonte: Elaborado pelo autor.

A sinterização proporciona algumas transformações estruturais na peça, pois ocorre a retração do material, portanto há a diminuição do volume da peça e de sua área específica. Além disso, há a compactação das partículas, proporcionando um material menos poroso e de elevada resistência mecânica.

Neste momento a peça está pronta, passível ainda de ser submetida a outra etapa, a de acabamento superficial, com lixamento de sua superfície, polimento e esmaltação da peça na cor desejada, para que fique esteticamente interessante, além de adquirir maior resistência.

#### 2.1.4 Propriedades tecnológicas

A cerâmica possui diversas características que justificam a sua grande aceitação. Começando pela matéria-prima utilizada, a argila desenvolve plasticidade com facilidade ao ser misturada à água, proporcionando o manuseio conforme forma desejada, sem que haja ruptura ou estresse do material (SHACKELFORD; DOREMUS, 2010, p. 123).

Possuem também atributos estéticos, podendo alcançar um bom acabamento superficial e grande variação de cores e tonalidades.

Quanto às propriedades físicas, possuem alta temperatura de fusão, estabilidade química (ASKELAND, 2013, p. 453), resistência à corrosão e à abrasão, são isolantes térmicos e elétricos, devido a ausência de elétrons de condução.

Outro diferencial diz respeito às demandas mecânicas. Em geral, os produtos cerâmicos apresentam elevada rigidez e certa fragilidade (SMITH, p. 399). Geralmente apresentam resistência à compressão, porém baixa ductilidade quando tracionados e baixa resistência mecânica (ASKELAND, 2013, p. 450).

Um resumo de suas principais propriedades encontra-se na citação abaixo:

“Cerâmicas são sólidos inorgânicos não metálicos [...]. São rígidas, duras e resistentes, à abrasão; conservam a resistência em altas temperaturas e resistem bem à corrosão. A maioria é isolante elétrica. Também têm fraquezas: diferentemente dos metais, são frágeis [...]. Isso dá às cerâmicas baixa tolerância à concentração de tensões (como orifícios ou trincas) ou a altas tensões de contato (em pontos de aperto, por exemplo). Por essa razão é mais difícil projetar com cerâmicas do que com metais” (ASHBY, 2012, p. 16).

O conhecimento das propriedades do material e o seu comportamento durante o trabalho servem como referência para a aplicabilidade correta em produtos. Isto pode ser identificado por meio da análise de suas propriedades tecnológicas, com exploração de propriedades químicas, físicas ou mecânicas.

Isto significa que a caracterização tecnológica tem por finalidade identificar e analisar as suas propriedades, para que seja feita a previsão do comportamento do material durante e após o seu processamento, além de ser possível a avaliação da qualidade e direcionamento de aplicação em produtos.

Na literatura relacionada, encontram-se testes com finalidades específicas. Para este trabalho, a avaliação será realizada a respeito das propriedades físicas e mecânicas na primeira etapa, como da quantificação da absorção de água, da porosidade, da densidade aparente, da perda ao fogo, da retração e da tensão ou módulo de ruptura à flexão, além da análise visual na segunda etapa, com contabilização dos problemas superficiais identificados e análise de tonalidades.

#### *2.1.4.1 Absorção de Água (A.A.)*

Esta propriedade corresponde à capacidade do material absorver água, ou seja, determina a quantidade de água que pode ficar em seus poros. A quantidade de água influencia diretamente em outras propriedades, como a resistência mecânica, ao impacto e a resistência química, além da porosidade. Quanto maior for

a absorção de água, mais porosa deve ser a sua superfície. De maneira inversa, quanto maior for a absorção de água, menor será a resistência mecânica da peça, por isso é importante a porcentagem de A.A.

Existem diversas normas técnicas que propõem ensaios de absorção de água para produtos cerâmicos. Algumas delas são mostradas na Tabela 4.

*Tabela 4: Normas sobre ensaios de absorção de água para produtos cerâmicos. Fonte: ABNT.*

<b>Norma</b>	<b>Título</b>
NBR 15097-1: 2011	Aparelho sanitário de material cerâmico – Requisitos e métodos de ensaio.
NBR 13818: 1997	Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio.
NBR 6220: 1997	Materiais refratários densos conformados – Determinação da densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida.
NBR 15270-3: 2005	Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.
NBR 15310: 2005	Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio.
NBR 7529: 1991	Tubo e conexão cerâmicos para canalizações – Determinação da absorção de água.
NBR 13817: 1997	Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos.

Para revestimentos cerâmicos, por exemplo, a referência corresponde aos índices indicados pelo INMetro a partir de normas brasileiras. São estabelecidos índices de absorção de água para classificar a porosidade de peças cerâmicas, conforme indica a NBR 13.817 (ABNT, 1997). Mas para o nosso estudo, não foi identificada uma norma técnica de avaliação de absorção de água direcionada à cerâmica branca, sobretudo aquela que incorpora resíduos em sua mistura, por isso utilizou-se como referência o Método de Arquimedes e a equação utilizada por RÊGO (2008).

O Princípio de Arquimedes, que diz que “todo corpo imerso em um fluido sofre um empuxo de baixo para cima igual ao peso deste fluido por ele deslocado, e como consequência, o empuxo ascensional é subitamente reduzido” (MEDEIROS, 2006, p. 37).

Assim, por meio desta teoria, o corpo cerâmico deve ser submetido à etapa de imersão em água para identificação de sua massa e em seguida ser aplicada uma equação matemática existente na Norma para identificação do percentual de absorção de água pelo material.

#### *2.1.4.2 Porosidade aparente (PA)*

“A porosidade aparente é uma medida da quantidade de poros interconectados e determina a permeabilidade ou a facilidade com que os fluidos escoam através da peça cerâmica porosa” (ASKELAND, WRIGHT, 2014, p. 488). Ou seja, a porosidade corresponde à quantidade de poros encontrados em um material.

Segundo Norton (1973, p. 177), “a porosidade pode ser medida pelo volume de água ou ar necessário para encher os poros”. Dessa forma, ela é identificada por meio da aplicação de testes de imersão e equação matemática, tornando-se importante para avaliar “o grau de maturação ou de sinterização em função da temperatura da queima”, conforme o mesmo autor.

A identificação do índice de porosidade não possui relação meramente estética, mas exerce influência nas propriedades mecânicas do material. Askeland e Wright (2014, p. 488) explicam que os poros podem originar trincas e levar à fratura da peça, como mostra a citação a seguir.

“A presença de poros geralmente degrada as propriedades mecânicas de cerâmicas densas, já que os poros facilitam o início de trincas que podem levar à fratura. A existência de poros é um dos motivos da fragilidade das cerâmicas sob carregamento em tração. A distribuição de tamanhos de poros e a porosidade total alteram as propriedades mecânicas das cerâmicas. [...] por outro lado, pode ser útil para aumentar a resistência ao choque térmico.” (ASKELAND, WRIGHT, 2014, p. 488).

O índice de absorção de água está diretamente ligado à porosidade da peça, pois quanto maior for a absorção, significa que maior será a quantidade de poros. Trata-se de uma relação diretamente proporcional, ao contrário do que se observa ao relacionar a porosidade com a sua resistência mecânica. Quanto maior for a sua porosidade, menor será a sua resistência mecânica.

Portanto, se o objetivo do material for possuir maior resistência a esforços mecânicos, os índices de porosidade e de absorção de água devem ser os mais baixos possíveis.

Também existem normas com técnicas de obtenção da porosidade aparente de um material, como a NBR 6220 (ABNT, 1997), porém ela é referente a materiais refratários densos, não havendo também uma norma específica este estudo. Uma possibilidade consiste no procedimento de imersão do material, com aplicação de cálculo matemático encontrado na dissertação de RÊGO (2008), pois consiste em uma equação utilizada tradicionalmente por outros autores em trabalhos científicos.

#### 2.1.4.3 Densidade (D)

A densidade aparente consiste na “massa por unidade de volume”, medida em  $\text{kg/m}^3$  (ASHBY et al, 2012, p. 4) ou  $\text{g/m}^3$ . Ou seja, consiste na determinação da quantidade de partículas existentes a cada  $\text{m}^3$  de um material, ou o volume ocupado por uma massa de sólido. Existe uma relação da porosidade com a densidade aparente do material que diz que, quanto maior for a sua porosidade, menor será a sua densidade.

Algumas normas brasileiras citam a densidade aparente em produtos cerâmicos, como mostra a Tabela 5.

*Tabela 5: Normas sobre ensaios de densidade aparente para produtos cerâmicos. Fonte: ABNT.*

<b>Norma</b>	<b>Título</b>
<b>NBR 11221:2010</b>	Materiais refratários não-conformados - Determinação da densidade aparente.
<b>NBR 6220:1997</b>	Materiais refratários densos conformados – Determinação da densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida.
<b>NBR 6221:1995</b>	Materiais refratários - Determinação da densidade de massa real.

A densidade pode ser encontrada por meio de balança de precisão ou por meio de cálculo com dimensões do objeto (ASHBY et al, 2012, p. 48). Outro método de encontrar a densidade é tomar como referência o Método de Arquimedes para um método conhecido como “dupla pesagem”. Ashby (2012, p. 49) explica:

“Melhor é o método da “dupla pesagem”: primeiro a amostra é pesada ao ar e, então, totalmente imersa em um líquido de densidade conhecida. Quando imersa, sofre uma uma força para cima igual ao peso do líquido que desloca (princípio de Arquimedes), como mostra a Figura 6. Então, a densidade é calculada [...]” (ASHBY et al, 2012, p. 48).

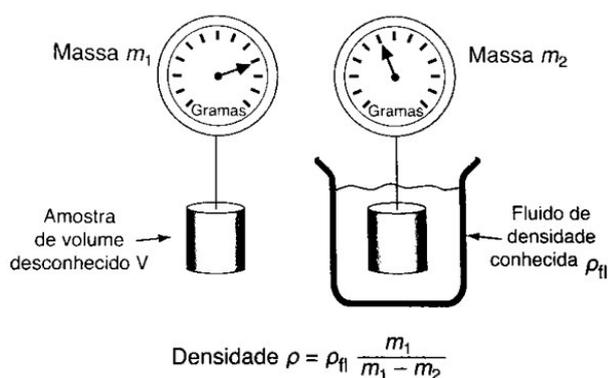


Figura 6: Medição da densidade pelo método de Arquimedes. Fonte: ASHBY et al, 2012, p. 49.

Dessa maneira, além da etapa de imersão para identificação da massa do corpo cerâmico, há a identificação das dimensões dos corpos e aplicação de equação para que a densidade aparente seja identificada, usualmente referenciada pela Norma ASTM C373-88 (2006) em artigos científicos.

#### 2.1.4.4 Perda ao fogo (PF)

A perda ao fogo consiste na técnica de medição da diferença da massa do corpo de prova antes e após ser submetido à queima em temperatura e tempo controlados, indicando a quantidade de materiais como matéria orgânica e água que são perdidos pelo corpo ao ser queimado. Um menor percentual indica uma menor perda de material.

#### *2.1.4.5 Retração linear ( $R_L$ )*

Após a secagem e a queima, as peças sofrem diminuição em suas dimensões porque o calor gerado nestas etapas faz com que o material perca parte de sua água, da matéria orgânica contida e devido a sinterização das moléculas. Este “encolhimento” dimensional é chamado de retração.

A identificação da retração é importante para que se possa prever as dimensões finais do produto, garantindo estabilidade dimensional e a sua qualidade, por isso utiliza-se a equação encontrada na NBR 13818 (1997). Assim é possível alterar a mistura para novas peças e evitar fissuras, empenamentos e deformações.

Segundo Jung et al (2012), as cerâmicas devem ser fabricadas com controle dimensional da produção, pois quando expostas ao calor durante a secagem e a queima, a água existente internamente é expelida, gerando pontos de tensão que podem originar imperfeições superficiais, que comprometem a qualidade das peças. Este controle é feito através da avaliação da retração linear.

#### *2.1.4.6 Tensão de Ruptura à Flexão (TRF)*

A tensão de ruptura à flexão consiste na determinação da resistência máxima de um objeto submetido a forças externas até que suas fibras entrem em colapso, conforme aplicação de testes de flexão.

Usualmente em artigos acadêmicos, a tensão de ruptura à flexão em três pontos é encontrada conforme recomendações da NBR 13818/1997, referente a placas cerâmicas para revestimento, adaptado para corpos de prova.

#### **2.1.5 Análise visual**

Não foi identificada uma norma técnica brasileira específica que fale de métodos de ensaios com cerâmica branca, portanto uma referência metodológica utilizada pode ser a NBR 13.818/1997 (ABNT, 1997), cujo título consiste em “Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios”, com adequações.

A norma cita o método de Análise Visual, no qual defeitos ou irregularidades são identificados a olho nu, na superfície do material. O método é utilizado para contabilizar defeitos visuais da superfície e analisar as diferenças de tonalidades.

Para a Análise, os corpos de prova semelhantes devem ser escolhidos ao acaso. A norma determina dimensões e distâncias ideais para a realização da análise. Assim, uma vez que os corpos de prova estejam colocados com segurança sobre uma superfície uniforme, a identificação da presença de defeitos é realizada. Alguns itens foram retirados da lista original por não terem ligação com a forma dos objetos analisados neste estudo, portanto alguns defeitos que podem ser enumerados são:

- 1) Rachaduras;
- 2) Depressões;
- 3) Crateras;
- 4) Bolhas;
- 5) Furos;
- 6) Pintas;
- 7) Manchas;
- 8) Cantos e lados lascados;
- 9) Saliências;
- 10) Encrustações de corpos estranhos;
- 11) Riscados ou arranhaduras;
- 12) Diferença de tonalidade.

Como resultado, é gerado um relatório, como informações com o número total de peças examinadas, quantificação de peças livres de defeitos e descrição dos problemas observados.

Ao realizar estas análises de propriedades dos materiais, foi possível responder se há aspectos positivos ou negativos da incorporação de resíduos à massa cerâmica, com comprovação científica. Quais foram as características das propriedades inerentes aos materiais? Seriam os ossos bovinos e o pó de fino de rochas ornamentais boas alternativas de utilização?

## 2.2 RESÍDUOS

O crescimento da população e das cidades foram fenômenos que ocorreram de maneira natural, mas que proporcionaram uma maior necessidade de crescimento e de atendimento da demanda por bens de consumo em alguns momentos históricos.

Um momento foi após a Segunda Guerra Mundial, com a Revolução Industrial que aconteceu no final do século XVIII, onde surgiram mudanças significativas nas relações de consumo e nas relações produtivas, sobretudo pela introdução do modelo de produção em série. Este contexto proporcionou o desenvolvimento econômico no Ocidente, porém com um conseqüente agravamento do aspecto ambiental do planeta (ORTIGOZA; CORTEZ, 2009, p.92).

Atualmente é natural a troca de produtos por modelos mais modernos em um curto intervalo de tempo, na busca por atualização de novas tecnologias e funções, além da estimulação da criação de demanda por aspectos simbólicos ou estéticos, não apenas por funcionais. Assim, para o atendimento das necessidades e desejos destas demandas, as relações produtivas também se modificaram. As pessoas passaram a consumir mais e as indústrias passaram a produzir em grande quantidade, e com isso vieram os efeitos negativos de todo o processo, como a grande quantidade de lixo e refugos gerados de atividades domésticas e industriais, porém sem um planejamento adequado para seu descarte, como citam jornalistas da Associação O Eco.

*O consumo gera lixo. Nos últimos dez anos, a população do Brasil aumentou 9,65%, enquanto que, no mesmo período, o volume de lixo cresceu mais do que o dobro disso, 21%. Esta enorme geração de lixo, entretanto, não é acompanhada de um descarte adequado (Associação O Eco, 2014).*

Por muito tempo este material – o lixo bem como os resíduos - não teve uma destinação adequada, mantendo esta realidade até os dias atuais e, como conseqüência, é possível ver a somatória de diversos prejuízos ao planeta, como a intensa poluição das águas, o esgotamento de recursos minerais, a extinção da flora e da fauna, a poluição da atmosfera, entre outros (de PÁDUA; MATALLO, 2008).

Neste contexto, o lixo e os resíduos - sobretudo em estado sólido - tornaram-se um problema ambiental. É necessário uma gestão adequada dos resíduos sólidos

para que estes impactos sejam minimizados, uma vez que este material possivelmente sempre será gerado, seja de atividades domésticas ou industriais, seja em forma de matéria-prima, de refugos ou mesmo de um produto ao final do seu ciclo de vida.

Oskamp (2000) afirma que “o comportamento humano é considerado a principal causa de deterioração ambiental”. Portanto, se o ser humano destruiu parte da natureza, hoje ele deve sempre buscar maneiras de diminuir esses efeitos e evitar que novos prejuízos sejam contabilizados.

É preciso observar que existem diferenças entre o lixo e os resíduos, por isso ao conceituar e diferenciar o lixo, dos resíduos e das sobras, observa-se conceitos semelhantes, porém diferentes. Conforme o Dicionário Michaelis, os conceitos são expostos através da seguinte Tabela 6.

*Tabela 6: Conceitos de lixo, resíduo e sobra. Fonte: WEISZFLOG, 2002.*

<b>Nome</b>	<b>Conceito</b>
<b>Lixo</b>	Aquilo que se varre para tornar limpa uma casa, rua, jardim etc. [...] Restos de cozinha e refugos de toda espécie [...] que ocorrem em uma casa. Imundície, sujidade. Escória, ralé.
<b>Resíduo</b>	Resíduo: Que resta; restante, remanescente. Aquilo que resta, que subsiste de coisa desaparecida. [...] Cinzas após ignição. Substância que resta depois de uma operação química ou de uma destilação; resto, sobra. O que se acha no fundo. Fezes, borra, lia, sedimento.
<b>Sobra</b>	Sobra: Ação ou efeito de sobrar. O que sobrou; sobejo, resto. O que fica depois de tirado o necessário; abundância, superabundância, fartura.

Ao falar que o lixo trata-se de uma “sujidade, escória, ralé”, a conceituação explica que é algo sem valor, sem qualquer utilidade. Portanto, o lixo possui origem específica, proveniente de “atividades cotidianas do homem” (ALMEIDA; AMARAL, 2006) e não pode mais ser reaproveitado em outro processo produtivo, devendo encontrar a sua destinação final. Por outro lado, as sobras e os resíduos possuem conceitos semelhantes. Ambos são aquilo que resta sem especificação de origem, porém ainda em condições físicas de serem reutilizados, de ganharem novos destinos.

Sendo assim, o aspecto mais importante é que, diferentemente do lixo, as sobras e os resíduos ainda possuem possibilidades de utilização. Resultam de diversos setores, inclusive industrial. Portanto, esta pesquisa envolve abordagem sobre resíduos, especificamente em estado sólido.

### 2.2.1 Resíduos sólidos

Os conceitos, classificações e orientações a respeito dos resíduos sólidos encontram-se na Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, constituindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010). Em seu Art 3º, XVI, os resíduos sólidos são conceituados como sendo um:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Ou seja, a própria conceituação de resíduos sólidos já evidencia um certo valor para este material ao dizer que trata-se de um *bem*, porém que foi descartado. Então por que não reinseri-lo em novos contextos?

O PNRS descreve diversos conceitos relativos à práticas ambientais, mas também propõe hábitos de como se deve ou não proceder com este material, de maneira que não seja prejudicial à natureza ou, ainda, que incentivem práticas e proponham destinos adequados à ele.

Porém, vale ressaltar a necessidade de uma visão do todo, observando que este não é meramente um problema de ordem ambiental, mas de ordem econômica, social e sanitária, evidenciado por Lopes (2005, p. 33), ao dizer que resíduos sólidos “[...] não se restringem à esfera ambiental, mas apresenta interfaces com a saúde pública, com o saneamento básico, com a economia e, nos grandes centros urbanos, com questões sociais”.

Neste sentido, não há apenas um agente envolvido ou um lado responsável. Toda a sociedade deve pensar e trabalhar em iniciativas que visem a minimização da geração dos resíduos, pois todos são responsáveis pelas consequências de suas atitudes. Dessa maneira, a Lei sugere o conceito de *responsabilidade compartilhada*. No Art. 30, a Lei cita todos os agentes envolvidos, onde diz:

É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos [...] (BRASIL, 2010).

Dessa maneira, todos os agentes envolvidos desde o processamento até o descarte de um produto possuem uma parcela de comprometimento na destinação adequada dos resíduos sólidos. Inclusive, um dos objetivos da responsabilidade compartilhada consiste no “aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeiras produtivas”. Neste trabalho, inclusive, buscou-se a reinserção deste material em um novo contexto, com foco no reaproveitamento.

A Lei nº 12.305/ 10 vai além e ainda orienta em seu Art 3º, VII e VIII, formas adequadas de destinação dos resíduos como a “reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes”. Quando não for possível, sugere que os resíduos sejam colocados em aterros.

Contudo, não é todo e qualquer tipo de resíduo que pode ser inserido na fabricação de produtos cerâmicos devido à etapa de queima, que interfere diretamente na estrutura do material. Os resíduos não devem liberar gases tóxicos durante a queima (BRAGANÇA; BERGMANN, 2006). Se estes resíduos expelirem gases nocivos quando expostos ao calor, passam a não ter o indicativo de utilização na indústria cerâmica, por isso a necessidade de uma seleção prévia. Uma maneira de saber se há viabilidade de utilização ou não de um determinado resíduo, é conhecendo qual é o tipo de resíduo, sua classificação e características.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas determinou a classificação dos resíduos sólidos em sua NBR 10004 (ABNT, 2004), por meio da identificação do processo, de seus constituintes e características, da sua comparação com listagens de resíduos e substâncias de impactos já conhecidos. Dessa forma, os resíduos foram classificados em Resíduos classe I – perigosos; Resíduos classe II - não inertes ou banais; e Resíduos classe III – inertes (ver Tabela 7).

*Tabela 7: Classificação de resíduos e suas características. Fonte: ABNT (2004).*

<b>RESÍDUOS</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
<b>Resíduos classe I:</b>	Resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.	
<b>Resíduos classe II:</b>	Não perigosos	
	A – não-inertes	[...] podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
	B - inertes	Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor [...].
<b>Resíduos classe III:</b>	[...] São os resíduos que não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo, tais como resíduos de construção e demolição, solos e rochas provenientes de escavações, vidros e certos plásticos e borrachas que não são facilmente decompostos.	

Baseado nesta classificação, os objetos deste estudo são Resíduos orgânicos da classe II, correspondente aos ossos bovinos, e Resíduos da classe III, do tipo inertes, correspondente ao fino de rochas ornamentais. Portanto, ambos são

resíduos não irão emitir gases ao serem queimados. Além disso, não alteram a composição química dos materiais ao seu redor, não poluem quimicamente o meio ambiente.

O problema do fino de rochas está no fato de se tratar de um resíduo que não se degrada com facilidade, proporcionando a formação de reservas acumulativas ao serem jogados diretamente no meio ambiente sem qualquer tratamento, ocupando espaço e impedindo o desenvolvimento natural do local. Assim, torna-se viável o estudo de seu reaproveitamento para seu aproveitamento em outro processo.

### 2.2.2 Aproveitamento de resíduos

A Lei nº 12.305/ 10, em seu Art 9º, diz que ao fazer a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos, deve-se seguir o seguinte ordenamento hierárquico prioritário:

- 1º Não gerar resíduos sólidos;
- 2º Reduzir a quantidade de resíduos gerada;
- 3º Fazer a reutilização dos resíduos;
- 4º Fazer a reciclagem dos resíduos;
- 5º Realizar o tratamento dos resíduos sólidos;
- 6º Realizar o descarte adequado sob o aspecto ambiental.

Ao seguir esta hierarquia, a reutilização dos resíduos sólidos apresenta-se como um destino adequado para os resíduos desta pesquisa, uma vez que eles não deixarão de ser gerados e nem é possível o controle de sua redução, pois são provenientes de processos produtivos de outras indústrias, não cabendo à indústria cerâmica o exercício deste tipo de controle.

Então, trata-se de um material que está sendo desperdiçado e seu reaproveitamento pode garantir consequências positivas para a indústria cerâmica. Estudos de Babisk et al (2012) e de Dantas et al (2010) mostraram que alguns resíduos não interferem negativamente na massa cerâmica quando em quantidade adequada; pois os resíduos inertes não emitem gases poluentes quando submetidos à queima; com isso, ao fazer a substituição há economia de matéria-prima; e por fim,

ao economizar matéria-prima natural, é possível evitar prejuízos ambientais quando novas escavações e a extração de novas jazidas são evitadas. Sendo assim, não há impedimento para que se faça a reutilização deste material.

Como foi mostrado nos tópicos anteriores, os resíduos costumam ser abordados como um problema ambiental, mas os estudos que fazem a análise da incorporação de resíduos à massa cerâmica mostram que podem ser vistos também como uma solução, como uma matéria-prima de baixo custo e de potencial tecnológico, proporcionando o aprimoramento de características funcionais e estéticas aos produtos gerados.

Para entendimento, é necessário conhecer quais resíduos sólidos foram utilizados nesta pesquisa, sua contextualização no cenário brasileiro, as suas propriedades e características, descritas nos itens seguintes.

#### *2.2.2.1 Ossos Bovinos*

O Brasil encontra-se entre os maiores criadores de gado no mundo, perdendo apenas para a Índia. Seu rebanho é destinado, sobretudo, para o abate e disponibilização de carne para consumo humano.

Conforme dados do IBGE, o Brasil teve 8,557 milhões de cabeças abatidas somente até o 2º trimestre do ano de 2013, com um total de 16,685.090 milhões até o mês de setembro, sobretudo nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo e Minas Gerais (IBGE, 2013, p.5). Além da carne, outros componentes sobram deste processo, como o couro - utilizado principalmente para a produção de vestuário, acessórios e móveis - e os ossos.

Assim, devido ao grande rebanho, os ossos correspondem a uma matéria-prima acessível, de grande disponibilidade no Brasil, encontrados em matadouros, açougues, supermercados e demais estabelecimentos alimentícios.

Atualmente os ossos são utilizados na indústria de fertilizantes e líquidos para extintores e, mais recentemente, para composição de enxertos ósseos e parafusos substitutivos dos parafusos de titânio, utilizados para recuperação de fraturas ósseas. Contudo, vale ressaltar que os ossos correspondem a um material de excelentes propriedades, podendo ser amplamente explorado.

Os ossos são “uma forma especializada de tecido conjuntivo” e servem de sustentação e proteção de partes moles e órgãos internos, respectivamente (MENDES FILHO, 2006, p. 5) compostos por partes orgânicas e inorgânicas. A parte orgânica é constituída por fibras e glicoproteínas. A extensão inorgânica é constituída por bicarbonato, citrato, magnésio, sódio e potássio, além do cálcio e do fosfato, existentes sob a forma de cristais de hidroxiapatita, descrita pela fórmula  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  (MENDES FILHO, 2006, p. 5).

A hidroxiapatita trata-se da fase mineral dos ossos, constituindo uma cerâmica naturalmente encontrada em 30% a 70% da massa de ossos e dentes (ASKELAND; WRIGHT, 2014, p. 480), por isso é vista como o principal elemento constituinte dos ossos para utilização na fabricação de produtos cerâmicos.

A hidroxiapatita tem sido testada desde 1940 para utilização em implantes (p. 24). Atualmente é vista como um biomaterial e apresenta um bom desempenho principalmente em enxertos ósseos e instalação de implantes dentários. Segundo Mendes Filho (2006), possui vantagens por ser “bioativa e osteocondutora, possui altas resistências à corrosão e de compressão”, contudo também apresenta algumas desvantagens, por possuir “baixa ductilidade” e uma densidade relativamente alta.

Esta matéria-prima também possui as características de poder ser utilizada como elemento único ou misturada a outros materiais (RIGO et al, 2007).

#### *2.2.2.2 Rochas Ornamentais*

As rochas ornamentais constituem um material rochoso natural que, extraído e beneficiado, é muito utilizado na construção civil e áreas afins, sob a forma de blocos ou placas para revestimento.

Seu conceito é descrito pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Conforme a ABNT, em sua NBR 15012/2013 (ABNT, 2013) que define termos a respeito da geologia de materiais rochosos. A rocha ornamental consiste em um “material pétreo natural, utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária”.

No mercado, as rochas ornamentais são mais conhecidas como sendo os granitos e os mármore. São rochas que apresentam algumas semelhanças e diferenças.

Os granitos possuem basicamente o quartzo, a mica e o feldspato em sua composição e englobam as rochas silicáticas de origem ígnea (FRASCÁ, 2003), ou seja, são rochas formadas a partir da cristalização de líquidos magmáticos. Já os mármore possuem calcita e dolomita, e englobam as rochas carbonáticas, de origem sedimentar ou metamórfica (FRASCÁ, 2003), ou seja, formadas por processos no interior da Terra, ou por desagregação ou de decomposição de rochas preexistentes ou, ainda, provenientes da acumulação de restos orgânicos. Devido a esta composição, o granito torna-se mais resistente e menos poroso que o mármore.

A classificação completa das rochas em sedimentares, magmáticas (ou ígneas) ou metamórficas conforme a origem, encontra-se na Tabela 8.

*Tabela 8: Classificação das rochas quanto à origem, conforme a NBR 15012:2013. Fonte: ABNT, 2013.*

<b>Rocha</b>	<b>Conceito</b>
<b>Ígnea ou magmática</b>	Rocha formada a partir da cristalização de líquidos magmáticos; plutônica ou intrusiva, formada por cristalização lenta no interior da crosta ou do manto; vulcânica, que pode ser extrusiva ou efusiva, se resultante de cristalização rápida na superfície, de materiais expelidos por vulcões. Nos casos em que a cristalização acontece a pequenas profundidades da crosta, a rocha é subvulcânica.
<b>Metamórfica</b>	Rocha formada por processos no interior da Terra, que provocam transformações mineralógicas e texturais nas rochas preexistentes, em função de mudanças nas condições de temperatura e pressão, em presença de fluidos quimicamente ativos.
<b>Sedimentar</b>	Rocha formada por processos de consolidação de produtos resultantes da desagregação ou de decomposição de rochas preexistentes ou, ainda, de acumulação de restos orgânicos.

Porém, de maneira geral, os mármore e os granitos possuem elevada dureza e resistência, além de possuírem valor estético. Portanto, a utilização de pedras para finalidade prática e estética é registrada na história desde as antigas civilizações, sobretudo para a arquitetura e construção civil.

No Brasil, a extração de rochas ornamentais em escala industrial foi iniciada no final de 1950, com grande aceitação do consumo em mercado interno. Apenas em torno de 1980 o Brasil tornou-se um país exportador, mas hoje é o maior

fornecedor de rochas ornamentais para os Estados Unidos, com aproximadamente 630 mil toneladas exportadas em 2010 (TEIXEIRA; MELO; OLIVEIRA, 2012). A citação abaixo descreve bem o contexto atual desta aceitação:

As rochas ornamentais estão garantindo cada vez mais um lugar significativo no mercado nacional, difundindo-se nos centros consumidores e estabelecendo uma forte relação com o estilo de vida da sociedade. Um exemplo disso é a maneira como este bem mineral se tornou acessível para todo tipo de consumidor, ou seja, existem tipos de rochas ornamentais com os mais diversos preços no mercado [...]. A beleza e as propriedades físicas, químicas e mineralógicas do produto em questão, agradaram a sociedade [...]. Percebe-se que este é um setor bastante promissor da economia mineral do Brasil [...], evidenciando-se que a produção de rochas ornamentais precisa ser reconhecida nacionalmente, de forma a atrair mais investidores [...] (TEIXEIRA; MELO; OLIVEIRA, 2012).

Assim, o Brasil se tornou um grande exportador para países como os Estados Unidos, a Itália, a China e a Espanha, com produção sobretudo no sudeste do País (SOUZA et al, 2008). Teixeira et al (2012) conclui em seu estudo sobre rochas ornamentais, o aspecto econômico e as relações com a sociedade, que a exploração de pedras ornamentais consiste em uma área promissora. Contudo, ao passo em que se eleva a produção, a quantidade de perdas e resíduos gerados também cresce rapidamente.

Segundo Sousa (2007, p. 1), as etapas de um processo produtivo de rochas ornamentais pode gerar uma perda em torno de 30% a 40% da matéria-prima. Para Frangella e Castro (2009), pode chegar até a 60% para a produção de revestimentos para pisos e paredes. Do corte, há sobras de grande quantidade de pedaços de rochas, de diversos tamanhos, além do pó que é armazenado em tanques de água, chamado de fino ou borra. Estes dois resíduos dificilmente são reaproveitados em outros processos industriais, tendo como destino final o descarte em lixões ou na natureza.

As rochas ornamentais são resíduos da classe III, do tipo inertes, sendo tomadas como um problema ambiental por possuírem elevado tempo de vida e por se acumularem em lugares naturais. Uma alternativa é também pensar no reaproveitamento desses resíduos em outros produtos e processos. Tanto as sobras quanto o fino podem ser reaproveitados.

## 2.2.3 Contextualização de pesquisas desenvolvidas com os resíduos escolhidos

### 2.2.3.1 Ossos bovinos

Uma das primeiras pesquisas conhecidas que relacionou a cerâmica com adição de ossos foi a chamada de *bone china* (GOUVÊA, 2007, p. 234). Ela consiste em uma porcelana proveniente de cinza de ossos, que foi produzida na Inglaterra há pelo menos duas décadas, mas é ainda pouco utilizada no Brasil. A composição da massa conhecida como “porcelana de ossos” originou-se em trabalhos de Josiah Wedgwood (SANTOS, 1975).

Suas pesquisas sobre cerâmicas desenvolveram a “cerâmica branca”, que resultaram na louça de mesa inglesa - composta por caulim (*china-clay*), argila plástica branca (*ball-clay*), sílica (*calcined flint*) e pedra de Cornwall (*Cornish stone*) com alto teor de feldspato – e também na porcelana de ossos – composta por 50% de ossos calcinados, de 25% a 30% de caulim e argila e o restante de pedra de Cornwall (SANTOS, 1975, p. 374).

A *bone china* também pode ser encontrada como a mistura de cinza de ossos ou pó de ossos bovinos calcinados, juntamente com feldspato potássico, quartzo, caulim e argila. A proporção das matérias-primas utilizadas pode ser também de 25% de caulins e de argilas, 25% de feldspato e 25% de cinzas de ossos, substituindo a porcentagem do quartzo (ALATRISTA, 2008, p.3).

Para a porcelana de ossos, os ossos precisam passar por uma etapa inicial de lavagem, para que sejam extraídos os componentes orgânicos residuais tais como gorduras e sangue, capazes de comprometer na qualidade final das peças. Para isso, a lavagem é realizada com uma escova e água limpa. Gouvêa (2007, p. 423) ressalta a importância da retirada dos resíduos ao explicar que muitos fatores podem exercer influência na qualidade dos ossos bovinos calcinados, como as etapas de preparação, com a lavagem dos ossos, o envelhecimento do material e a temperatura utilizada no processo de queima dos ossos.

Outra etapa que auxilia na total eliminação de resíduos é a calcinação dos ossos. A calcinação corresponde à queima de um material com a finalidade de

eliminar uma matéria volátil (WEISZFLOG, 2002). Ou seja, os ossos são submetidos à queima, que gera o desprendimento de possíveis impurezas residuais e proporciona estabilidade química e térmica por meio da mudança de fase do material, com a cristalinização da hidroxiapatita.

A queima dos ossos de animais é realizada com temperaturas que podem variar entre 900° e 1000°C (GOUVÊA, 2007, p. 235). A literatura referencia como resultado desta etapa o sub-produto cuja sigla é OBC, correspondente a ossos bovinos calcinados.

A porcelana de ossos pode obter produtos com excelentes características estéticas como alvura, translucidez, fino acabamento, elevada resistência mecânica e superfície menos porosa. Além disso, Bragança e Bergmann (2006, p. 206) dizem que “comparando-se a outros tipos de porcelanas, a porcelana de ossos é a que apresenta maior tensão de ruptura à flexão e à laminação, além de maior tenacidade”. Diante de suas características, a porcelana de ossos corresponde a um material cerâmico nobre, com extensas possibilidades de utilização, inclusive na medicina.

Bragança e Bergmann (2006) realizaram uma análise comparativa de características técnicas entre a porcelana de ossos inglesa e a porcelana tradicional. Os resultados mostraram que a porcelana de ossos exige maiores cuidados durante o processo produtivo e um menor intervalo de queima, porém apresenta vantagens no produto final como maior resistência mecânica e mais alvura.

Outros autores deram continuidade às pesquisas de cerâmica com ossos. A exemplo, pode-se citar as pesquisas de Gouvêa et al. (2007). Os autores avaliaram os efeitos gerados na mudança de temperatura durante o beneficiamento dos resíduos de ossos, para uso nesta porcelana. Foram testadas temperaturas entre 700°C e 1000°C, avaliadas de em intervalos de 100°C. Os resultados mostraram que é possível a calcinação a partir dos 700°C, pois houve homogeneidade física e química das partículas dos ossos em todas as temperaturas, contudo foi revelado um aumento no tamanho das partículas à medida em que a temperatura aumentou.

Já Ballvé e Bragança (2010) estudaram um componente empregado na produção da porcelana de ossos. Eles pesquisaram a possibilidade de substituição do feldspato potássico por outros materiais que poderiam servir como fundentes,

como a wolastonita, o espodumênio e o pó de vidro. Os resultados mostraram que a substituição gerou compatibilidade das propriedades técnicas nos produtos obtidos, com redução na temperatura final de queima e maior intervalo de gresificação. Dessa forma, os materiais – chamados de fundentes energéticos – podem ser apontados como possíveis alternativas de substituição do feldspato potássico.

Como visto, existem algumas pesquisas realizadas acerca da porcelana de ossos, contudo, atualmente ainda não é popular no Brasil e em outros países. De fato não existe uma extensa literatura disponível sobre o assunto e as pesquisas existentes são ainda pouco conhecidas, mas mesmo assim há possibilidade real de aplicação do material em meio industrial, porém ainda falta um nicho da indústria cerâmica que utilize os ossos para produção da porcelana de ossos. Seria necessário uma pesquisa que pudesse descobrir e identificar as causas deste fato.

Contudo, um ponto importante observado ao longo desta pesquisa é que ainda existe uma resistência cultural para utilização do produto por usar ossos como principal matéria-prima. Alguns classificaram esta utilização como “estranha” ou “incomum” e até “bizarra”, mas na realidade talvez falte um pouco de conhecimento das propriedades do material, das vantagens econômicas, ambientais e estéticas, além da desconstrução cultural de alguns preconceitos.

No Brasil, a inserção da produção deste material poderia gerar uma série de vantagens, sobretudo pelo País já possuir a tradição da produção cerâmica, por ser um produto de fácil viabilidade produtiva, por possuir grande disponibilidade de matéria-prima - sendo um país rico em jazidas e com extensa produção de gado de corte -, além dos benefícios já citados, como os funcionais, estéticos, ambientais e econômicos.

### *2.2.3.2 Rochas Ornamentais*

Como já foi citado, as rochas ornamentais possuem qualidades estéticas e funcionais, podendo ser reaproveitadas por em outros produtos ou processos. Neste contexto, muitos estudos foram realizados para a avaliação do desempenho da cerâmica com resíduos incorporados.

Babisk et al (2012) misturou a rocha metamórfica quartizito ao “bolo” cerâmico de argila vermelha em uma porcentagem de até 40%, queimadas a 800°C. O

resultado apresentou conclusões interessantes, ao mostrar que a incorporação de 10% não altera as propriedades tecnológicas do material, entre 20% e 30% diminui a resistência mecânica e a incorporação de 40% de resíduo causa prejuízos ao material, com aumento da absorção de água e conseqüente diminuição da resistência mecânica.

No estudo de Prado (2014, p. 50), resíduos de rochas ornamentais (mármore e granitos) foram adicionados à massa para desenvolvimento de revestimento cerâmico. Como resultado, o autor concluiu que a adição de 25% de resíduo apresentou o melhor desempenho e a temperatura de 1150°C proporcionou maior resistência mecânica às peças. Foi identificada, ainda, o aparecimento de pontos claros na superfície dos corpos de prova devido à fusão de dolomita com calcita.

Em outro estudo, Vieira et al (2004) misturou granito à massa cerâmica vermelha e identificou o aumento gradual da densidade do material a seco, com densidade em torno de 1,70 g/cm<sup>3</sup> para composição de apenas 5% de granito e de até 1,88 g/cm<sup>3</sup> para composição com 30% de resíduo. Foi identificada ainda uma redução da retração linear, da absorção de água e nos valores de tensão de ruptura à flexão nos corpos de prova com maior quantidade de resíduos.

Por fim, Dantas et al (2010) mostrou resultados mais positivos quando introduziu resíduos de granito na massa cerâmica branca em 30% a temperaturas entre 1100°C a 1200°C. O estudo concluiu que o granito introduzido proporcionou uma diminuição da porosidade dos corpos cerâmicos avaliados, além do melhoramento de propriedades físicas em parte das amostras, e aumento da resistência à flexão.

Baseado nos bons resultados identificados em outros estudos, acreditou-se que tanto a adição de ossos bovinos quanto o fino de rochas ornamentais possam contribuir positivamente para o desenvolvimento de um material cerâmico de boa qualidade, passível de serem utilizados em diferentes processos de conformação.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este tópico é destinado à descrição da metodologia utilizada e dos procedimentos experimentais.

Para este trabalho, foi proposta a realização de uma pesquisa experimental. O estudo foi baseado na coleta de material teórico com revisão bibliográfica em livros, artigos e revistas científicas disponíveis eletronicamente e em bibliotecas locais, também na aquisição e preparo do material, elaboração do plano de trabalho, além da realização de testes em laboratório. Por fim, foi realizada a análise dos dados e elaboração de relatório escrito.

#### **3.1 MATERIAIS**

##### **3.1.1 Caracterização das matérias-primas**

As misturas cerâmicas foram compostas por caulim em pó, o resíduo selecionado beneficiado (ossos ou fino de rochas) e em pó, a argila plástica branca com alto teor de caulinita e de alumínio, o quartzo em pó, o feldspato ortoclásio, que corresponde ao feldspato potássico ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), e a água.

##### **3.1.2 Seleção e aquisição das matérias-primas**

O estudo foi desenvolvido com resíduos de ossos bovinos e fino de rochas ornamentais coletados, respectivamente, em açougues e em marmorarias de São Luís, conforme disponibilidade local e selecionados sem padronização.

Foram utilizadas argilas plásticas de tonalidade branca após queima, provenientes do interior do Estado do Maranhão, no município de Mirinzal, da Baixada Maranhense. Esta argila foi utilizada nas experimentações com os dois tipos de resíduos e na confecção dos corpos de prova triaxiais.

O tipo utilizado neste trabalho será o ortoclásio, ou feldspato potássico, por ser o tipo indicado para utilização em cerâmica branca (NORTON, 1973, p. 59).

O caulim branco, o feldspato e o quartzo utilizados foram adquiridos com um fornecedor da região de São Paulo - marca Hobby Cerâmica Comércio Artesanato

LTDA para o caulim e o feldspato, e marca Triarte Comércio de Material Cerâmico LTDA para o quartzo.

### 3.1.3 Preparação das matérias-primas

#### 3.1.3.1 Ossos bovinos

Para obtenção do pó, os ossos bovinos coletados foram lavados com o uso de sabão e escova. Em um processo industrial, esta etapa pode ser eliminada pois a calcinação proporciona a evaporação das impurezas restantes no material, mas como os resíduos adquiridos para esta pesquisa apresentavam um cheiro muito forte por terem sido armazenados durante muito tempo antes do beneficiamento, optou-se pela realização desta etapa.

Em seguida, os ossos foram expostos ao sol para secarem, e finalmente levados ao forno elétrico para calcinação em uma temperatura de 1000°C, por um período de 24 horas.

Em seguida, foram triturados com a utilização de moinho tipo martelo (podendo ser substituído pelo uso de moinho de bolas). Ao final, o material foi peneirado com a peneira 100 *mesh*, tornando-se uma matéria-prima pronta para o uso (ver Figura 7).



Figura 7: a) Ossos bovinos calcinados; b) Pó de ossos bovinos calcinados após peneiramento. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.1.3.2 Rochas Ornamentais

Para obtenção do resíduo de rochas beneficiado, o material extraído nos tanques em marmoraria passou pela etapa inicial de eliminação da umidade. Para isso, o material (o fino de rochas) foi exposto ao sol até a total evaporação da água contida. Na indústria, esta etapa pode ser realizada de maneira mais controlada e em determinado tempo com a utilização de estufa elétrica.

Como resultado, obteve-se um material sólido, facilmente de quebrar, consistindo em torrões de fino de rochas, como mostra a Figura 8-a. Este material foi finalmente peneirado, com a utilização da peneira 60 *mesh*. Assim, o pó resultante, que é mostrado na Figura 8-b, já está pronto para o uso.

Desse peneiramento ainda sobram resíduos com grãos maiores, como mostra a Figura 8-c, e pedras maiores provenientes do corte das rochas, como mostra a Figura 8-d. Essas sobras ainda podem ser trituradas para diminuição do tamanho dos grãos e aproveitamento total dos resíduos, porém esta etapa não foi realizada nesta pesquisa devido à grande disponibilidade de matéria-prima e por consistir uma nova etapa, que geraria elevação de custo se fosse realizada em meio industrial.



Figura 8: a) Fino de rochas ornamentais após a secagem; b) Resultado final do beneficiamento; c) e d) Sobras do beneficiamento do fino de rochas ornamentais. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.1.4 Formulação das composições

O percentual de todos os materiais se manteve fixo, com exceção da quantidade de caulim, que variou conforme a quantidade de resíduo incorporado. A soma de caulim com resíduo totalizou 75% da mistura, e as porcentagens trabalhadas foram de 30%, 35%, 40%, 45%, 50% e 55% de resíduos. Os percentuais da quantidade de cada material são mostrados na Tabela 9, onde cada

um proporcionou a confecção de três (3) corpos de prova, com exceção do fino de rochas a 55%, pois não puderam ser conformados devido à quebra recorrente do último, por cinco (5) vezes seguidas.

Tabela 9: Porcentagem proposta para os componentes utilizados nas misturas. Fonte: Arquivo pessoal.

<b>Componentes da cerâmica branca com adição de resíduos</b>						
<b>Materiais</b>	Teste #1	Teste #2	Teste #3	Teste #4	Teste #5	Teste #6
<b>Resíduo</b>	30%	35%	40%	45%	50%	55%
<b>Caulim</b>	45%	40%	35%	30%	25%	20%
<b>Argila</b>	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%
<b>Quartzo</b>	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%
<b>Feldspato</b>	10%	10%	10%	10%	10%	10%
<b>Água</b>	+18%	+18%	+18%	+18%	+18%	+18%

Portanto, as variáveis se mantiveram nas porcentagens de resíduo e caulim da mistura, igual para os dois resíduos, além das temperaturas de secagem e sinterização, conforme cada tipo de resíduo. Houve, ainda, uma correção na quantidade de água em relação à cerâmica branca triaxial tradicional para que fosse possível a conformação dos corpos de prova, pois durante a realização de pré-testes, os corpos de prova que continham resíduos e uma adição de água em 15%, quebraram, não permitindo a conformação. Assim, a quantidade de água utilizada para a cerâmica triaxial se manteve em 15% como orienta a literatura, mas foi corrigida para 18% na cerâmica com ossos e rochas.

Para efeito comparativo das propriedades e desempenho do material, foram produzidos corpos de prova da cerâmica branca triaxial tradicional, com a mistura de argila plástica, caulim, feldspato, quartzo e água, conforme percentuais (Tabela 10).

Tabela 10: Componentes da cerâmica branca tradicional triaxial. Fonte: Arquivo pessoal.

<b>Cerâmica branca tradicional triaxial</b>	
<b>Materiais</b>	<b>Porcentagem</b>
<b>Caulim</b>	40%
<b>Argila plástica</b>	10%
<b>Quartzo</b>	25%
<b>Feldspato</b>	25%
<b>Água</b>	+15%

### 3.1.5 Caracterização dos demais equipamentos utilizados

Quanto aos equipamentos, foram utilizados o molde metálico e a prensa hidráulica para moldagem dos corpos de prova, moldes de gesso para confecção dos produtos propostos, a peneira 100 *mesh* para ajuste granulométrico da argila plástica e dos ossos bovinos, e peneira 60 *mesh* para os resíduos de rochas ornamentais, estufa elétrica a 110°C por 24 horas para secagem, forno elétrico para a sinterização em temperaturas variadas, balança de precisão para identificação das massas e paquímetro para as medições, além de material de apoio tais como lapiseiras, canetas, fita adesiva, copos descartáveis e borrifador.

O resumo de todas as matérias-primas e equipamentos utilizados pode ser visto na Tabela 11.

*Tabela 11: Listagem das matérias-primas e equipamentos utilizados na pesquisa. Fonte: Arquivo pessoal.*

<b>Matérias-primas utilizadas</b>	<b>Equipamentos utilizados</b>
Ossos bovinos em pó	Moldes metálico e de gesso
Finos de rochas ornamentais em pó	Peneiras 60 <i>mesh</i> e 100 <i>mesh</i>
Caulim em pó	Estufa elétrica
Argila plástica em pó	Forno elétrico
Quartzo em pó	Prensa hidráulica
Feldspato potássico em pó	Balança de precisão
Água	Paquímetro manual
Vaselina líquida	Material de apoio

## 3.2 MÉTODOS

A pesquisa foi realizada com etapas de levantamento de referencial teórico e experimentações em laboratório. A fundamentação teórica foi realizada por levantamento bibliográfico em livros, artigos científicos e trabalhos acadêmicos de nível superior, disponíveis em portais eletrônicos e bibliotecas locais, de maneira paralela para os resíduos utilizados (ossos bovinos e rochas ornamentais).

Na etapa realizada em laboratório, foram confeccionados corpos de prova cerâmicos com diferentes porcentagens de resíduos em substituição ao caulim e submetidos à testes e experimentações para a análise de suas propriedades tecnológicas e características visuais.

Neste trabalho, Smith (1998) foi utilizado como referência das etapas da produção dos corpos de prova, por apresentar-se com etapas mais segmentadas e não considerar a etapa de acabamento. O acabamento foi realizado somente ao final da pesquisa, para obtenção final de produtos com o material pesquisado, mas para os corpos de prova, o processo produtivo acabou na sinterização.

Portanto, os testes e experimentações foram divididos em etapas de (1) moldagem do corpos de prova, (2) análise das propriedades tecnológicas, (3) análise visual. A composição que apresentou os melhores resultados, foi submetida a processos de conformação pré-definidos – prensagem e colagem de barbotina, por isso foram realizadas ainda etapas de (4) conformação de produtos cerâmicos com a composição desenvolvida e (5) análise visual ao final do processo.

Os testes e experimentações foram realizados no Laboratório de Cerâmica do Departamento de Desenho e Tecnologia, da Universidade Federal do Maranhão.

### 3.2.1 Etapas

#### *3.2.1.1 Etapas da preparação da cerâmica com ossos bovinos*

Para uma visão geral de todas as etapas envolvidas na preparação das cerâmicas com cada tipo de resíduo, seguem os roteiros de desenvolvimento da pesquisa. O roteiro de análise da cerâmica branca com a adição de ossos consistiu em:

1. Aquisição dos ossos em açougues;
2. Limpeza dos ossos;
3. Calcinação dos ossos;
4. Trituração;
5. Peneiramento;
6. Preparo da mistura com os demais componentes;
7. Conformação dos corpos de prova;
8. Medição e pesagem;
9. Secagem (em estufa a 110°C por 24 horas);
10. Medição e pesagem;
11. Sinterização (em forno elétrico a 1200°C);

12. Medição e pesagem;
13. Análise das propriedades tecnológicas;
14. Análise visual;
15. Conformação por prensagem uniaxial;
16. Secagem (em estufa a 110°C por 24 horas);
17. Sinterização (em forno elétrico a 1200°C);
18. Análise visual;
19. Conformação por colagem de barbotina;
20. Secagem (em estufa a 110°C por 24 horas);
21. Sinterização (em forno elétrico a 1200°C);
22. Análise visual;
23. Análise dos dados;
24. Preparação de relatório;
25. Conclusão.

### *3.2.1.2 Etapas da preparação da cerâmica com rochas ornamentais*

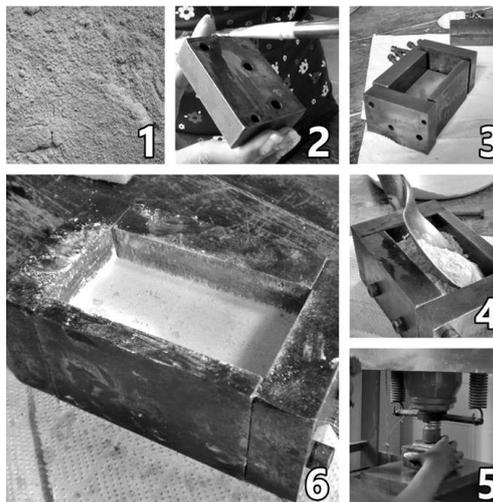
O roteiro de desenvolvimento da pesquisa com fino de rochas ornamentais consistiu em:

1. Aquisição do fino de rochas em marmorarias;
2. Evaporação da água do fino;
3. Peneiramento;
4. Preparo da mistura com os demais componentes;
5. Conformação dos corpos de prova;
6. Medição e pesagem;
7. Secagem (em estufa a 110°C por 24 horas);
8. Medição e pesagem;
9. Sinterização (em forno elétrico a 950°C);
10. Medição e pesagem;
11. Análise das propriedades tecnológicas;
12. Análise visual;
13. Conformação por prensagem uniaxial;
14. Secagem (em estufa a 110°C por 24 horas);

15. Sinterização (em forno elétrico a 950°C);
16. Análise visual;
17. Conformação por colagem de barbotina;
18. Secagem (em estufa a 110°C por 24 horas);
19. Sinterização (em forno elétrico a 950°C);
20. Análise visual;
21. Análise dos dados;
22. Preparação de relatório;
23. Conclusão.

### 3.2.2 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram produzidos com a utilização de molde metálico parafusado, conforme mostra a Figura 9. Para maior facilidade ao retirá-los do molde, foi utilizada vaselina líquida em todo o seu interior. Assim, a mistura foi compactada dentro do molde por meio de prensa hidráulica. Deve-se ter como resultado, corpos de prova com dimensões em torno de 80 mm de comprimento e 42 mm de largura, com espessura variável.



*Figura 9: Moldagem dos corpos de prova: 1. Preparação da mistura; 2. Desmoldante; 3. Montagem do molde; 4. Introdução da mistura no interior do molde; 5. Compactação; 6. Resultado dentro do molde. Fonte: Arquivo pessoal.*

Todos os corpos de prova foram identificados por sigla composta de letras e números. Para os ossos bovinos, utilizou-se a sigla OB e para as rochas ornamentais, a sigla R. Em seguida foi descrito o percentual de resíduo incorporado à composição e por fim, a numeração cronológica de confecção do corpo de prova.

- Exemplo ilustrativo 1: Cerâmica branca com adição de 30% de ossos bovinos, sendo o primeiro corpo de prova produzido de um total de três. Sigla: OB30/1.
- Exemplo ilustrativo 2: Cerâmica branca com adição de 45% de fino de rochas ornamentais, sendo o segundo corpo de prova produzido. Sigla: R45/2.

Assim, foram produzidos um total de quatro (4) corpos de prova para cada porcentagem de adição dos resíduos. As porcentagens foram propostas a uma variação de 5%, entre 30% e 55%, confeccionando um total de dezoito (18) corpos de prova com a mistura de cada resíduo.

Já para a cerâmica triaxial, foram confeccionados quatro (4) corpos de prova, onde cada um foi nomeado apenas com a sua sigla e a sua ordem de confecção, conforme mostra o exemplo 3.

- Exemplo ilustrativo 3: Cerâmica branca triaxial, sendo o terceiro corpo de prova produzido de um total de três. Sigla: T3.

### 3.2.3 Medição e pesagem

As medições foram realizadas após as etapas do processo produtivo, após a conformação, após a secagem e após a sinterização. Para isso, houve a utilização de paquímetro para identificação do comprimento, largura e espessura com medidas de eixo, ou seja, no centro dos corpos de prova, como mostra a Figura 10.

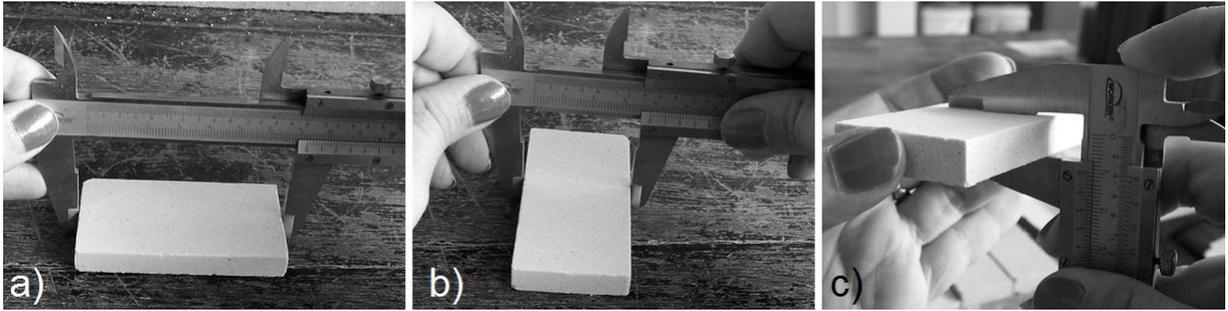


Figura 10: Medição das dimensões dos corpos de prova. a) Comprimento; b) Largura; c) Espessura. Fonte: Arquivo pessoal.

As pesagens foram realizadas também após a confecção dos corpos de prova para identificação das massas imersas (M.I.) e das massas úmidas (M.U.), conforme Figura 11.

- a) Massa imersa (M.I.): valor da massa é identificada ao realizar a pesagem do corpo de prova por imersão em água (Figura 11-a e 11-b), obtendo a massa imersa. Este procedimento foi realizado com todos os corpos de prova.
- b) Massa úmida (M.U.): o valor da massa é identificada ao deixar o corpo de prova submerso em água por 24 horas (Figura 11-c). Ao final do tempo, o excesso de água é retirado parcialmente com um tecido seco, para a pesagem do corpo de prova. Como resultado, se tem o valor da massa úmida. Este procedimento foi realizado com todos os corpos de prova.



Figura 11: a) Preparação para identificação das massas imersas e úmidas; b) Pesagem; c) Corpos de prova submersos em água. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.2.4 Secagem dos corpos de prova

A secagem dos corpos de prova ocorreu durante pelo menos um (1) dia de exposição ao ar livre e de 24 horas em estufa elétrica a uma temperatura de 110°C para toda a amostragem dos corpos de prova (Figura 12).

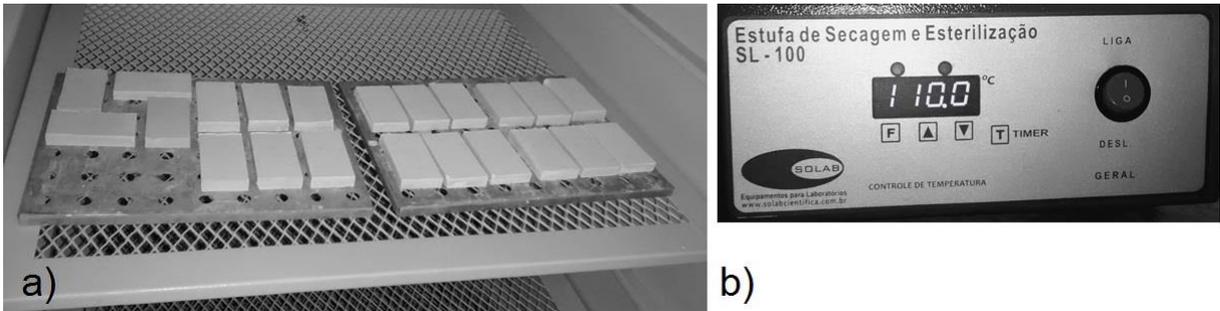


Figura 12: a) Corpos de prova no interior da estufa; b) Painel eletrônico da estufa ligada. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.2.5 Sinterização dos corpos de prova

Para a queima, houve uma variação de temperatura para cada resíduo conforme mostra o gráfico na Figura 13.

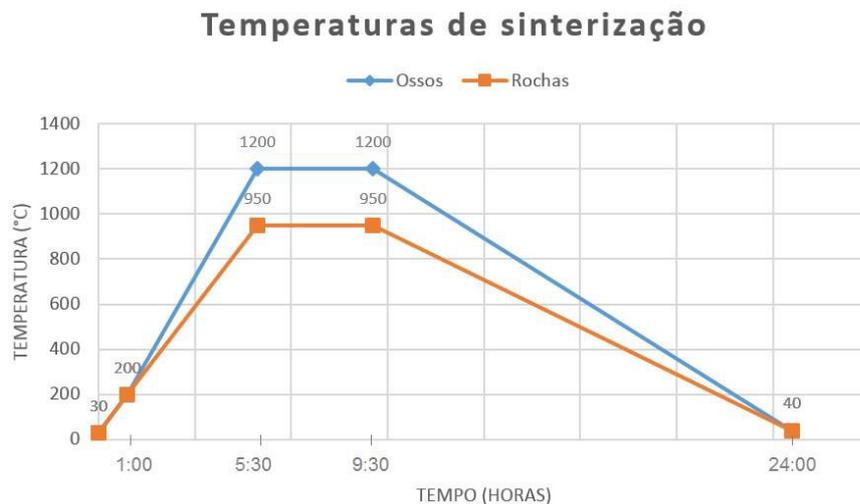


Figura 13: Ciclos de queima. Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a mistura com ossos, foi utilizada a temperatura de 1200°C e para a mistura com rochas de 950°C. Isto porque sua utilização com ossos resulta em um material de uso mais nobre, consistindo em uma porcelana, sendo indicada uma temperatura mais elevada. De forma diversa, a cerâmica produzida com rochas pode ter uma aplicação mais popular, sendo indicada uma temperatura mais baixa por ser a média utilizada em olarias e indústrias locais.

A sinterização foi realizada em forno elétrico. A taxa de aquecimento foi de 3,54°C/min para a queima da cerâmica com ossos e de 2,78°C/min para a queima com rochas. A temperatura máxima de sinterização foi de 1200°C para a cerâmica com ossos e de 950°C para a cerâmica com o fino de rochas, com patamar de queima de 4 horas de duração. Após isso, a temperatura caiu gradualmente, atingindo em torno de 40°C ao final das 24 horas de sinterização.

### 3.2.6 Propriedades tecnológicas analisadas

A caracterização foi realizada por meio da análise de propriedades físicas e mecânicas do material. Foram seis métodos utilizados:

#### ➤ **Análise da absorção de água**

Para este estudo, utilizou-se como referência o Método de Arquimedes para a pesagem. Após queimados, os corpos de prova foram pesados, identificando sua massa inicial. Em seguida, foram submersos em água, onde permaneceram por 24 horas. Após este período, o excesso de água foi retirado com tecido macio friccionado suavemente sobre a superfície dos corpos, onde enfim foram pesados novamente para obtenção da massa úmida. A absorção de água foi identificada pela relação entre sua massa úmida e a massa seca, por meio de aplicação da equação encontrada na dissertação de RÊGO (2008, p.43):

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

A.A = Absorção de água (%);

Mu = Massa úmida (g);

Ms = Massa seca antes da imersão (g).

➤ **Análise da porosidade**

Para a análise da porosidade dos corpos de prova, foi utilizado o mesmo procedimento de imersão do material realizado para a absorção de água, com identificação de sua massa úmida, massa do corpo queimado e volume aparente, encontrado pela subtração da massa úmida com a massa seca. A equação da porosidade consiste na equação 2 e do volume aparente consiste na equação 3. A pesquisa de RÊGO (2008, p.44) também foi utilizada como referência quanto às duas equações:

$$PA = \frac{(Mu - Ms)}{(Mu - Mi)} \times 100 \quad \Rightarrow \quad PA = \frac{(Mu - Ms)}{Va} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

PA = Porosidade aparente;

Ms = Massa seca (g);

Mu = Massa úmida (g);

Mi = Massa imersa (g);

Va = Volume aparente (g)

$$Va = Mu - Mi \quad (3)$$

Onde:

Va = Volume aparente (g);

Mu = Massa úmida (g);

Mi = Massa imersa (g).

➤ **Densidade aparente**

Neste estudo, a densidade aparente foi calculada pela razão entre a massa e o volume (produto entre a largura, o comprimento e a espessura) dos corpos de prova, identificados após o processo de sinterização. A equação é descrita pela Norma ASTM C373-88 (2006):

$$DA = \frac{mq}{Vq} \quad (4)$$

Sendo:

DA = Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>);

mq = Massa da peça queimada (g);

Vq = Volume da peça queimada (cm<sup>3</sup>).

➤ **Perda ao fogo**

Para a identificação da perda ao fogo, não foi utilizada uma norma técnica específica, mas como a tradição de alguns artigos acadêmicos faz a utilização de gráficos da uma relação tempo *versus* temperatura e posterior aplicação de cálculo matemático, o mesmo será realizado para esta pesquisa. A relação para esta pesquisa será da quantidade de perda de material à medida em que mais resíduo foi acrescentado. Para isso, os corpos de prova foram pesados e seguiram para queima no forno. Ao final de todo o processo, os corpos de prova resfriados foram pesados e os valores utilizados na seguinte equação:

$$PF = \frac{Ms - Mq}{Mq} \times 100 \quad (5)$$

Sendo:

PF = Perda ao fogo (%);

Ms = Massa após secagem (g);

Mq = Massa após queima (g).

### ➤ **Retração linear**

Após o processo de conformação, houve a medição dos corpos de prova, para identificação da sua largura, comprimento e espessura. Em seguida os corpos foram submetidos à secagem em estufa a 110°C por 24 horas e as medidas foram obtidas novamente. Após passarem pela etapa de sinterização, foi realizada uma terceira medição. A retração linear dos corpos de prova foi calculada pela diferença entre as dimensões dos corpos de prova verdes e após serem submetidos à queima. A retração linear foi calculada através da equação 6, encontrada na NBR 13818 (1997).

$$RL = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100 \quad (6)$$

Sendo:

$RL$  = Retração linear (%);

$L_0$  = Comprimento do corpo-de-prova após secagem (cm);

$L$  = Comprimento do corpo-de-prova queimado à temperatura máxima (cm).

### ➤ **Tensão de ruptura à flexão**

O ensaio utilizou como referência a NBR 13818 (ABNT, 1997), destinada a placas cerâmicas para revestimento, porém adaptada para os corpos de prova. O teste foi realizado em uma máquina de ensaios, com cargas constantes aplicadas entre roletes espaçados em igual distância sobre os corpos de prova (Figura 14).

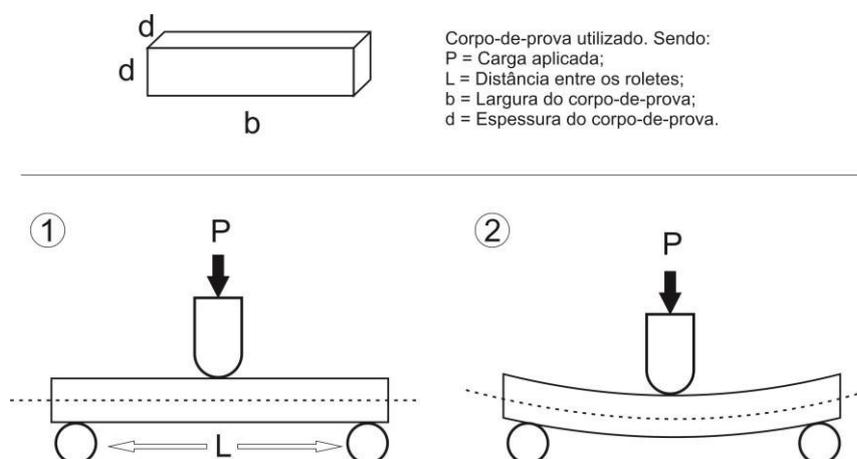


Figura 14: Teste de Ruptura à Flexão de 3 Pontos. Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o ensaio, foi possível calcular o módulo por meio da equação:

$$TRF = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (7)$$

Sendo:

TRF = Tensão de ruptura à flexão (MPa);

P = Carga aplicada (N);

L = Distância entre os roletes (mm);

b = Largura do corpo de prova (mm);

d = Espessura do corpo de prova (mm).

### 3.2.7 Desvio padrão

Para a interpretação dos dados após a aplicação das equações referentes às propriedades tecnológicas e previsão da probabilidade do desvio de valores, foram identificados o parâmetro de dispersão dos resultados - o desvio padrão - por meio da equação 8, utilizada no *software* Origin PRO.

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (8)$$

Sendo:

DP = desvio padrão;

$X_i$  = valores do conjunto de dados;

$\bar{X}$  = média dos resultados.

### 3.2.8 Gráficos

Para exposição e análise dos resultados encontrados, foi utilizado o *software* Origin PRO. Os dados foram tabelados no programa, onde foi possível a elaboração dos gráficos, encontrados nesta pesquisa em Resultados e Discussões.

### 3.2.9 Ensaio de flexão

Para obtenção dos valores de tensão de ruptura à flexão, os ensaios foram realizados na Universidade Estadual do Maranhão, em parceria com o professor Doutor Antônio Ernandes Macedo Paiva, do Instituto Federal do Maranhão. Foi utilizada a máquina Emic DL10000, com capacidade máxima de 100 kN para os ensaios de três pontos. Os resultados foram obtidos com o uso do *software* Tesc versão 3.05, que funciona em paralelo à máquina e gera automaticamente os valores de tensão e desvio padrão de todos os corpos de prova. Com esses resultados, foi possível a construção de um único gráfico para cada resíduo no *software* Origin PRO.

### 3.2.10 Análise visual

A análise foi realizada conforme orientações contidas na NBR 13.818/1997 (ABNT, 1997), com adaptações para os corpos de prova. A Norma propõe que os corpos de prova sejam escolhidos ao acaso, mas toda a amostragem desta pesquisa passou pela análise. Não foram obedecidas as dimensões e as distâncias determinadas na norma porque os corpos de prova possuem dimensões inferiores.

Ao serem colocados sobre uma superfície uniforme, os corpos de prova passaram por duas etapas. Primeiramente, foi identificada a presença de defeitos por meio de aplicação de *checklist*. Em segundo momento, foram identificadas as variações tonais por meio da análise das tonalidades apresentadas em fotografia. Ao final, foi gerado um relatório de tudo o que foi observado. O mesmo foi realizado com os produtos desenvolvidos com as composições escolhidas. Para esta pesquisa, o relatório foi demonstrado por meio de tabelas.

### 3.2.11 Processo de prensagem

Para a análise do desempenho do material nos processos de conformação, a prensagem foi realizada com a mistura de materiais mostrados na Tabela 12, com o percentual de resíduo e de caulim escolhidos em função dos resultados obtidos da análise das propriedades tecnológicas.

Tabela 12: Composição da massa cerâmica branca com resíduos para a prensagem. Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Materiais</b>	<b>Porcentagem</b>
<b>Resíduo</b>	30 g
<b>Caulim</b>	45 g
<b>Argila plástica</b>	7,5 g
<b>Quartzo</b>	7,5 g
<b>Feldspato</b>	10 g
<b>Água</b>	30 ml

Foram produzidos revestimentos cerâmicos de três modelos diferentes - quadrado, retângulo e uma curva - para cada tipo de resíduo utilizado. O molde foi projetado e cedido pela pesquisadora Railde de Paula Diniz Araújo (ver Figura 15-a).



Figura 15: a) Molde do revestimento; b) Mistura com água; c) Amassamento da mistura; d) Preenchimento do molde. Fonte: Arquivo pessoal.

Inicialmente todas as matérias-primas foram misturadas com a água (Figura 15-b), seguida da etapa de amassamento, para sua homogeneização e obtenção da plasticidade ideal do material, mostrada na Figura 15-c. Por fim, o molde foi preenchido (Figura 15-d). Após um dia secando naturalmente, as peças já podem ser sinterizadas em forno elétrico.

As temperaturas e os ciclos de queima foram os mesmos utilizados para obtenção dos corpos de prova, sendo 1200°C para a cerâmica com ossos e 950°C para o fino de rochas ornamentais.

### 3.2.12 Processo de colagem de barbotina

Já para a análise do desempenho do material na colagem de barbotina, os mesmos materiais são mostrados na Tabela 13. O percentual de resíduo e de caulim foram os mesmos utilizados na prensagem, porém com uma quantidade superior de água, para a formação de barbotina.

Tabela 13: Composição da mistura com resíduos para colagem de barbotina. Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Materiais</b>	<b>Porcentagem</b>
<b>Resíduo</b>	30 g
<b>Caulim</b>	45 g
<b>Argila plástica</b>	7,5 g
<b>Quartzo</b>	7,5 g
<b>Feldspato</b>	10 g
<b>Água</b>	100 ml

Foram produzidas duas pequenas petisqueiras, uma com ossos e uma com rochas. O molde foi projetado e cedido pela Railde de Paula Diniz Araújo (ver Figura 16-a), proveniente de pesquisa realizada com o Professor Doutor Denilson Moreira Santos, cujo título do projeto é *Desenvolvimento de Porcelana a partir das Cinzas dos Ossos Bovinos*, ocorrida em 2014, na Universidade Federal do Maranhão.



Figura 16: a) Molde poroso; b) Inserção de barbotina no molde; c) Aderência ao molde; d) Nivelamento das bordas. Fonte: Arquivo pessoal.

Neste processo, as matérias-primas foram misturadas com a água e inseridas dentro do molde poroso (Figura 16-b). Imediatamente uma fina parede foi formada no interior do molde, por isso deve haver um manuseio para que haja uniformidade na espessura de todas as áreas do produto ao aderir no molde, como mostra a Figura 16-c. Após ser preenchido com toda a mistura, as bordas foram niveladas (Figura 16-d). O produto deve permanecer no interior do molde até que desgrude naturalmente. Após um dia secando ao ar livre, as peças já podem ser sinterizadas em forno elétrico.

Novamente, as temperaturas e os ciclos de queima se mantiveram em 1200°C para a cerâmica com ossos e 950°C para o produto com fino de rochas ornamentais.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, foram apresentados os resultados obtidos com os corpos de prova, a análise de suas propriedades e características, além dos resultados da conformação de produtos cerâmicos nos processos de prensagem e colagem de barbotina.

### 4.1 ESTUDO DOS CORPOS DE PROVA

Após a realização das etapas inerentes ao beneficiamento dos resíduos que consistiram nas matérias-primas utilizadas neste estudo, foi realizada a produção dos corpos de prova para obtenção das propriedades do material.

Os trinta e nove (39) corpos de prova foram produzidos em laboratório com um mesmo molde metálico e com as composições indicadas. A vaselina líquida foi utilizada como um desmoldante, colocada anteriormente na superfície de todo o molde.

Os corpos de prova foram conformados com auxílio de prensa hidráulica e, após a conformação, passaram pela secagem em estufa elétrica durante 24 horas a 110°C.

Por fim, foram sinterizados em forno elétrico com as temperaturas indicadas na metodologia, conforme o tipo de resíduo utilizado.

Durante o processo produtivo, as etapas foram intercaladas com o procedimento de medição e pesagem das peças. Os resultados encontram-se descritos no tópico seguinte.

#### 4.1.1 Medições e pesagens

As dimensões de comprimento, largura e espessura foram encontradas pelos eixos dos corpos cerâmicos e as massas foram identificadas logo após as etapas de conformação, de secagem e após a etapa de sinterização, com resultados descritos nas Tabelas 14, 15 e 16.

Na Tabela 14 são descritos os valores encontrados nos corpos de prova produzidos com a cerâmica branca triaxial tradicional. Após a sinterização, as massas imersas e as massas úmidas foram identificadas através da imersão dos corpos em água, mostradas também na mesma tabela.

Tabela 14: Valores de medição e pesagem dos corpos de prova triaxiais. Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Medição e pesagem dos corpos de prova de cerâmica branca triaxial</b>														
Corpo de Prova	Após conformação				Após secagem				Após sinterização				Massas	
	T	L	A	M	T	L	A	Ms	T	L	A	Mq	MI	MU
<b>T1</b>	7,95	4,23	1,08	68,2	7,94	4,19	1,07	58,8	7,18	3,79	0,96	54,6	54,5	58,2
<b>T2</b>	7,97	4,23	1,20	67,3	7,96	4,20	1,19	58,4	7,22	3,81	0,98	54,6	54,4	59,0
<b>T3</b>	7,97	4,29	1,16	73,9	7,96	4,21	1,16	63,2	7,23	3,80	1,05	58,8	58,7	62,7
<b>T4</b>	7,99	4,20	1,23	79,0	7,97	4,20	1,23	68,1	7,25	3,83	1,12	63,4	63,4	67,7

Onde: CP = corpo de prova; T = comprimento (cm); L = largura (cm); A = altura/ espessura (cm); M = massa (g); Ms = massa seca (g); Mq = massa queimada (g); M.I. = massa imersa (g); M.U. = massa úmida (g).

Para a cerâmica produzida com ossos, a Tabela 15 mostra as dimensões e as massas ao longo do processo produtivo, além das massas imersas e úmidas.

Tabela 15: Valores de medição e pesagem dos corpos de prova com ossos. Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Medição e pesagem dos corpos de prova com ossos bovinos</b>														
Corpos de prova	Após conformação				Após secagem				Após sinterização				Massas	
	T	L	A	M	T	L	A	Ms	T	L	A	Mq	MI	MU
<b>OB30/1</b>	7,98	4,21	1,30	82,9	7,97	4,21	1,30	71,9	7,63	4,02	1,23	65,9	65,8	76,9
<b>OB30/2</b>	7,98	4,20	1,32	80,8	7,98	4,20	1,29	70,4	7,62	4,02	1,24	64,6	64,5	75,2
<b>OB30/3</b>	7,99	4,23	1,00	60,7	7,99	4,23	0,99	53,3	7,60	4,05	0,94	48,9	48,8	56,9
<b>OB35/1</b>	7,97	4,20	1,17	76,7	7,97	4,20	1,17	65,0	7,67	4,04	1,12	60,0	60,0	70,1
<b>OB35/2</b>	7,97	4,20	1,25	81,2	7,97	4,20	1,25	68,9	7,65	4,04	1,19	63,6	63,5	74,3
<b>OB35/3</b>	7,98	4,20	1,30	84,1	7,98	4,20	1,28	71,6	7,69	4,05	1,23	66,1	66,1	77,5
<b>OB40/1</b>	7,97	4,20	1,18	77,2	7,96	4,20	1,17	65,3	7,84	4,13	1,14	60,8	60,7	73,6
<b>OB40/2</b>	7,98	4,21	1,19	78,2	7,98	4,20	1,20	66,6	7,84	4,14	1,18	62,0	62,0	74,8
<b>OB40/3</b>	7,98	4,21	1,20	77,4	7,97	4,20	1,19	66,2	7,83	4,13	1,15	61,5	61,4	74,2
<b>OB45/1</b>	7,98	4,20	1,18	75,8	7,97	4,20	1,17	64,3	7,85	4,13	1,14	60,1	60,0	73,1
<b>OB45/2</b>	7,97	4,21	1,20	76,8	7,97	4,20	1,19	65,4	7,85	4,14	1,15	61,0	60,9	74,3
<b>OB45/3</b>	7,98	4,20	1,25	80,6	7,97	4,20	1,25	68,8	7,78	4,14	1,24	64,3	64,3	78,6

<b>OB50/1</b>	7,99	4,21	1,19	75,8	7,99	4,21	1,18	65,0	7,79	4,12	1,14	61,1	61,1	73,4
<b>OB50/2</b>	7,98	4,21	1,20	76,8	7,98	4,20	1,20	66,1	7,79	4,11	1,16	62,1	62,0	74,3
<b>OB50/3</b>	7,98	4,21	1,24	78,5	7,98	4,20	1,24	67,9	7,79	4,10	1,19	63,8	63,7	76,1
<b>OB55/1</b>	7,99	4,22	1,17	75,3	7,97	4,21	1,15	64,0	7,69	4,00	1,08	60,3	60,3	68,7
<b>OB55/2</b>	7,98	4,20	1,15	75,6	7,97	4,20	1,15	64,1	7,69	4,00	1,08	60,4	60,3	68,7
<b>OB55/3</b>	8,01	4,21	1,17	75,7	8,01	4,20	1,17	64,7	7,64	4,01	1,09	61,0	61,0	70,2

Onde: CP = corpo de prova; T = comprimento (cm); L = largura (cm); A = altura/ espessura (cm); M = massa (g); Ms = massa seca (g); Mq = massa queimada (g); M.I. = massa imersa (g); M.U. = massa úmida (g).

Para a cerâmica produzida com fino de rochas ornamentais, a Tabela 16.

Tabela 16: Valores de medição e pesagem dos corpos de prova com rochas. Fonte: Elaborado pelo autor.

<b>Medição e pesagem dos corpos de prova com fino de rochas ornamentais</b>														
<b>Corpos de prova</b>	<b>Após conformação</b>				<b>Após secagem</b>				<b>Após sinterização</b>				<b>Massas</b>	
	T	L	A	M	T	L	A	Ms	T	L	A	Mq	MI	MU
<b>R30/1</b>	7,98	4,22	1,27	82,0	7,97	4,21	1,26	77,2	7,97	4,20	1,37	69,8	69,7	88,0
<b>R30/2</b>	7,98	4,20	1,20	76,0	7,98	4,19	1,18	64,5	7,92	4,17	1,17	58,5	58,4	74,2
<b>R30/3</b>	7,99	4,20	1,33	85,8	8,00	4,20	1,33	73,8	7,93	4,17	1,32	66,8	66,7	84,0
<b>R35/1</b>	8,00	4,24	1,18	76,6	7,97	4,22	1,17	64,9	7,93	4,21	1,16	59,4	59,3	74,9
<b>R35/2</b>	7,99	4,22	1,23	79,8	7,97	4,21	1,22	67,6	7,93	4,19	1,22	61,8	61,8	77,7
<b>R35/3</b>	7,98	4,24	1,29	84,0	7,98	4,23	1,29	71,7	7,94	4,20	1,28	65,6	65,5	82,2
<b>R40/1</b>	7,99	4,20	1,13	71,8	7,97	4,20	1,12	60,2	7,93	4,20	1,10	55,3	55,2	70,2
<b>R40/2</b>	8,00	4,22	1,19	76,9	7,98	4,22	1,19	65,2	7,95	4,20	1,18	59,8	59,7	75,6
<b>R40/3</b>	7,99	4,21	1,18	75,56	7,97	4,21	1,17	66,7	7,94	4,20	1,16	58,7	60,9	77,1
<b>R45/1</b>	8,03	4,22	1,21	78,6	8,01	4,21	1,19	67,0	7,99	4,20	1,19	61,5	61,4	77,3
<b>R45/2</b>	8,02	4,23	1,23	79,2	8,00	4,22	1,22	67,7	7,97	4,21	1,22	62,3	62,2	78,5
<b>R45/3</b>	8,00	4,21	1,27	80,8	8,00	4,20	1,25	69,4	7,97	4,20	1,25	63,8	63,7	80,7
<b>R50/1</b>	7,99	4,21	1,11	71,7	7,98	4,22	1,10	60,2	7,97	4,20	1,10	55,4	55,3	69,9
<b>R50/2</b>	7,98	4,24	1,27	81,5	7,98	4,24	1,27	70,1	7,96	4,23	1,26	64,4	64,2	81,5
<b>R50/3</b>	7,99	4,23	1,33	84,3	7,99	4,22	1,31	72,6	7,97	4,21	1,30	66,7	66,6	84,6
<b>R55/1</b>	8,03	4,23	1,22	82,3	8,00	4,20	1,23	70,4	8,00	4,20	1,22	64,9	64,8	80,1

<b>R55/2</b>	8,11	4,27	1,33	87,1	8,01	4,23	1,30	75,5	8,00	4,23	1,30	69,5	69,3	86,2
<i>Onde: CP = corpo de prova; T = comprimento (cm); L = largura (cm); A = altura/ espessura (cm); M = massa (g); Ms = massa seca (g); Mq = massa queimada (g); M.I. = massa imersa (g); M.U. = massa úmida (g).</i>														

Com estes dados, foi possível a caracterização das propriedades tecnológicas por meio de equações de absorção de água (AA), porosidade (PA), densidade (D), perda ao fogo (PF), retração linear (RL) e tensão de ruptura à flexão (TRF).

#### 4.1.2 Propriedades tecnológicas

Os valores identificados nas medições e pesagens foram utilizados nas equações matemáticas citadas no tópico 3.2.6. Os resultados foram utilizados no preenchimento da Tabela 20, referente ao resumo de todas as propriedades tecnológicas.

*Tabela 17: Valores das propriedades tecnológicas. Fonte: Elaborado pelo autor.*

	AA	DP	PA	DP	D	DP	PF	DP	RLs	DP	RLq	DP	TRF	DP
<b>Ossos Bovinos</b>														
0%	7,01	0,69	14,36	1,31	2,04	0,02	6,88	0,27	0,16	0,16	9,27	0,23	17,58	2,23
30%	16,48	0,17	28,23	0,80	1,71	0,03	8,28	0,06	0,04	0,07	4,55	0,30	11,13	1,07
35%	16,96	0,24	29,31	0,38	1,72	0,002	7,69	0,006	0,00	0,00	3,80	0,19	11,93	1,53
40%	20,78	0,23	34,08	0,63	1,64	0,02	6,96	0,11	0,08	0,07	1,67	0,14	8,24	0,77
45%	21,89	0,13	35,52	0,07	1,62	0,01	6,60	0,11	0,08	0,07	1,42	0,14	6	1,23
50%	19,68	0,42	32,94	0,63	1,67	0,004	6,03	0,02	0,08	0,14	2,34	0,07	6,74	0,86
55%	14,25	0,72	25,93	1,40	1,82	0,006	5,75	0,03	0,12	0,12	3,88	0,63	11,07	0,97
<b>Rochas ornamentais</b>														
0 %	7,01	0,69	14,36	1,31	2,04	0,02	6,88	0,27	0,16	0,06	9,29	0,21	17,58	2,23
30%	26,22	0,55	39,90	0,64	1,52	0,01	9,45	0,14	0,12	0,12	0,67	0,14	2,17	0,39
35%	25,70	0,39	39,37	0,58	1,53	0,006	8,52	0,05	0,21	0,19	0,50	0,003	2,18	0,45
40%	26,58	0,31	40,33	0,29	1,52	0,007	8,32	0,20	0,25	0,001	0,42	0,07	1,88	0,16
45%	26,06	0,40	39,84	0,47	1,53	0,009	8,08	0,11	0,16	0,14	0,33	0,07	2,1	0,33
50%	26,52	0,33	40,24	0,83	1,52	0,01	8,07	0,08	0,04	0,07	0,21	0,07	1,95	0,28
55%	23,72	0,43	37,52	0,62	1,58	0,002	7,87	0,09	0,80	0,60	0,06	0,08	1,27	0
<i>Onde: AA = absorção de água; DP = desvio padrão; PA = porosidade aparente; D = densidade; PF = perda ao fogo; RLs = retração linear após secagem; RLq = retração linear após queima; TRF = tensão de ruptura à flexão..</i>														

Com estes valores, foram construídos gráficos para interpretação e análise de cada uma das propriedades tecnológicas abordadas nesta pesquisa, gerando assim um perfil das características funcionais do material. Os comentários foram realizados nos tópicos seguintes.

#### 4.1.2.1 Absorção de Água (AA)

A Figura 17 mostra o gráfico relacionado à absorção de água, que apresenta o comportamento da AA dos corpos de prova em relação à composições propostas com adição de ossos bovinos.

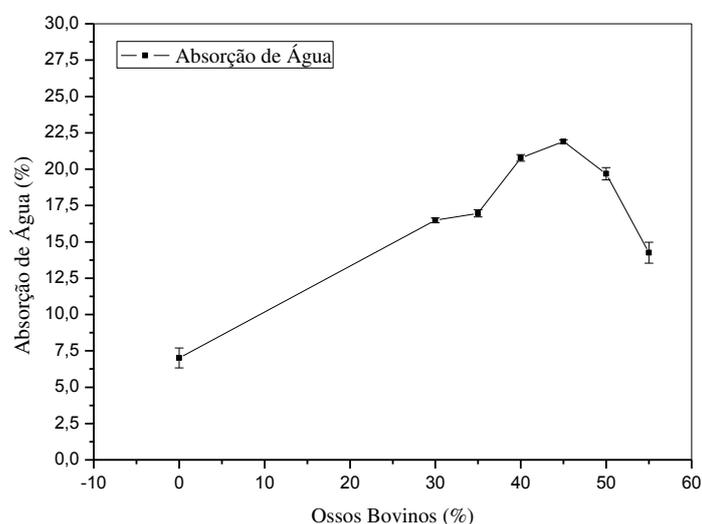


Figura 17: Gráfico de absorção de água para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.

A absorção de água na cerâmica de ossos apresentou-se superior à triaxial - com 0% de resíduos. A absorção aumentou à medida em que mais resíduo foi acrescentado ao material até a porcentagem de 45%. À partir de 50%, a absorção começa a diminuir na mesma proporção das porcentagens anteriores, com 19,68% de A.A., alcançando 14,25% de absorção para composições com 55% de ossos.

Segundo Souza et al (2006), a absorção de água influencia em outras propriedades como a resistência mecânica à flexão, onde, quanto menor for o índice

de absorção de água, mais resistente será a cerâmica. Esta afirmação é um indicativo de que o material possui uma resistência mecânica inferior, uma vez que apresentou todos os valores de AA superiores à triaxial.

Com base nos argumentos apresentados, considerou-se que as composições com 30%, 35% e 55% de adição de ossos apresentaram os melhores resultados quanto à AA, por apresentarem os mais baixos valores de absorção.

Existe ainda uma classificação utilizada para revestimentos acerca desta propriedade, utilizada pela Associação Nacional de Fabricantes Cerâmicos (ANFER) e certificada pelo Inmetro, que divide os revestimentos em porcelanato, grês, semi-grês, semi-poroso e poroso, em relação ao índice de A.A. (ver Tabela 21). Esta classificação encontra-se na NBR 13818 (ABNT, 1997).

*Tabela 18: Classificação dos revestimentos cerâmicos. Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT 13818 (1997) e website do Inmetro.*

<b>A.A (%)</b>	<b>Classe</b>	<b>Denominação</b>	<b>Característica</b>
<b>≤ 0,5</b>	BI a	Porcelanato	Baixa absorção e alta resistência mecânica
<b>&gt; 0,5 a ≤ 3,0</b>	BI b	Grês	Baixa absorção e alta resistência mecânica
<b>&gt; 3,0 a ≤ 6,0</b>	BII a	Semi-grês	Média absorção e média resistência mecânica
<b>&gt; 6,0 a ≤ 10,0</b>	BII b	Semi-poroso	Alta absorção e baixa resistência mecânica
<b>&gt; 10,0</b>	BIII	Poroso	Alta absorção e baixa resistência mecânica

Conforme esta referência, todas as composições com ossos podem ser classificadas como porosas, por apresentarem absorção acima de 10%. No *website* do Inmetro, o Instituto orienta que materiais com esta característica podem ser utilizados como revestimento de parede, devido à alta absorção e baixa resistência mecânica. Desta forma, é provável que todas as composições possam ser utilizadas como matéria-prima para esta finalidade.

Já o Gráfico da Figura 18, mostra a relação existente entre a absorção de água e as composições com a adição de fino de rochas ornamentais.

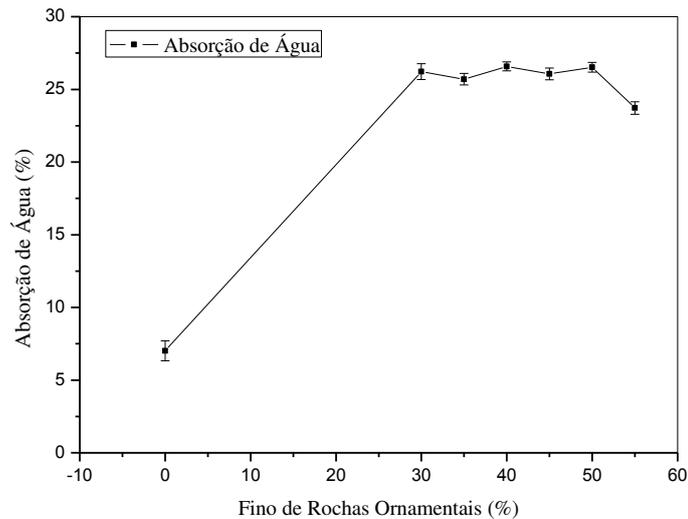


Figura 18: Gráfico de absorção de água para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados mostraram que as cerâmicas produzidas com o fino de rochas ornamentais possuem índices de absorção de água bastante superiores à triaxial tradicional, superando em três vezes este índice. Este resultado sugere que a cerâmica de rochas trata-se de um material mais frágil do que a triaxial.

O gráfico sugere uma certa estabilidade nos valores de A.A., apresentando uma queda mais acentuada na composição de 55% de resíduo. A absorção de água foi de 26,22% em composições de 30% de resíduo, 25,70% para composições de 35%, 26,58 para 40%, 26,06 para 45%, 26,52 para 50% e 23,72 para a composição com 55% de resíduo.

Portanto, considerou-se que as composições de 35% e 55% de fino de rochas apresentaram os melhores resultados por possuírem os menores índices de A.A.

Conforme a classificação utilizada para revestimentos, todas as porcentagens com adição de resíduos de rochas podem ser classificadas como porosas, sendo um material indicado para utilização como revestimento de parede.

#### 4.1.2.2 Porosidade aparente (PA)

Na Figura 19, o gráfico demonstra o comportamento dos corpos de prova em relação aos índices de porosidade ao adicionar percentuais dos ossos bovinos nas cerâmicas.

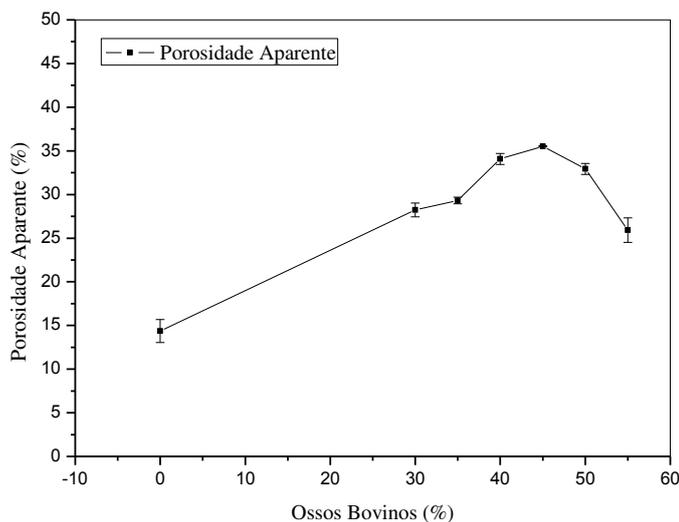


Figura 19: Gráfico de porosidade aparente para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados mostraram que as cerâmicas de osso possuem também índices de porosidade superiores à triaxial. Isto ocorreu devido à relação direta existente entre a absorção de água e a porosidade. Portanto, os dados comprovam que a porosidade aumentou e diminuiu de forma semelhante aos índices de A.A. nos corpo de prova.

A cerâmica com ossos apresentou um percentual mínimo de 28,23% de porosidade com a cerâmica a 30% de ossos e um percentual máximo de 35,52% de P.A. a 45% de resíduos, caindo para 32,94% de P.A. nas composições de 50% de resíduos e para o índice mais baixo em todo o teste, com 25,93% de P.A. nas composições com 55% de ossos.

O aumento do índice de porosidade pode exercer influências positivas ou negativas ao corpo cerâmico, pois segundo Askeland e Wright (2014, p. 488), se por um lado a porosidade exerce influência nas propriedades mecânicas, facilitando o

início de trincas e maior fragilidade da peça, por outro lado, pode ainda proporcionar maior resistência ao choque térmico. Porém, esta pesquisa não possui foco na resistência ao choque, priorizando portanto corpos mais resistentes, com um índice de porosidade menor possível.

Desta maneira, as cerâmicas produzidas com 30% e 55% de ossos apresentaram os resultados mais satisfatórios quanto à porosidade aparente.

Na Figura 20, o gráfico mostra a relação existente entre os índices de porosidade em relação aos corpos de prova em que foram adicionados percentuais de fino de rochas ornamentais.

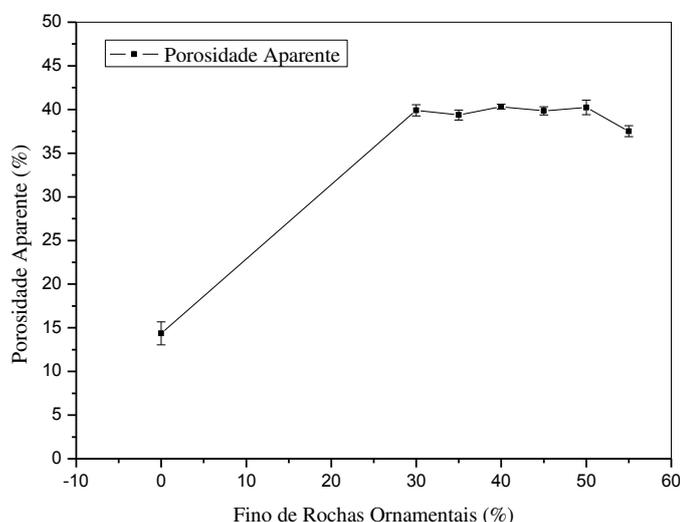


Figura 20: Gráfico de porosidade aparente para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.

Novamente, como esperado, os resultados apresentaram conformidade entre a porosidade aparente e os índices de absorção de água. Observou-se que houve um aumento significativo no índice de porosidade das cerâmicas com os dois tipos de resíduos em relação à triaxial.

Observou-se uma estabilidade nos valores de P.A. e também uma queda mais significativa no resultado dos corpos de prova com 55% de resíduo.

Assim, a porosidade aparente foi de 39,90 em composições de 30%, 39,37 para composições de 35%, 40,33 para 40%, 39,84 para 45% e 40,24 para 50% e

37,52 para a composição com 55% de resíduo, sendo este o índice mais baixo encontrado.

Portanto, considerou-se que as composições de 35% e 55% de fino de rochas apresentaram os melhores resultados, por possuírem os menores índices de P.A.

#### 4.1.2.3 Densidade (D)

A Figura 21 refere-se ao gráfico relacionado à densidade (D), na qual apresentou o comportamento da densidade dos corpos de prova para cada composição com adição de ossos bovinos.

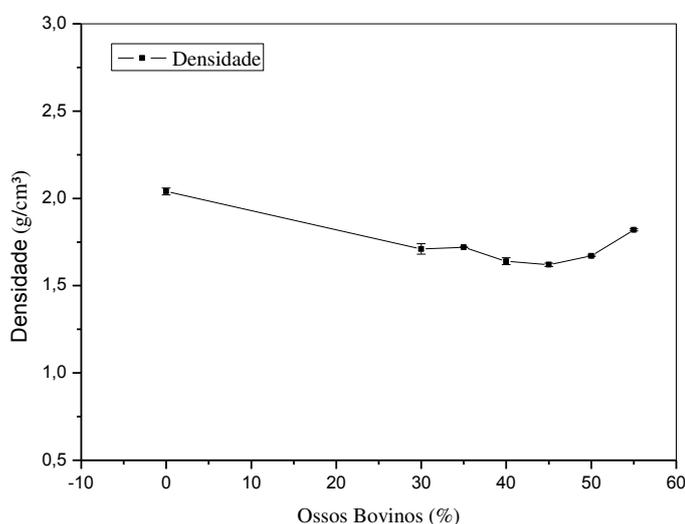


Figura 21: Gráfico da densidade para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico mostrou densidades semelhantes nas duas primeiras composições de 30% e 35% de resíduos, com valores de 1,71 e de 1,72 g/cm<sup>3</sup>, seguida de uma queda gradual nas composições de 40% e 45%, com 1,64 e 1,62 g/cm<sup>3</sup> de densidade. Nas composições seguintes, a curva começa a ascender e alcança os valores de 1,67 e 1,82 g/cm<sup>3</sup> para 50% e 55% de adição de resíduos.

Desta forma, observou-se que houve uma diminuição na densidade dos corpos cerâmicos com ossos em relação à triaxial. Os resultados encontrados

apresentaram concordância com o esperado, pois à medida em que a porosidade dos corpos de prova diminuiu, a densidade aumentou, e quando a porosidade aumentou, a densidade diminuiu. Este comportamento ocorre porque, segundo Jung et al (2012), quanto maior for a densificação das peças, menor é quantidade de poros. E quanto menor for o número de poros, uma maior resistência mecânica será apresentada pelo produto, portanto é desejável que a cerâmica apresente uma maior densidade.

Desta maneira, as cerâmicas produzidas com 55%, 35% e 30% de ossos apresentaram os resultados mais satisfatórios quanto à densidade, nesta ordem.

Vale ressaltar que Oliveira (2000) explica que uma densidade elevada (superior a 2,1 e 2,2 g/cm<sup>3</sup>) pode dificultar na eliminação de gases existentes no interior das peças durante a etapa de queima, causando problemas superficiais tais como bolhas e trincas. Portanto, sendo o maior valor da densidade ainda menor que os descritos pelo autor, os melhores resultados da cerâmica de ossos continuam sendo das composições de 55%, 35% e 30% de resíduos.

Já na Figura 22, o gráfico mostrou a densidade dos corpos de prova com a adição de fino de rochas ornamentais.

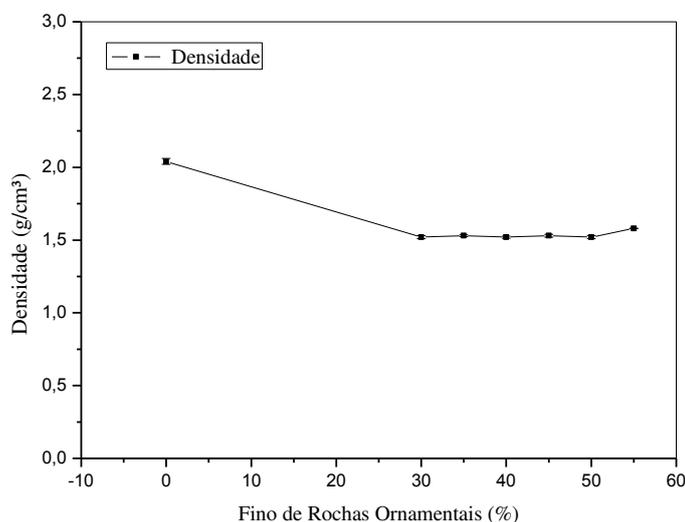


Figura 22: Gráfico da densidade para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados apresentaram valores inferiores quanto à densidade das cerâmicas com fino de rochas ornamentais em relação à triaxial. Foram valores inferiores inclusive à densidade da porcelana de ossos, sugerindo se tratar de um material menos resistente em comparação aos demais tipos cerâmicos.

Os valores mantiveram um equilíbrio entre eles, com sutis oscilações entre 1,52 e 1,53 g/cm<sup>3</sup>. Na composição de 55% de resíduo, a densidade alcançou a máxima de 1,58 g/cm<sup>3</sup>, apresentando também concordância com os índices de porosidade aparente encontrados. Desta forma, a composição de 55% apresentou o melhor resultado, seguido das misturas a 35% e 45% de resíduos, compreendidos abaixo dos valores prejudiciais, citados por Oliveira (2000).

#### 4.1.2.4 Perda ao fogo (PF)

Na Figura 23, o gráfico demonstrou o comportamento dos corpos de prova de ossos bovinos em relação a percentuais de perda ao fogo.

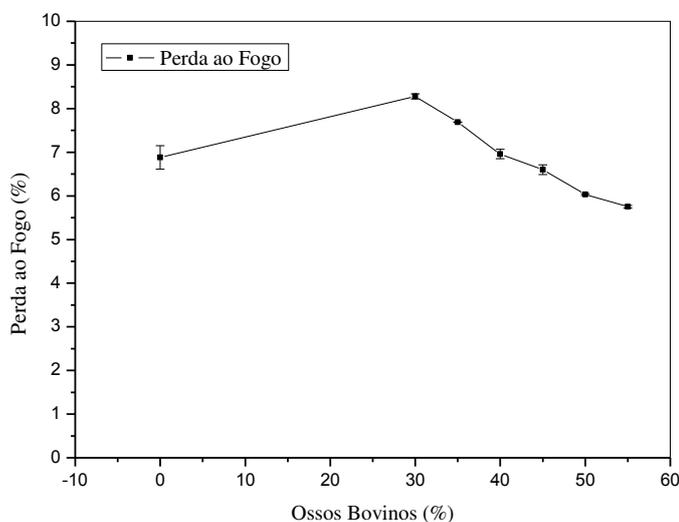


Figura 23: Gráfico de perda ao fogo para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados sinalizaram que a perda ao fogo da cerâmica com ossos possuiu percentuais mais baixos na maioria das composições, em relação à triaxial.

Esta propriedade demonstra a quantidade de substâncias voláteis e matéria-orgânica existente na composição, eliminados durante a queima (SANTOS, 1975). Isto significa que maiores perdas ao fogo indicam maior quantidade de água e de matéria orgânica que são eliminadas durante a queima. Portanto, é preferível que esta perda seja a menor possível, para que haja pouca diferença dimensional antes e depois da queima e para que menos matéria-prima seja perdida.

O gráfico apresentou uma linha decrescente à medida em que o material recebeu uma maior quantidade de resíduos. Pode-se concluir que quanto mais pó de ossos bovinos foi acrescentado à cerâmica, menor foi a quantidade de matéria orgânica existente no material.

Assim, as cerâmicas com 45%, 50% e 55% de resíduos foram aquelas que apresentaram percentuais de perda ao fogo inferiores à cerâmica triaxial. Acredita-se que isto seja decorrente tanto da introdução do resíduo em substituição da argila, que naturalmente possui mais matéria orgânica, quanto pelo processo de queima anterior em que os ossos são submetidos. Eles são calcinados a 1000°C, onde a matéria orgânica restante é desprendida.

Já na Figura 24, o gráfico mostrou os percentuais de perda de massa na queima, identificados à medida em que houve adição de fino de rochas ornamentais nos corpos de prova.

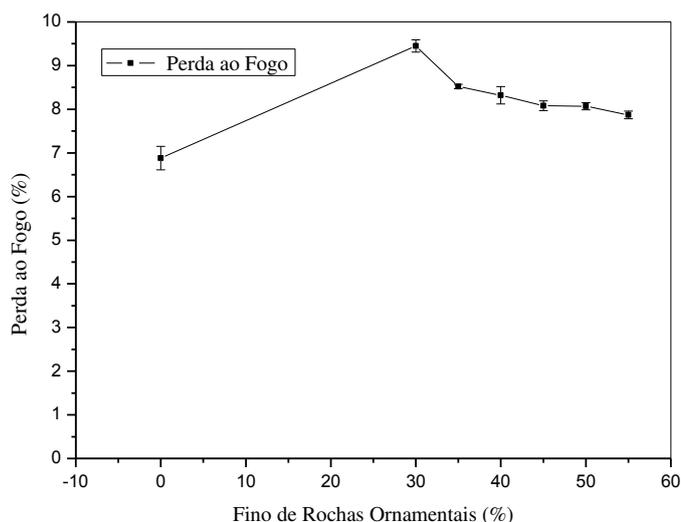


Figura 24: Gráfico de perda ao fogo para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.

A perda ao fogo da cerâmica com resíduos de rochas apresentou valores superiores à triaxial em todas as composições. Os valores também foram superiores à cerâmica com ossos, porém com mesma equivalência de comportamento. Acredita-se que isso ocorra por ser um resíduo que permanece exposto às intempéries nas marmorarias, proporcionando um possível acúmulo de matéria orgânica junto dele. Além disso, ele não recebe nenhum tratamento térmico durante o seu beneficiamento, o que possibilita a permanência de outros materiais.

Por outro lado, à medida em que mais resíduo foi acrescentado, menor foi a perda ao fogo, indicando uma menor presença de matéria orgânica quanto maior for a substituição de caulim por resíduos. Assim, as cerâmicas com 55%, 50% e 45% de resíduos obtiveram os melhores resultados.

#### 4.1.2.5 Retração linear após secagem (RLs)

Com relação à retração linear, foram desenvolvidos gráficos para demonstração do comportamento dos corpos de prova em dois momentos do processo: após a secagem (RLs) e após a queima (RLq).

No primeiro momento, a Figura 25 mostra o gráfico da RL ocorrida após a secagem nos corpos de prova para cada percentual de ossos bovinos.

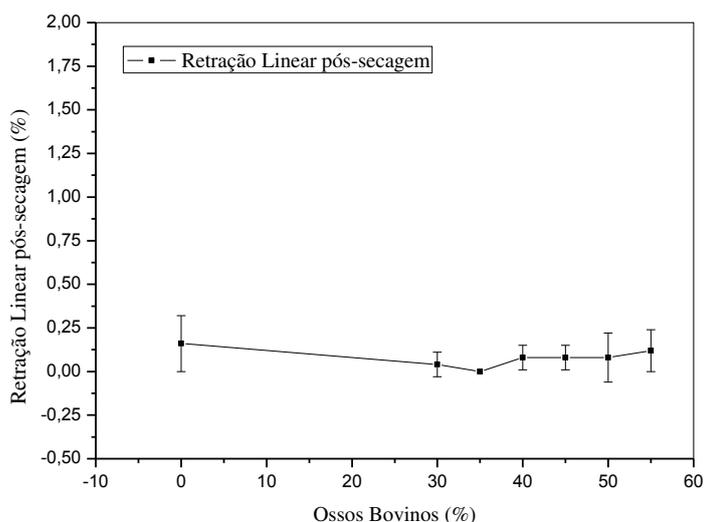


Figura 25: Gráfico de retração linear após secagem para cerâmicas com ossos. Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico demonstrou as diferenças dimensionais do comprimento dos corpos de prova, ocorrida no período entre a conformação e o final da secagem. O objetivo da secagem é a evaporação do excesso de água livre e de constituição contida no corpo, para estabilidade da forma e perda da plasticidade. Portanto, ao perder água, o corpo cerâmico apresenta diminuição de tamanho, demonstrado através da retração linear.

A composição de 30% de resíduo apresentou 0,04% de RLs, seguida de uma queda para a mistura com 35% de ossos em 0,0% de RLs, e posterior estabilidade na retração, com misturas de 40%, 45% e 50% em valores de 0,8% de RLs. Por fim, a retração voltou a subir, alcançando 0,12% de RLs em composições de 55% de resíduo.

De maneira resumida, a retração linear apresentou excelentes resultados, ao mostrar menores valores de RLs nas cerâmicas com resíduos, em relação à triaxial. Apesar de que as variações foram bem discretas na porcelana de ossos, à medida em que mais resíduo foi acrescentado, maior foi a retração linear, com exceção da composição de 35%, que obteve uma retração inferior à todas as composições. Isto demonstra uma perda maior de água para as composições com maior quantidade de resíduo, salvo para a de 35%.

Segundo Vieira et al (2003), a secagem trata-se de uma etapa importante por ser capaz de gerar imperfeições nos produtos, identificadas somente após a queima. Dessa maneira, os resultados foram satisfatórios ao apresentar valores inferiores à triaxial e pouca variação entre as composições.

O ideal é que a RLs mantenha-se nos menores percentuais possíveis, para reduzir a possibilidade de surgimento de defeitos, por isso as misturas de 35% e 30% de resíduos apresentaram os melhores resultados quanto à RLs.

Quanto à cerâmica produzida com o fino de rochas ornamentais, a Figura 26 referiu-se ao primeiro gráfico de sua retração linear, ocorrida na secagem dos corpos de prova em função dos seus percentuais residuais.

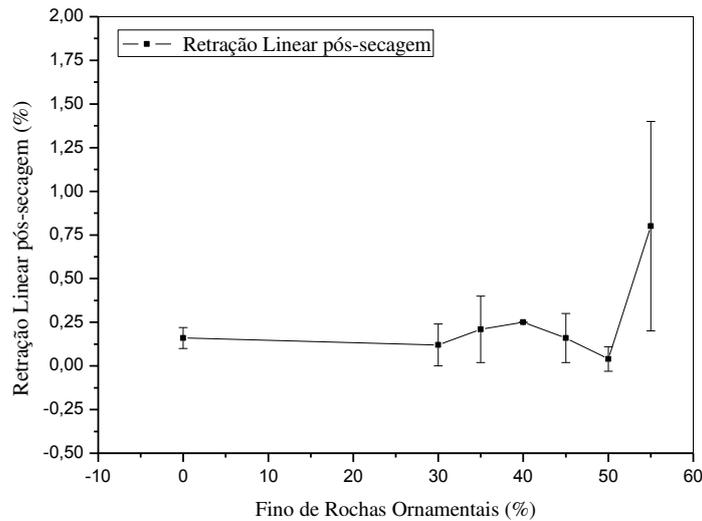


Figura 26: Gráfico de retração linear após secagem para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico mostrou uma grande oscilação entre a retração da cerâmica de rochas e a triaxial. Os valores foram iguais ou inferiores à triaxial em apenas metade das composições propostas com adição de resíduos, em 30%, 45% e 50%.

Observou-se que houve um aumento gradativo da RLs nas três primeiras composições, com 0,12%, 0,21% e 0,25% de RLs. Há uma queda nos valores seguintes, com 0,16% e 0,04 de retração. A mistura com 55% de fino de rochas apresentou os percentuais mais preocupantes, com a máxima de 0,80% de RLs, uma vez que valores menores de RLs são os mais esperados. Vale ressaltar que existe a margem de erro indicada pelo desvio padrão, indicando a possibilidade de valores inferiores.

Em resumo, as cerâmicas com 50%, 30% e 45% de fino de rochas ornamentais apresentaram os melhores resultados nesta ordem, quanto à retração linear após a secagem.

#### 4.1.2.6 Retração linear após queima (RLq)

Em um segundo momento, a RLq demonstrou as diferenças dimensionais do comprimento dos corpos de prova ocorridas entre a secagem e ao final da queima. A Figura 27 mostra os percentuais de retração linear dos corpos cerâmicos com ossos bovinos.

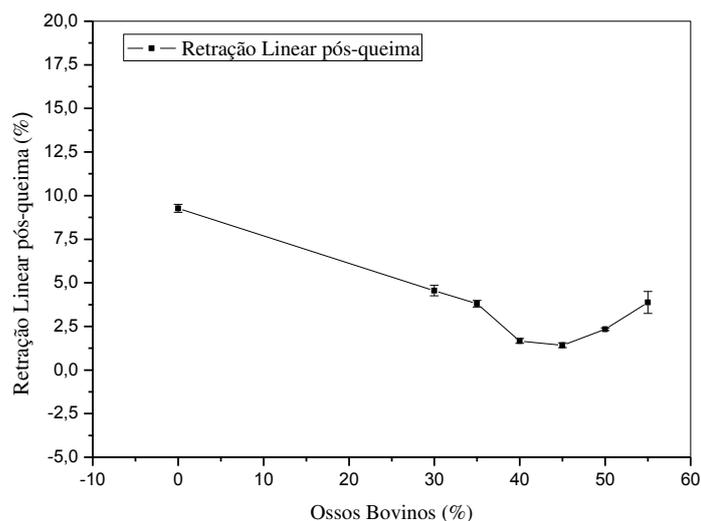


Figura 27: Gráfico de retração linear após queima para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.

A RLq da cerâmica com ossos bovinos mostrou-se inferior à da triaxial em todas as composições. Na análise do gráfico, a RLq diminui gradualmente até as composições com 45% de adição residual, com valores de 4,55%, 3,80%, 1,67% e 1,42% de RLq. A partir da adição de 50% de ossos o percentual de retração aumentou novamente, com 2,34% de RLq e 3,88% nas composições de 55% de resíduo.

Quantificar a retração linear após a queima é importante para traçar uma previsão nas dimensões finais dos produtos, uma vez que a sinterização das moléculas proporciona a diminuição dos espaços existentes entre elas, ou seja, uma redução dimensional dos poros e conseqüente retração das peças.

Além disso, visa identificar misturas que possuem maior probabilidade de aparecimento de trincas e imperfeições, comumente identificadas em corpos

cerâmicos com elevados percentuais de RLq. Assim, o controle dimensional proporciona uma conseqüente qualidade das peças (JUNG et al, 2012).

Portanto uma retração menor é mais desejável, tornando as composições com 45% e 40% de resíduo de ossos melhores, nesta ordem, quanto à esta propriedade.

Segundo Oliveira (2000), algumas características são inerentes aos materiais utilizados como revestimento e uma delas é possuir “máxima estabilidade dimensional durante a queima”, com retração linear de queima abaixo de 1%. Dessa forma, as composições desenvolvidas nesta pesquisa com cerâmica branca e adição de ossos bovinos não são indicadas para utilização como revestimento, quanto à retração linear de queima. Contudo, se for um produto de colocação assimétrica em carácter artístico, não há impedimento para a sua utilização como um revestimento de parede, visto que este material apresentou uma indicação anterior para esta finalidade, descrita na absorção de água. Sugere-se também o uso deste material em objetos utilitários.

Já a Figura 28, mostrou a retração linear em função do percentuais residuais dos corpos com fino de rochas ornamentais, após a queima.

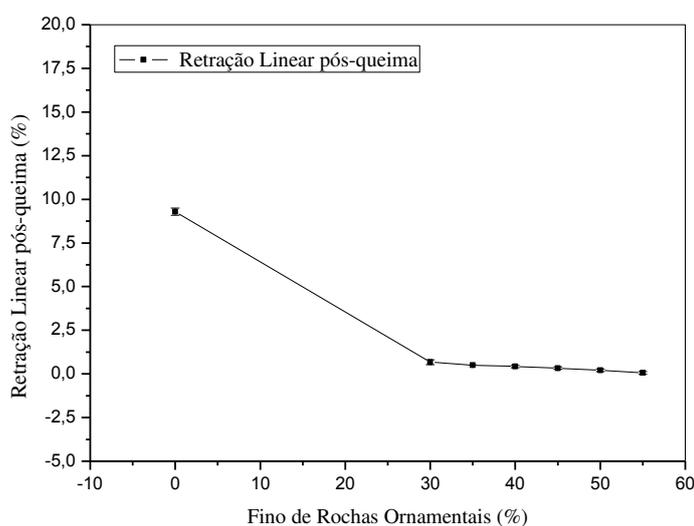


Figura 28: Gráfico de retração linear após queima para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico mostra que a cerâmica com adição de fino de rochas apresentou percentuais de retração linear bem menores em relação à triaxial, proporcionando elevada semelhança dimensional do corpos de prova entre a secagem e a sinterização. Os valores foram dispostos de maneira decrescente, ou seja, a retração linear após a queima diminui gradativamente à medida em que houve a adição de resíduos.

Este contexto indicou uma relação inversamente proporcional, pois quanto maior foi a quantidade de resíduos, menor foi o índice de retração linear encontrado. Os valores gerados foram de 0,67%, 0,50%, 0,42%, 0,33%, 0,21% e seu ponto mais baixo em 0,06% de RLq.

Portanto, as composições de 55% e 50% de fino de rochas ornamentais apresentaram um melhor desempenho quanto a esta propriedade, nesta ordem.

Ao fazer novamente referência a Oliveira (2000), todas as composições de cerâmica branca com adição de fino de rochas ornamentais possuem indicação para utilização como revestimento quanto a esta propriedade, por apresentarem uma retração linear de queima abaixo de 1%.

Além dos dados numéricos que mostram os percentuais de retração linear, o registro fotográfico comprova as diferenças dimensionais ocorridas, como é possível observar na Figura 29.



Figura 29: Diferentes retrações dos corpos de prova. Fonte: Arquivo pessoal.

O registro expõe corpos de prova lado a lado, sendo um triaxial chamado de T1, um de porcelana de ossos bovinos chamado de OB30/1 e um de fino de rochas

ornamentais chamado de R30/1. Vale ressaltar que todos os corpos de prova foram produzidos com o mesmo molde metálico, mas a fotografia evidenciou a elevada retração linear da triaxial, a moderada RL da porcelana de ossos e baixa RL da cerâmica com fino de rochas ornamentais, esta com dimensões bem semelhantes às dimensões do interior do molde.

#### 4.1.2.7 Tensão de ruptura a flexão (TRF)

A Figura 30 corresponde ao gráfico da tensão de ruptura à flexão, onde mostra os valores de tensão de ruptura pela flexão (dado em Mpa) dos corpos cerâmicos com ossos bovinos em função das porcentagens de resíduos.

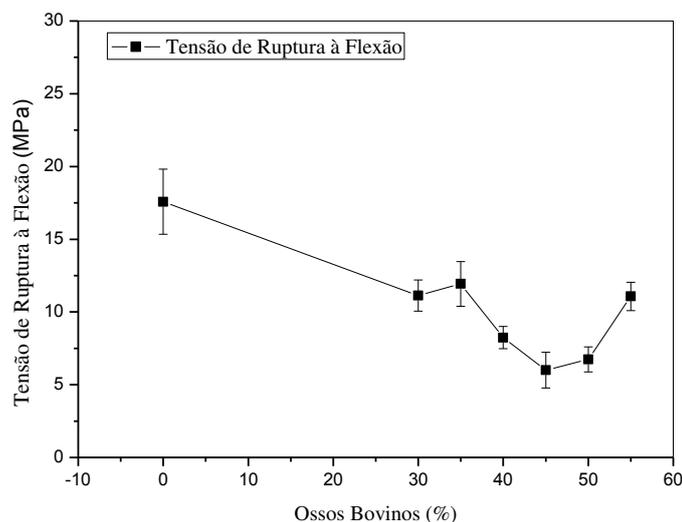


Figura 30: Gráfico de tensão de ruptura a flexão para cerâmicas com adição de ossos bovinos. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados mostraram uma queda dos valores, provavelmente devido ao aumento da porosidade apresentada com a adição dos resíduos. Cerâmicas mais porosas resistem menos às demandas de ruptura. Isso significa que as cerâmicas de ossos possuem uma resistência mecânica um pouco inferior à triaxial.

O gráfico apresentou uma tendência de queda dos valores de tensão até determinado ponto, para depois ascender. Os resultados começaram em 11,13 Mpa

e apresentou uma sutil subida para 11,93 - mas encontrou-se dentro da margem do desvio padrão de 1,53. Ele voltou a descer para 8,24 Mpa e alcançou a menor resistência, registrada em 6 Mpa, pela composição de 45% de resíduos. Após alcançar seu valor mínimo, a tensão voltou a subir para 6,74 e chega a 11,07 Mpa.

As cerâmicas são materiais frágeis, por não apresentarem deformação ao serem submetidas a cargas externas, ou seja, apresentam baixa tenacidade (BEREZOWSKI et al, [s.d]). E durante a realização dos ensaios, observou-se que a porcelana de ossos consiste em um material de elevada dureza, com fratura frágil. No momento da fratura, o corpo cerâmico rompeu como um todo. Ou seja, a trinca se propagou rapidamente.

Retomando a classificação das placas cerâmicas conforme a NBR 13818, a tensão de ruptura das composições apresentou-se como sendo inferior à da cerâmica classificada como porosa, como mostra a Tabela 22, comprovando a baixa resistência atribuída ao material.

Por isso, a cerâmica com ossos deste estudo pode ser utilizada para produtos sem exigência de elevada resistência, como revestimentos de parede – uma vez que demanda menor esforço mecânico em relação aos pisos - e produtos utilitários de uso doméstico.

*Tabela 19: Classificação de revestimentos cerâmicos com TRF. Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT 13818 (1997) e website do Inmetro.*

<b>A.A (%)</b>	<b>Classe</b>	<b>Denominação</b>	<b>Característica</b>	<b>Módulo de ruptura (Mpa)</b>
<b>≤ 0,5</b>	BI a	Porcelanato	Baixa absorção e alta resistência mecânica	≥ 35
<b>&gt; 0,5 a ≤ 3,0</b>	BI b	Grês	Baixa absorção e alta resistência mecânica	≥ 30
<b>&gt; 3,0 a ≤ 6,0</b>	BII a	Semi-grês	Média absorção e média resistência mecânica	≥ 22
<b>&gt; 6,0 a ≤ 10,0</b>	BII b	Semi-poroso	Alta absorção e baixa resistência mecânica	≥ 18
<b>&gt; 10,0</b>	BIII	Poroso	Alta absorção e baixa resistência mecânica	≥ 12 e ≥ 15

Dessa forma, concluiu-se que a adição de resíduos não contribuiu para a resistência do corpo cerâmico, porém apresentou grande variação entre altos e baixos, atribuindo às composições de 35%, 30% e 55% os melhores resultados quanto à esta propriedade, nesta ordem.

Quanto ao fino de rochas ornamentais, Figura 31 mostrou os valores de tensão de ruptura pela flexão dos corpos cerâmicos em função das porcentagens residuais.

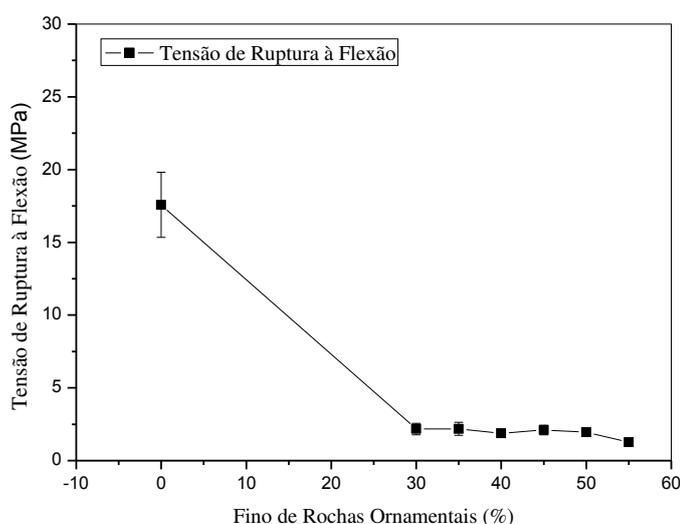


Figura 31: Gráfico da tensão de ruptura a flexão para cerâmicas com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados mostraram que o material apresentou uma resistência mecânica bem inferior àquela apresentada pela triaxial. O gráfico apresenta uma tendência de estabilidade dos valores de tensão, variando entre 2,18 Mpa – para a composição de 35% de resíduos - e 1,27 Mpa - em 55% de rochas.

Segundo Pinheiro (2009, p. 172), uma elevada temperatura contribuiu para a elevação da tensão de ruptura, comprovada pelo estudo de Prado (2014), o qual mostrou que a cerâmica vermelha produzida com adição de mármore e granito chegou a valores inferiores a 8 Mpa em temperaturas de queima de até 1050°C, mas alcançou uma TRF entre 17 e 23 Mpa quando queimadas na temperatura de

1150°C. Isto comprova a real influência da temperatura de queima nas propriedades do material, inclusive na resistência a esforços mecânicos.

Dessa forma, acredita-se que a baixa tensão suportada possa ter relação com a temperatura de queima proposta neste trabalho, de apenas 950°C. Sendo ainda possível o melhoramento destes resultados.

Outro ponto observado durante os ensaios diz respeito ao tipo de fratura. Em geral, as cerâmicas romperam rapidamente sem apresentar deformação antes da fratura, pois apresentaram baixa ductilidade, o que não ocorreu com a cerâmica com adição de fino de rochas. A maioria das fraturas foram mais dúcteis do que frágeis, dando início à fissura em apenas um lado do corpo cerâmico, sem rompê-lo totalmente.

Concluiu-se, portanto, que a adição de resíduos não contribuiu para a resistência do corpo cerâmico, pelo contrário, diminuiu consideravelmente a tensão de ruptura. As composições de 35%, 30% e 45% de resíduos apresentaram os melhores resultados quanto à esta propriedade, nesta ordem, porém são valores tão próximos que foi possível considerar que todos indicaram uma mesma tensão de ruptura à flexão.

### 4.1.3 Análise visual

Com relação à avaliação da função estética dos produtos, utilizou-se como método a análise visual. Para isso, foram desenvolvidas tabelas que fazem a relação entre os corpos de prova com adição de resíduos e as imperfeições que podem ser encontradas em sua superfície.

Cada corpo de prova foi analisado individualmente. Assim, houve a identificação dos problemas superficiais apresentados em cada um deles, como mostram os exemplos da Figura 32.

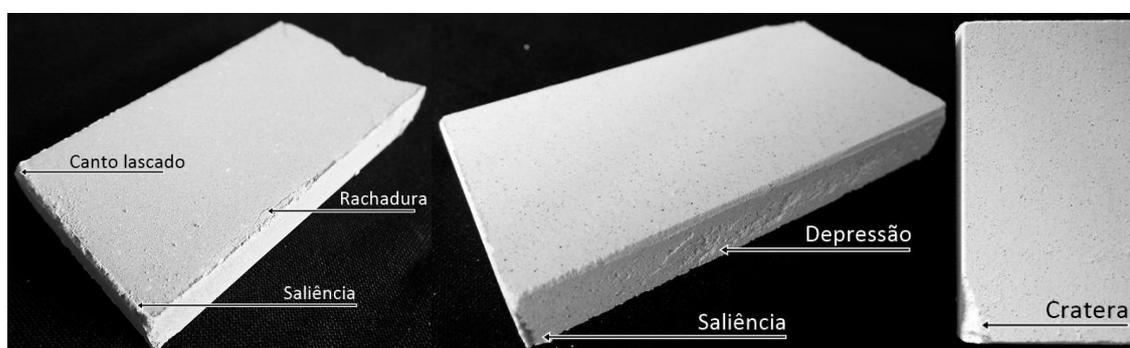


Figura 32: Identificação de problemas na análise visual. Fonte: Arquivo pessoal.

Com esta identificação, os problemas foram contabilizados em tabelas, demonstrando a frequência do aparecimento de imperfeições por meio do cálculo da média aritmética em cada composição.

Dessa forma foi possível responder quais foram os problemas mais comuns em cada porcentagem de resíduos, com qual frequência eles apareceram e qual composição apresentou os melhores resultados. A composição de maior qualidade visual foi aquela que apresentou a menor quantidade de imperfeições superficiais.

#### 4.1.3.1 Contabilização dos problemas superficiais

A Tabela 23 apresenta os problemas superficiais encontrados nos corpos de prova com adição de ossos bovinos.

Tabela 20: Problemas superficiais identificados na cerâmica com ossos. Fonte: Elaborado pelo autor.

	Rachaduras	Depressões	Crateras	Bolhas	Furos	Pintas	Manchas	Cantos e lados lascados	Saliências	Encrustações de corpos e.	Riscados ou arranhaduras	Total	Média aritmética
OB30/1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2,6
OB30/2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	
OB30/3	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	5	
OB35/1	1	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	5	3,3
OB35/2	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	3	
OB35/3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	
OB40/1	0	1	0	0	0	0	0	3	1	0	0	5	5,3
OB40/2	0	0	0	0	1	0	0	4	1	0	0	6	
OB40/3	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	5	
OB45/1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	6
OB45/2	0	0	1	0	0	0	0	5	0	0	0	6	
OB45/3	0	1	1	0	0	0	0	6	0	0	0	8	
OB50/1	1	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	6	5,3
OB50/2	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	6	
OB50/3	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	4	
OB55/1	1	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	5	5
OB55/2	0	1	0	0	0	0	0	3	1	0	0	5	
OB55/3	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	5	
<b>TOTAL</b>	3	6	2	0	1	0	0	63	8	0	0	83	

Com um total de 83 problemas, apenas 3 corpos de prova apresentaram rachaduras, 6 apresentaram depressões, 2 crateras, 1 furos, 63 cantos e lados lascados e 8 apresentaram saliências. Por outro lado, os corpo cerâmicos não apresentaram bolhas, pintas, manchas, encrustações de corpos estranhos, riscados

ou arranhados. Portanto, os cantos lascados foram apontados como o problema superficial mais frequente, mas que podem ser minimizados possivelmente com um manuseio mais cuidadoso do produto durante todo o processo produtivo.

Em relação às porcentagens residuais, a quantidade de defeitos e imperfeições aumentou gradualmente nas composições de 30%, 35%, 40% até 45% de resíduos, com uma média de 2,6, de 3,3, de 5,3 e de 6 problemas superficiais identificados, respectivamente. Nas demais composições, observou-se uma queda significativa neste número, com uma média de 5,3 problemas encontrados na composição de 50% de ossos e apenas 5 imperfeições na composição de 55%.

Com base nestes dados, as cerâmicas com 30%, 35% e 55% de adição de ossos bovinos apresentaram os melhores resultados quanto à contabilização dos problemas superficiais da análise visual, nesta ordem hierárquica, apresentando concordância com os dados resultantes das propriedades tecnológicas.

Já na Tabela 24, foram apresentados os problemas superficiais encontrados nos corpos de prova com adição de fino de rochas ornamentais. Este resíduo apresentou um quantitativo superior de imperfeições, com um total de 204 problemas identificados, onde 14 corpos de prova apresentaram rachaduras, 10 apresentaram depressões, 6 crateras, 5 furos, 10 pintas, 64 manchas, 73 cantos lascados, 11 saliências e 11 riscados ou arranhados. Contudo, não apresentaram bolhas e encrustações de corpos estranhos. Portanto, os cantos lascados também foram apontados como o problema superficial mais frequente, passível de minimização de incidência em um processamento mais criterioso, contudo apresentou também uma grande quantidade de manchas em todas as composições propostas. Este corresponde a um problema mais difícil de ser corrigido, que afeta diretamente na estética do produto.

Tabela 21: Problemas superficiais identificados na cerâmica com fino de rochas. Fonte: Elaborado pelo autor.

	Rachaduras	Depressões	Crateras	Bolhas	Furos	Pintas	Manchas	Cantos e lados lascados	Saliências	Encrustações de corpos e.	Riscados ou arranhaduras	Total	Média Aritimética
R30/1	0	0	0	0	0	1	1	4	1	0	0	7	4,6
R30/2	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3	
R30/3	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	4	
R35/1	0	1	0	0	0	0	3	1	1	0	0	6	7,6
R35/2	0	0	0	0	0	0	4	3	1	0	0	8	
R35/3	0	1	0	0	0	0	4	4	0	0	0	9	
R40/1	0	2	0	0	0	0	4	3	0	0	0	9	10
R40/2	0	2	0	0	0	0	4	4	1	0	0	11	
R40/3	0	0	0	0	2	0	4	3	1	0	0	10	
R45/1	3	1	0	0	0	0	3	4	1	0	0	12	13
R45/2	1	2	1	0	0	0	4	4	1	0	2	15	
R45/3	0	0	0	0	0	0	5	6	0	0	1	12	
R50/1	4	1	1	0	0	0	4	7	0	0	0	17	18,3
R50/2	3	0	3	0	0	0	5	6	1	0	3	21	
R50/3	3	0	0	0	1	0	5	5	0	0	3	17	
R55/1	0	0	0	0	1	7	6	5	2	0	2	23	21,5
R55/2	0	0	0	0	1	2	6	10	1	0	0	20	
<b>TOTAL</b>	14	10	6	0	5	10	64	73	11	0	11	204	

Acredita-se que os corpos de prova com fino de rochas apresentaram um número elevado de problemas devido à temperatura utilizada na sinterização. Segundo conclusões da dissertação de Prado (2014), que estudou o comportamento da cerâmica vermelha com adição de rochas ornamentais em variadas temperaturas de queima, as peças devem ser sinterizadas a 1150°C para o alcance de uma maior

resistência mecânica. Quando a temperatura de queima é mais elevada, maior é a aglutinação das partículas e, portanto, o material torna-se mais resistente e de melhor qualidade. Assim, acredita-se que testes futuros com temperaturas mais elevadas possam enumerar uma quantidade menor de problemas superficiais.

Em relação aos percentuais de incorporação de resíduos, houve uma ascendência gradual da quantidade de defeitos e imperfeições. Quanto maior a quantidade de resíduos incorporados, maior foi a quantidade de problemas superficiais encontrados. Assim, foi indetificada uma média de 4,6 problemas em composições de 30%, 7,6 em composições de 35%, 10 em composições de 40%, 13 em 45%, 18,3 em 50% e 21,5 problemas em composições de 55% de resíduos.

Desta forma, as cerâmicas com 30%, 35% e 40% de adição de fino de rochas ornamentais apresentaram os melhores resultados na análise visual quanto à contabilização dos problemas superficiais, nesta ordem, apresentando igual concordância com os dados encontrados da análise das propriedades tecnológicas na etapa anterior.

#### 4.1.3.2 Diferenças de tonalidade

As diferenças de tonalidade consistem em outra característica estética avaliada por meio da análise visual dos corpos de prova. Sua relevância se dá devido à importância da previsão tonal do material para aplicação em produtos.

A Figura 33 mostra a superfície dos corpos de prova sinterizados em todas as composições propostas com ossos bovinos.



Figura 33: Tonalidades da cerâmica com adição de ossos. Fonte: Arquivo pessoal.

Alguns pontos importantes foram observados acerca da superfície do material. Primeiramente, foram obtidas peças com tonalidade mais alva, em relação às cerâmicas brancas triaxiais tradicionais. As triaxiais são claras, porém de tom sutilmente bege, já a cerâmica com ossos apresentou cor branca, com pequenos pontos escuros.

Segundo Mayahara, Gouveia e Toffoli (2007), a cor final do produto é influenciada pelo tratamento anterior do resíduo, por isso deve ser beneficiado de forma adequada. Para os ossos, o tratamento deve ter a etapa de calcinação para eliminação dos restos de sangue e de carne, retirando o óxido de ferro capaz de proporcionar uma cor escura. Os mesmos autores citam que os ossos podem apresentar diferentes cores após a calcinação, como o branco, o preto e o vermelho, contudo não influenciam no resultado final devido à mudança de fase cristalina do material, o que explica a cor apresentada na Figura 33.

Outro ponto observado diz respeito à variação de tonalidades nas porcentagens de resíduos propostas e a sua relação com o tempo (Figura 34).



Figura 34: Tonalidades da cerâmica com adição de ossos em relação ao tempo. Fonte: Arquivo pessoal.

Quanto à variação de tonalidades nas porcentagens de resíduos, todos os corpos de prova apresentaram uma similaridade. Não foram identificadas diferenças significativas entre composições com menores ou com maiores quantidades de ossos. Dessa maneira, torna-se mais fácil prever o resultado final quanto à cor.

Por fim, houve regularidade de tonalidade dos corpos de prova também quanto ao tempo. As peças não escureceram nem clarearam com o passar das semanas, mantendo a cor e o tom inicial.

Já para as cerâmicas produzidas com fino de rochas ornamentais, a análise de tonalidade apresentou resultados bem diferentes. A Figura 35 mostra a superfície dos corpos de prova com este material após 3 semanas da sinterização.

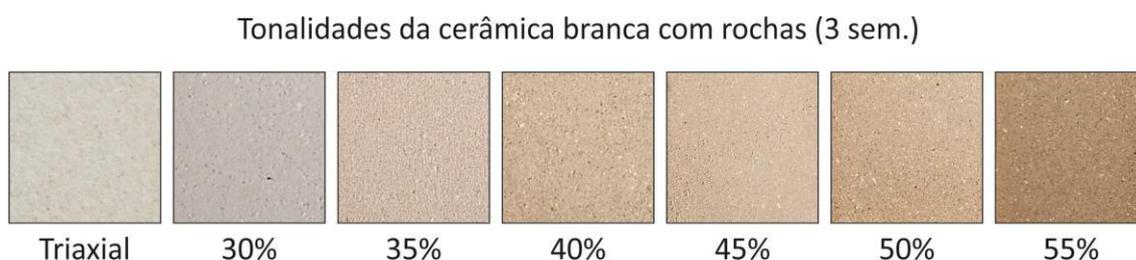


Figura 35: Tonalidades da cerâmica com adição de fino de rochas ornamentais. Fonte: Arquivo pessoal.

Os corpos de prova apresentaram uma tonalidade mais escura em relação à cerâmica branca triaxial tradicional. A cartela de cores obtidas foi apresentada como resultado final devido à uma significativa variação de tonalidades apresentada entre o período após a conformação e algumas semanas seguintes, observada na Figura 36. A Figura mostra a relação entre as composições de fino de rochas, seu comportamento com o tempo e os percentuais residuais.



Figura 36: Tonalidades da cerâmica com adição de fino de rochas ornamentais em relação ao tempo. Fonte: Arquivo pessoal.

Observou-se que à medida em que mais resíduo foi acrescentado, mais escuro se tornou o corpo cerâmico. Assim, houve uma significativa diferença entre as composições com menos e com mais resíduos.

Além disso, observou-se que além de serem cerâmicas mais escuras em relação à triaxial, houve uma diferença de tonalidade nas peças com fino de rochas ao longo das semanas, tornando suas superfícies cada vez mais escuras. Para a comprovação deste fenômeno, alguns corpos de prova foram separados e cobertos por uma tira de fita adesiva em apenas um segmento, durante dez dias. O resultado pode ser observado na Figura 37. A “Cor A” foi a região sem a fita, exposta diretamente ao ar e a “Cor B” ficou por debaixo da fita. Portanto, o registro fotográfico mostrou uma tonalidade sutilmente mais clara na “Cor B”, comprovando a diferença de tonalidade ao longo das semanas.



Figura 37: Diferenças de tonalidades. Fonte: Arquivo pessoal.

As cores obtidas assemelharam-se à tons de caramelo, com leve roseado, possibilitando o levantamento de algumas hipóteses para tal fenômeno. Pode ser que exista uma presença de óxido de ferro maior do que na cerâmica triaxial e daquela produzida com ossos; talvez exista algum outro componente mineral característico da rocha que possa gerar esta tonalidade; alguns componentes geradores de cor podem ter se agregado ao resíduo durante o período em que ele foi exposto às intempéries ainda dentro da área de corte das marcenarias; ou mesmo uma outra causa ainda desconhecida.

A causa da tonalidade obtida é desconhecida, mas vale destacar que os resíduos não passam por um beneficiamento térmico prévio, como foi realizado com os ossos bovinos. Este contexto nos faz retomar o pensamento de Mayahara, Gouveia e Toffoli (2007), ao explicarem que o tratamento anterior do resíduo influencia diretamente nos resultados superficiais do produto. Dessa maneira, uma característica evidenciada no fino de rochas ornamentais beneficiado somente com peneiração e queima a 950°C, é que este material pode proporcionar colorações diferentes, de comportamento não constante, conforme variáveis envolvidas.

Contudo, para que seja possível a afirmação do motivo pelo qual este material apresentou estas tonalidades, faz-se necessário um estudo complementar com análise química do material, não realizada neste trabalho por não consistir em um dos objetivos específicos propostos. Assim, fica como uma sugestão de estudo posterior.

Retornando à cor da cerâmica, concluiu-se que o material apresenta tons terrosos sem precisão. É importante ressaltar, também, que existe mais uma variável que interfere no resultado final: a demanda. As rochas que passam pelo corte nas marmorias não são sempre as mesmas, elas são beneficiadas à medida em que os pedidos são realizados pelos clientes. Portanto, o material acumulado no tanque e chamado de fino, pode ser de cores variadas, conforme a demanda diária do tipo de rocha. Assim não há como prever com exatidão a cor final do corpo cerâmico produzido com este resíduo, o que ainda sim não desqualifica o material, uma vez que pode ser utilizado para dar um aspecto sutilmente rústico a produtos.

## 4.2 ESTUDO DOS PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Quanto ao estudo acerca dos processos de conformação, a proposta consistiu em utilizar uma das composições propostas no tópico 3.1.4 (referente à formulação das composições), de cerâmica branca com adição de resíduos, para a fabricação de alguns produtos. Com isso, foi possível fazer uma análise visual da superfície do material de maneira resumida, indicando se há possibilidade de utilização deste material no processo proposto.

A mistura com 30% de resíduos esteve entre os melhores resultados tanto para a cerâmica com ossos quanto para com o fino de rochas ornamentais na realização da análise das propriedades tecnológicas e análise visual, por isso esta foi a porcentagem utilizada para aplicação em produtos.

Vale ressaltar que a aplicação da composição nos processos de conformação selecionados são apenas para comprovação real de possibilidade de sua utilização, pois as propriedades tecnológicas do material possivelmente apresentam características diferentes, uma vez que consistem em tipos diferentes de processamento.

Portanto, as características tecnológicas identificadas no tópico anterior não devem ser as mesmas para os produtos conformados pelos métodos do atual tópico, mas elas serviram de critério para a escolha de qual mistura utilizar para a aplicação em produtos.

Os produtos desenvolvidos foram revestimentos cerâmicos de parede – um quadrado, um retangular e um curvo, todos lisos e sem detalhes superficiais - e uma pequena petisqueira, os quais o processamento se deu por meio da prensagem e por colagem de barbotina, respectivamente.

### 4.2.1 Processo de conformação por prensagem

As matérias-primas da cerâmica com adição de ossos bovinos foram misturadas, hidratadas e colocadas no interior de moldes de gesso. Após o preenchimento de toda a área, foram retirados do molde, conforme mostra a Figura 38-a. O mesmo processo ocorreu para os revestimentos com fino de rochas ornamentais.

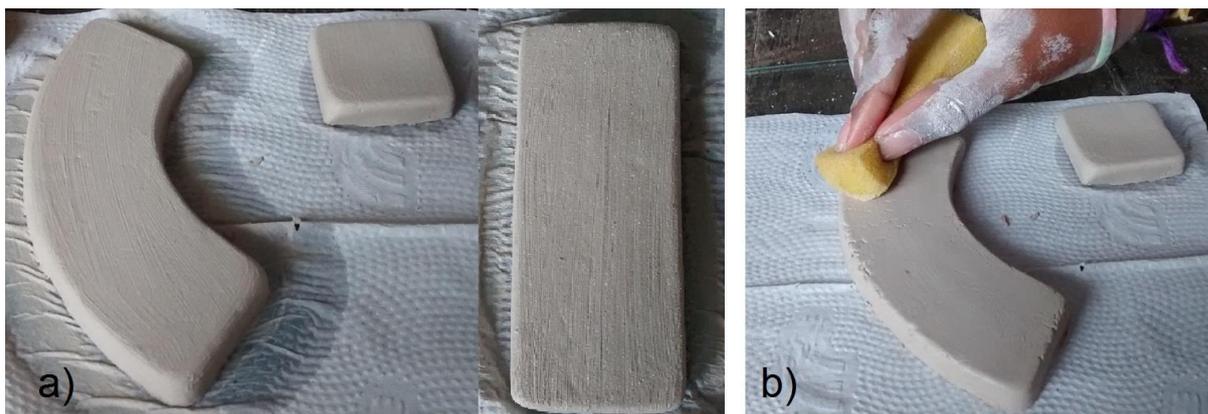


Figura 38: a) Produtos de ossos bovinos após conformação por prensagem; b) Uniformização superficial. Fonte: Arquivo pessoal.

Todas as peças passaram por uma etapa de uniformização superficial com o auxílio de uma esponja umedecida - procedimento comum em olarias, mas desnecessário em indústrias devido à compactação mais eficiente realizada por máquinas - como mostra a Figura 38-b, eliminando possíveis imperfeições e irregularidades.

Por último, os revestimentos passaram pelas etapas de secagem e de sinterização em fornos. Para a cerâmica com ossos bovinos, a queima ocorreu a 1200°C e para aquela com com fino de rochas, a queima foi realizada a 950°C, com as mesmas características de tempo e patamar descritas na metodologia através do tópico 3.2.5 (referente à sinterização dos corpos de prova).

#### 4.2.1.1 Análise visual no processo de conformação por prensagem

A Figura 39-a mostra o resultado dos produtos sinterizados, porém sem acabamento. Neste estágio, os produtos são comumente chamados de “biscoitos”. Os biscoitos da cerâmica de ossos apresentaram uma textura áspera, com alguns pequenos grãos evidentes, por isso propõe-se a realização de um acabamento complementar.

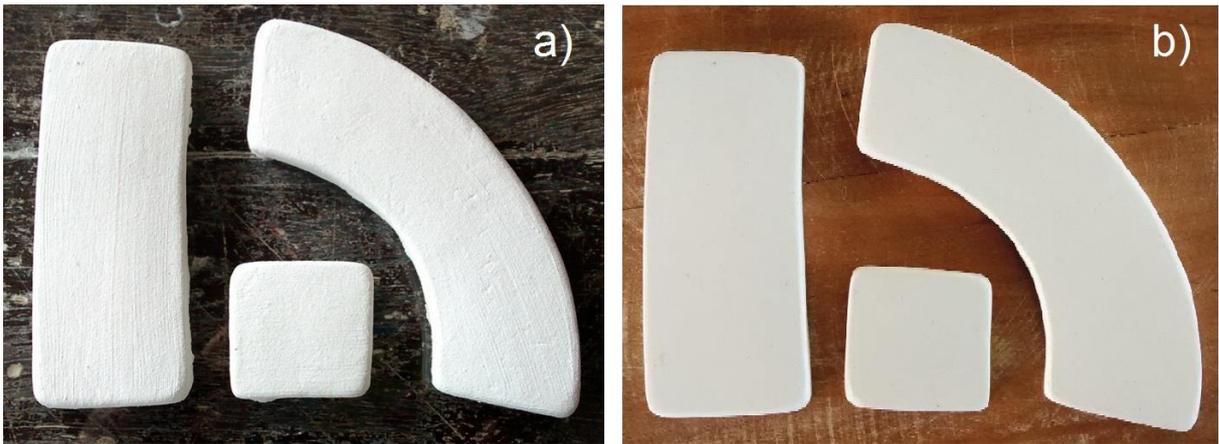


Figura 39: Revestimentos de cerâmica com ossos bovinos: a) Após sinterização; b) Após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal.

A Figura 39-b mostra a superfície já polida manualmente com a utilização de lixas de granulometria nº 100, o que proporcionou um fino acabamento superficial. Contudo, vale ressaltar que o lixamento é uma etapa facultativa. O ideal seria o que material não necessitasse de acabamento posterior por corresponder a mais uma etapa produtiva, que gera a elevação de custos em um processamento industrial, contudo o lixamento superficial fica à critério do produtor, para aprimoramento superficial da cerâmica. Mas mesmo que não seja realizado o lixamento, a cerâmica pode ser vitrificada, proporcionando à superfície um aspecto rústico, mas também com valor estético.

A Tabela 25 apresenta a quantificação de problemas superficiais encontrados nos produtos compostos de cerâmica branca com adição de ossos bovinos e conformados por prensagem.

Tabela 22: Problemas superficiais da cerâmica com ossos bovinos na prensagem. Fonte: Elaborado pelo autor.

Ossos a 30%	Rachaduras	Depressões	Crateras	Bolhas	Furos	Pintas	Manchas	Cantos e lados lascados	Saliências	Encrustações de corpos estranhos	Riscados ou arranhaduras	Total
Quadrado	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2
Retângulo	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Curvo	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3

Identificou-se a presença dos seguintes problemas no revestimento quadrado: apenas um furo e uma pinta (Figura 40-a); no revestimento retangular: uma deformação dimensional considerada como depressão (citada no parágrafo seguinte); no revestimento curvo: uma pequena depressão lateral, um furo (Figura 40-b) e um desnível ao longo do comprimento. Não foi identificada a presença de rachaduras, crateras, bolhas, manchas, cantos lascados, encrustações de corpos estranhos, riscados ou arranhaduras.

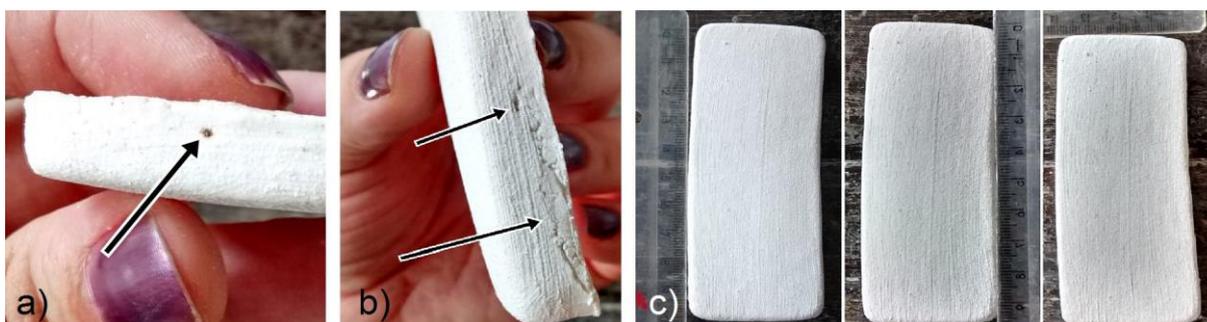


Figura 40: Problemas superficiais da cerâmica com ossos por prensagem: a) Presença de uma pinta; b) Depressão e um furo; c) Demonstração da deformação dimensional. Fonte: Arquivo pessoal.

Além destes defeitos, observou-se a influência da retração linear ao identificar certa deformação dimensional do corpo cerâmico. O material utilizado para revestimentos deve apresentar uma retração linear mínima, como foi discutido durante a análise das propriedades tecnológicas, porém isto não ocorreu com este material. O corpo retangular, por exemplo, apresentou um lado menor que o oposto e forma ligeiramente curva, como mostra a Figura 40-c.

Este resultado sugere que este material pode ser utilizado como revestimento de parede, porém não para ser colocado de maneira linear e uniforme. É possível propor sua utilização como peças individuais ou em uma composição artística na parede, de maneira assimétrica e/ou irregular. Vale ressaltar que os produtos foram conformados por prensagem de maneira manual, possibilitando o alcance de resultados melhores quando produzidos industrialmente e/ou com a utilização de máquinas.

Dessa forma, considera-se que os produtos apresentaram uma baixa quantidade de defeitos e conclui-se que cabe a este material a sua conformação por

prensagem, evidenciando a indicação deste material para utilização em objetos planos. Isto provoca semelhança com os resultados apresentados na análise das propriedades tecnológicas e da análise visual das composições.

Quanto ao material proposto com adição de fino de rochas ornamentais, a Figura 41-a os mostra os revestimentos após a conformação por prensagem.

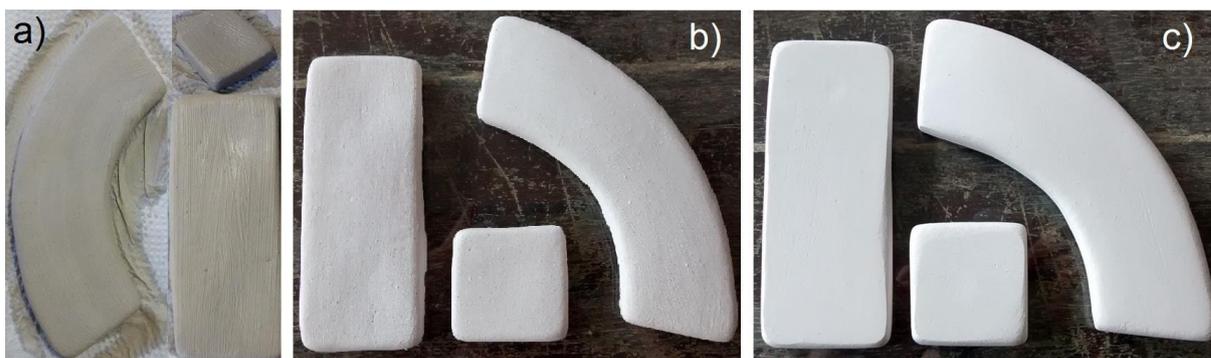


Figura 41: Revestimentos de cerâmica com fino de rochas ornamentais: a) Após conformação; b) Após sinterização; c) Após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal.

A Figura 41-b mostra o resultado após a queima, apresentando um bom acabamento com apenas uma sutil aspereza superficial. O lixamento foi uma etapa opcional introduzida, com a utilização de lixas nº 100, e o resultado obtido pode ser visto na Figura 41-c.

A enumeração dos problemas superficiais encontrados nos produtos conformados com cerâmica branca e fino de rochas ornamentais pelo processo de prensagem, ocorreu pela utilização da Tabela 26.

Tabela 23: Problemas superficiais da cerâmica com fino de rochas no processo de prensagem. Fonte: Elaborado pelo autor.

Rochas a 30%	Rachaduras	Depressões	Crateras	Bolhas	Furos	Pintas	Manchas	Cantos e lados lascados	Saliências	Encrustações de corpos estranhos	Riscados ou arranhaduras	Total
Quadrado	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1
Retângulo	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Curvo	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

Identificou-se os seguintes problemas nos revestimentos (Figura 42): no quadrado houve a presença de dois furos laterais; o revestimento retangular apresentou apenas um desnível ao longo do comprimento (Figura 42-c) - sinalizado como sendo uma depressão - e um riscado leve; no revestimento curvo, é possível notar um desnível ao longo do corpo e duas rachaduras, localizadas exatamente no ponto de tensão máxima das curvas interna e externa. Não houve a identificação da presença de crateras, bolhas, pintas, manchas, cantos lascados e encrustações de corpos estranhos.

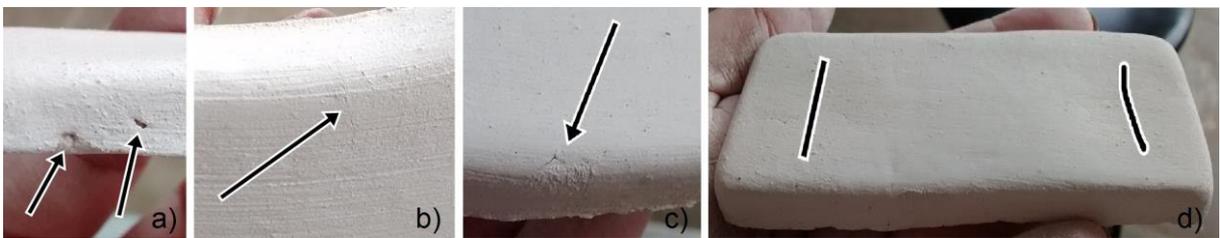


Figura 42: Problemas superficiais da cerâmica com fino de rochas por prensagem: a) Furos; b e c) Rachaduras; d) Demonstração da diferença de nível. Fonte: Arquivo pessoal.

Os resultados quanto à deformação dimensional indicaram um material mais regular (ver Figura 43), assim o resultado comprova que este material pode ser utilizado como revestimento de parede, inclusive para aplicação de maneira linear e uniforme. Considera-se que os poucos defeitos encontrados podem ser facilmente minimizados por meio do acabamento superficial.



Figura 43: Demonstração da deformação dimensional no revestimento com fino de rochas. Fonte: Arquivo pessoal.

É importante, ainda, ressaltar a necessidade de um cuidado no manuseio de peças curvas durante a etapa de conformação, a fim de evitar o surgimento de rachaduras, como foi apresentada de maneira superficial no revestimento curvo. Este manuseio não ocorre em processos industriais, o que pode atribuir melhor qualidade às peças.

Assim, os resultados mostraram uma baixa quantidade de defeitos e indicação para utilização do material em produtos planos, inclusive em revestimentos devido à estabilidade dimensional apresentada.

Além disso, evidenciou-se que houveram vantagens da utilização da prensagem, pois consistiu em um processo relativamente rápido e dinâmico para os dois resíduos, possibilitando maior produção em pouco tempo.

#### 4.2.2 Processo de conformação por colagem de barbotina

Neste processo, as matérias-primas foram misturadas e foi feita a adição de água, gerando a barbotina, que foi inserada em um molde de gesso aos poucos, formando uma parede cerâmica em toda a extensão interna do molde. Ainda bastante úmido, as bordas do produto foram niveladas e permaneceu “descansando” até desprendimento total do molde.

Em seguida os produtos passaram pela secagem em estufa e sinterização, com as mesmas características de queima utilizadas para o processamento por prensagem. Queima a 1200°C para a cerâmica com ossos e 950°C para o produto com fino de rochas ornamentais.

##### 4.2.2.1 *Análise visual no processo de conformação por colagem de barbotina*

A Figura 44 mostra os etapas de processamento de uma petisqueira por colagem de barbotina, com a mistura cerâmica com ossos bovinos.

A letra a) mostra a petisqueira após a conformação, a letra b) mostra o resultado após a queima e a letra c) registra produto final. Como a superfície apresentou uma sutil aspereza, foi dado um acabamento superficial com o lixa nº 100. Novamente é importante ressaltar que o lixamento é uma etapa opcional,

conforme requisitos projetuais tanto quanto ao aspecto econômico, quanto ao resultado estético do produto.



Figura 44: Petisqueira de cerâmica com ossos confeccionada por colagem de barbotina: a) Vista superior após conformação; b) Vista superior após queima; c) Vista superior após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal.

Identificou-se a presença de apenas um furo - proveniente da conformação - e uma rachadura (ver Figura 44-a e 44-b), além disso, apresentou uma superfície áspera. As Figuras 43-c e 44-c mostram que estes problemas foram retirados com a utilização de lixas. Por isso é interessante a aplicação de um acabamento posterior, como o lixamento e/ou a vitrificação, exceto se for desejável um aspecto rústico ao produto. Portanto, foi possível a obtenção de uma petisqueira na cor branca e poucos problemas superficiais, como mostra a Figura 45.

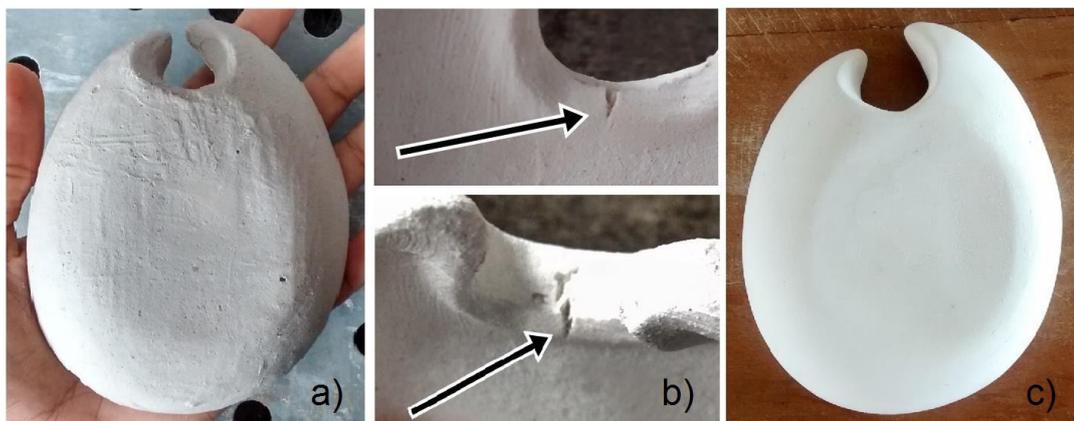


Figura 45: Resultados identificados na superfície do produto com ossos: a) Superfície irregular após conformação; b) Rachaduras; c) Resultado após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal.

Foram identificadas apenas uma rachadura no ponto de maior tensão do formato proposto ao produto, e uma bolha, apresentadas por meio da Tabela 27.

*Tabela 24: Problemas superficiais da cerâmica com ossos bovinos no processo de colagem de barbotina. Fonte: Elaborado pelo autor.*

	Rachaduras	Depressões	Crateras	Bolhas	Furos	Pintas	Manchas	Cantos e lados lascados	Saliências	Encrustações de corpos estranhos	Riscados ou arranhaduras	Total
Ossos a 30%												
Pestisqueira	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2

Em resumo, conclui-se que o produto mostrou que é possível a sua conformação por colagem de barbotina, indicando a utilização deste material também para produtos utilitários e demais objetos por este processo.

Contudo, foi identificado um aspecto negativo no processamento. O material exigiu que o produto permanecesse dentro do molde durante algumas horas até que ocorresse o descolamento natural de sua parede em relação à parede do molde. Isto tornou o processo produtivo mais lento, resultando em uma baixa produtividade. Portanto, este processamento deve ser utilizado apenas quando for necessário devido à forma do produto.

Quanto à cerâmica com adição de finos de rochas ornamentais, os resultados da utilização da colagem de barbotina encontram-se na Figura 46. A Figura mostrou a petisqueira após a conformação (a), após a queima (b) e após o lixamento(c). Como a superfície apresentou uma sutil aspereza e diferença de nível, foi dado um acabamento superficial com o lixamento, alcançando o resultado superficial desejado. Da mesma maneira a Figura 47 mostrou o produto, porém da sua parte posterior.

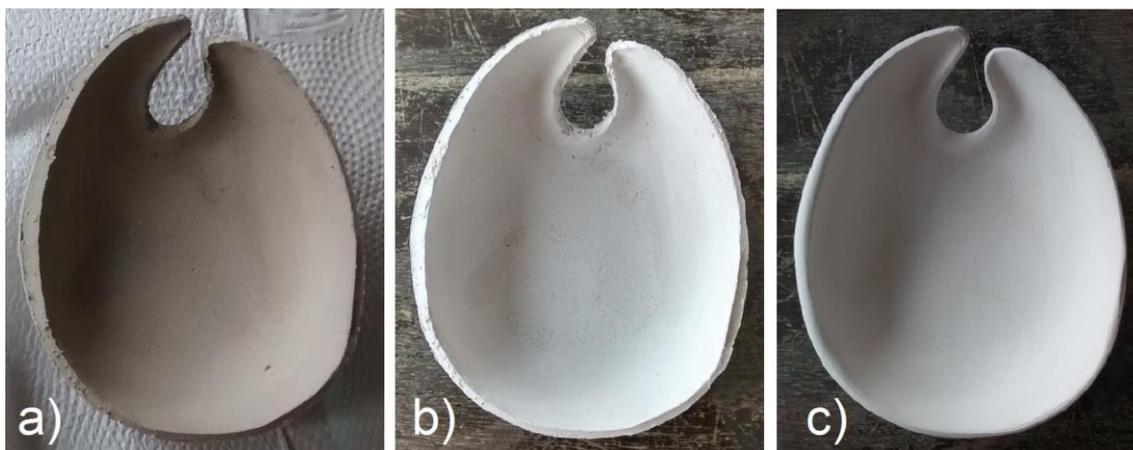


Figura 46: Vista superior da petisqueira de cerâmica com fino de rochas ornamentais, confeccionada por colagem de barbotina: a) Após conformação; b) Após queima; c) Após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal.

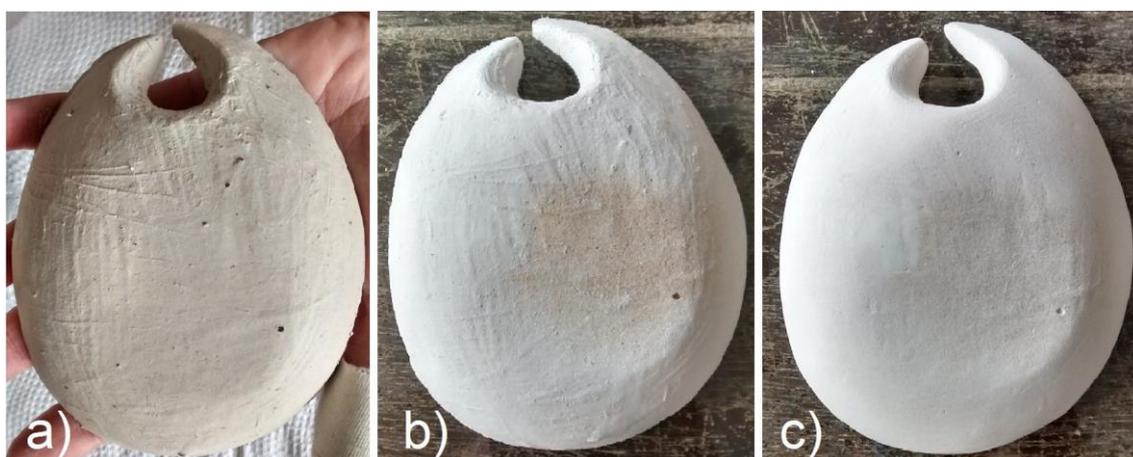


Figura 47: Vista posterior da petisqueira de cerâmica com fino de rochas ornamentais, confeccionada por colagem de barbotina: a) Após conformação; b) Após queima; c) Após lixamento. Fonte: Arquivo pessoal.

Assim, foi possível a obtenção de uma petisqueira por este processo, apesar de uma aparente fragilidade do material. Identificou-se apenas uma pequena fissura superficial na região da curva interna, retirada facilmente com a utilização de lixa nº 100, dois furos e uma bolha, esta proveniente da conformação. Os problemas superficiais encontram-se na Figura 48 e foram enumerados na Tabela 28.

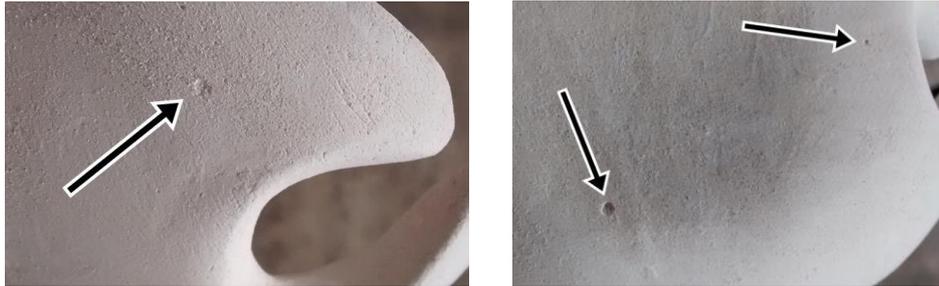


Figura 48: Problemas superficiais encontrados na pestiqueira de cerâmica com fino de rochas ornamentais.  
Fonte: Arquivo pessoal.

Tabela 25: Problemas superficiais da cerâmica com fino de rochas no processo de colagem de barbotina. Fonte: Elaborado pelo autor.

	Rachaduras	Depressões	Crateras	Bolhas	Furos	Pintas	Manchas	Cantos e lados lascados	Saliências	Encrustações de corpos estranhos	Riscados ou arranhaduras	Total
Rochas a 30%												
Petisqueira	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3

Outro ponto a favor diz respeito ao dinamismo do processamento, pois foi observado que o material necessita de um tempo menor para que ocorra o descolamento da parede do produto com a parede do molde, em relação à cerâmica com ossos bovinos. Durante a produção, este tempo foi em torno de 40 minutos. Assim é possível a produção de um número maior de peças em um menor tempo. A Figura 49 mostra o início do descolamento rápido, após 10 minutos da conformação.

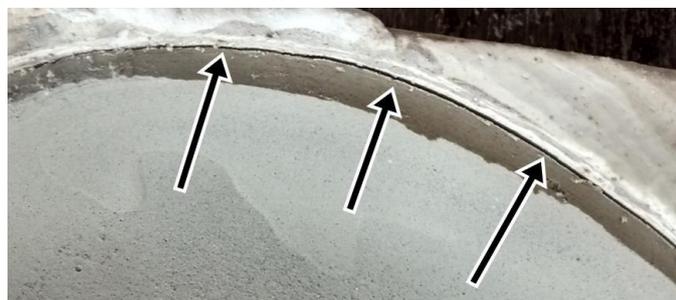


Figura 49: Descolamento do produto à partir da parede do molde. Fonte: Arquivo pessoal.

Concluiu-se que é possível a aplicação da cerâmica branca com adição de fino de rochas ornamentais para o desenvolvimento de objetos utilitários, conformados pelo processo de colagem de barbotina.

Em resumo, tanto as petisqueiras produzidas com a adição de ossos bovinos à massa cerâmica quanto com a adição de fino de rochas ornamentais mostraram que é possível o processamento deste material por colagem de barbotina. Contudo, sugere-se a aplicação de etapas posteriores como o lixamento para um melhor acabamento superficial, e/ou a vitrificação (como exemplifica a Figura 50), para que o produto possa obter maior resistência e ser produzido em diversas cores.



*Figura 50: Produto vitrificado. Fonte: Arquivo pessoal.*

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE ESTUDOS POSTERIORES

### 5.1 Conclusões

Após a análise e discussão dos resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

Quanto aos corpos de prova confeccionados de cerâmica branca com adição de ossos bovinos, todos os testes apresentaram elevados percentuais de absorção de água e de porosidade, sendo superiores em todas as composições propostas, em relação aos resultados apresentados pelas triaxiais.

Isto influenciou diretamente na densidade do material, que mostrou-se inferior em todos os corpos de prova. Estes resultados sugerem se tratar de um material mais frágil, o que foi comprovado através dos testes de tensão de ruptura à flexão. Durante os ensaios, o material apresentou resistência inferior em relação à cerâmica triaxial, sobretudo nas composições de 40% e 45% de ossos bovinos.

Contudo, esses resultados não inviabilizam o uso deste material uma vez que um acabamento superficial posterior pode ser utilizado, como a vitrificação. Este procedimento proporciona não apenas uma melhora no aspecto estético, mas também uma elevação de sua resistência mecânica e vedação dos poros.

A perda ao fogo mostrou grande variedade de resultados, apresentando percentuais menores à medida em que mais resíduo foi acrescentado, ou seja, quanto mais ossos bovinos foram acrescentados à massa, menor foi a perda de material durante a queima, o que foi comprovado através da retração linear no pós-queima.

A retração linear mostrou estabilidade e semelhança durante a secagem em relação à triaxial, porém apresentou percentuais bastante inferiores após a queima em todas as composições, o que permite concluir que o material pesquisado apresentou maior estabilidade dimensional. Contudo, a estabilidade ainda encontra-se distante daquela exigida para uso em produtos com rigor dimensional, a exemplo dos revestimentos colocados lado a lado.

Quanto à análise estética, todos os corpos cerâmicos apresentaram coloração branca de maneira regular, mais alva que a triaxial, sem variação significativa quanto ao percentual de resíduos e quanto ao tempo, o que propõe que o material possa

ser utilizado para produtos que necessitem de coloração branca e com estabilidade de cor. Com relação aos problemas superficiais identificados, os resultados apresentaram concordância com aqueles apresentados pelas propriedades tecnológicas, ou seja, as composições com menores quantidades de resíduos - 30% e 35% - apresentam uma média menor de imperfeições, seguida da composição de 55%.

De maneira resumida, pode-se concluir que as misturas com os percentuais de 30%, 35% e 55% de resíduo de ossos bovinos apresentaram os melhores resultados quanto às análises funcionais e estéticas.

Esses resultados mostraram que, à medida em que mais resíduo foi acrescentado, menor passou a ser a qualidade do material, porém à partir da composição de 50% o material passou a apresentar uma elevação de sua qualidade. Isso poderia sugerir algum erro na análise de alguma propriedade durante o desenvolvimento da pesquisa, contudo todas as propriedades mostraram conformidade nos resultados. Portanto, para responder o motivo pelo qual isto ocorreu, seria necessário a análise química e da imagem do material para entendimento.

Quanto à utilização da cerâmica com ossos bovinos em processos de conformação, comprovou-se que há possibilidade de utilização do material no percentual de 30% de resíduos, tanto no processo de prensagem quanto na colagem de barbotina.

Assim, evidenciou-se que o material pode ser utilizado para a produção de produtos planos, como revestimentos de parede, porém com ressalvas para esta aplicação devido à retração linear ter sido superior a 1% nos corpos de prova, confeccionados pelo mesmo processo. Uma elevada retração linear gera instabilidade dimensional no produto, por isso, os revestimentos com este material devem ser aplicados de maneira artística, não linear e não uniforme.

Pelo processo de colagem de barbotina, concluiu-se que o material também pode ser utilizado para uso em produção de utilitários domésticos em formas de baixa complexidade.

Quanto à análise dos corpos de prova com adição de fino de rochas ornamentais, todas as composições apresentaram elevada absorção de água e porosidade, consistindo em corpos cerâmicos porosos, e densidade inferior, em relação aos resultados apresentados pela triaxial tradicional. Os gráficos mostraram uma linha descendente, ou seja, à medida em que se adicionou resíduos, pior passou a ser o desempenho do material.

Isto foi evidenciado também no ensaio de ruptura, que mostrou ser um material menos resistente à flexão, porém apresentou uma fratura menos frágil e mais dúctil nas primeiras composições, pois a fratura não se propagou ao longo de todo o eixo. Portanto, os melhores resultados foram alcançados pelas primeiras composições, de 30%, 35% e 40%, nesta ordem, até o pior resultado em 55%, que evidenciou ser um material extremamente frágil.

Para este material, contudo, também evidencia-se que é possível obter resultados melhores quanto à sua resistência por meio do acabamento superficial posterior já citado, como a vitrificação.

A perda ao fogo apresentou-se bastante superior em relação à triaxial, possivelmente devido à exposição dos resíduos às intempéries dentro das marmorarias e ao beneficiamento do resíduos, que não foi submetido à nenhum tratamento térmico capaz de eliminar matéria-orgânica contida. Porém, à medida em que mais resíduo foi acrescentado, menor foi a perda de material durante a queima, o que propõe que a elevação da perda também pode estar relacionada ao caulim, pois à medida em que se acrescentou resíduo, se diminuiu a quantidade de caulim contido na composição.

Quanto à retração linear, o material apresentou resultados muito positivos, pois houve estabilidade da retração após a secagem, e baixa retração após a queima, com percentuais bem menores que a triaxial. Por este motivo, o material pode ser utilizado para a fabricação de revestimentos, inclusive de aplicação linear, contudo somente para paredes.

Quanto à análise estética, o material apresentou grande irregularidade quanto à tonalidades. A maioria dos corpos cerâmicos apresentou coloração mais escura que a triaxial, em tons de caramelo - portanto indicado para produtos que não apresentam exigência de cor branca -, porém com grande variação quanto ao

percentual de resíduos e quanto ao tempo. Ou seja, corpos cerâmicos com maior quantidade de resíduos apresentaram uma coloração mais escura e tornaram-se ainda mais intensas ao longo do tempo. Com esta instabilidade de cor, torna-se inviável a previsão de coloração em um produto, a menos que o objetivo seja algo mais rústico ou que o produto não apresente a exigência de tonalidade específica, cabendo à vitrificação proporcionar uma cor ao material.

Com relação aos problemas superficiais identificados, os resultados apresentaram concordância com aqueles apresentados pelas propriedades tecnológicas, ou seja, houve uma linha ascendente de problemas identificados à medida em que mais resíduo foi acrescentado. Isto significa que a composição de 30% de fino de rochas ornamentais apresentou menor quantidade de imperfeições, enquanto que a de 55% apresentou uma elevada quantidade.

Em resumo, concluiu-se que as misturas com os percentuais de 30%, 35% e 40% de resíduos apresentaram os melhores resultados quanto às análises funcionais e estéticas, nesta ordem.

Quanto à utilização da cerâmica branca com fino de rochas ornamentais em processos de conformação, comprovou-se que há possibilidade de utilização do material no percentual de 30%, tanto no processo de prensagem quanto na colagem de barbotina, com poucos problemas superficiais identificados.

Isto leva à conclusão de que o material pode ser utilizado para a produção de produtos planos, como revestimentos de parede. Inclusive, um diferencial deste material consiste na possibilidade de aplicação de maneira regular, linear, lado a lado, uma vez que os percentuais de retração linear após queima dos corpos de prova foram inferiores a 1%, confeccionados também pelo processo de prensagem.

Os produtos conformados por colagem de barbotina também apresentaram estabilidade de forma, o que é possível concluir que é possível o seu processamento na elaboração de produtos utilitários domésticos.

Quanto aos dois resíduos utilizados, todos os corpos de prova necessitaram de uma maior quantidade de água para a conformação por prensagem em relação à cerâmica triaxial. Foi possível a conformação dos corpos somente após a correção para 18% de água. Isto pode ter influenciado diretamente no desempenho inferior

apresentado pelos dois materiais quanto à absorção de água, porosidade e à densidade, em relação à triaxial.

Uma alternativa de correção poderia ter sido proposta no estudo, como a inserção de um ligante tipo Pval (Álcool Polivinílico) à mistura, para aumentar a plasticidade e viscosidade do material, diminuindo a necessidade de adição de água. Porém o ligante seria uma nova matéria-prima acrescentada, então não foi realizada neste estudo para não interferir nos componentes propostos tradicionalmente pelas cerâmicas triaxiais.

Ainda que a pesquisa demonstre que os melhores resultados obtidos na análise das propriedades tecnológicas foram provenientes das cerâmicas com os menores percentuais de resíduos propostos nesta pesquisa, a substituição do mínimo de 30% de matéria-prima por sobras de outros processos produtivos já representam ganhos à indústria.

Ao substituir, o material apresentou diferenciação nas características funcionais e estéticas para os produtos desenvolvidos com a cerâmica branca beneficiada. Portanto, conclui-se que a utilização de ossos bovinos e fino de rochas ornamentais é indicada para o desenvolvimento de produtos cerâmicos, tanto para o processamento por prensagem quanto pela colagem de barbotina.

## **5.2 Sugestões de estudos posteriores**

Esta pesquisa propôs a realização de uma pesquisa experimental que identificou as características dos materiais confeccionados com os resíduos escolhidos, porém observou-se que há pouca literatura disponível ainda necessita explicar algumas questões. Assim, acredita-se ser interessante que os seguintes assuntos sejam abordados futuramente:

- Identificar e analisar as causas da inexistência de um nicho produtor da porcelana de ossos, limitado até então somente às pesquisas acadêmicas realizadas em laboratórios.
- Pesquisar quais são as causas da cor obtida na cerâmica produzida com fino de ossos ornamentais e a intensificação de sua cor ao longo do tempo.
- Realizar análises químicas e de imagem dos dois materiais, aprofundando o conhecimento de suas características.

- Analisar o resultado das propriedades tecnológicas nas cerâmicas com os dois resíduos, confeccionados com a utilização do ligante tipo Pval (Álcool Polivinílico) em uma quantidade de água de até 15%.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 10004: **Associação Brasileira de Normas Técnicas** – Classificação de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. NBR 13817: **Associação Brasileira de Normas Técnicas** – Placas cerâmicas para revestimento - classificação, Rio de Janeiro, 1997.

ABNT. NBR 13818: **Associação Brasileira de Normas Técnicas** – Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 1997.

ABNT. NBR 15012: **Associação Brasileira de Normas Técnicas** – Rochas para revestimentos de edificações - terminologia, Rio de Janeiro, 2013.

ASHBY, M. F.; SCHERCLIFF, H.; CEBON, D. **Materiais**: engenharia, ciência, processamento e projeto. Tradução: Arlete Smille Marques. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ALATRISTA, Gerardo Augusto Vera. **Preparação e estabilização de uma suspensão cerâmica de porcelana de ossos**. 2008. 88 f. Tese (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ASKLAND, Donald R; WRIGHT, W. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Ed. Cengage Learning, 2014.

ASTM C373-88: Standart Test Method for Water Absortion, Bulk Density, Apparent Porosity and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, 2006.

ASTM C674-77: American Society for Testing and Materials – Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials, 1977.

BABISK, M. P.; VIDAL, F. W. H; RIBEIRO, W. S.; AGUIAR, M. C.; GADIOLI, M. C. B.; VIEIRA, C. M. F. Incorporação de resíduo de quartzitos em cerâmica vermelha. **Revista Holos**. Rio Grande do Norte, Ano 28, Vol 6, p. 169-177, 2012.

BALLVÉ, M. P.; BRAGANÇA, S. R. Novos fundentes para a produção da porcelana de ossos. **Revista Cerâmica**. São Paulo, Vol. 56, Nº 337, p. 57-65, Jan/ Março, 2010.

BEREZOWSKI, L. R.; MOURA NETO, C.; de MELO, F, C, L. **Avaliação da resistência mecânica de cerâmicas à base de carbetto de silício**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos – SP, [s.d].

BRAGANÇA, S. R.; BERGMANN, C. P. Produção de porcelana de ossos e caracterização de suas propriedades técnicas. **Revista Cerâmica**. São Paulo, Vol. 52, Nº 322, p. 205-212, Abril/ Junho, 2006.

BRASIL. Constituição de 1988. **BRASIL**. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.

BUSTAMANTE, Gladstone Mott; BRESSIANI, José Carlos. A indústria cerâmica Brasileira. **Revista Cerâmica Industrial**. São Paulo, Vol. 5, N.º 3, Maio/ Junho, 2000.

DANTAS, A. P. A; ACCHAR, W; LEITE, J. Y. P.; ARAÚJO, F. S. D. Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica branca. **Revista Holos**. Rio Grande do Norte, Ano 26, Vol. 1, 2010.

de PÁDUA, Elisabete Matallo Marchesini; MATALLO JÚNIOR, Heitor (orgs). **Ciências sociais, complexidade e meio ambiente: Interfaces e desafios**. Campinas: Papirus, 2008. 80p.

ENTENDA a política dos resíduos sólidos. **Eco – Associação O Eco**, 2014. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28492-entenda-a-politica-nacional-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

FERREIRA, Ricardo Artur Sanguinetti. **Conformação plástica: fundamentos metalúrgicos e mecânicos**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2006.

FRANGELLA, L.M.N; CASTRO, N. F. **Aproveitamento de rejeitos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais**. XXIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Fortaleza: CETEM/ MCT, 2009.

FRASCÁ, Maria Heloisa Barros de Oliveira. **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso**. São Paulo, 2003. Disponível em: <<[http://www.fiec.org.br/sindicatos/simagran/artigos\\_palestras/Curso\\_Caracterizacao\\_TecndeRochas.htm](http://www.fiec.org.br/sindicatos/simagran/artigos_palestras/Curso_Caracterizacao_TecndeRochas.htm)>>. Visto em 09 jul 2014.

GOUVÊA, D. et al. **Efeito da temperatura de calcinação nas propriedades de ossos bovinos para a fabricação de porcelana de ossos**. São Paulo, 2007. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ce/v53n328/a1453328.pdf>>. Acesso em: 13 nov 2013.

GÜETO, Juan Morales. **Tecnología de los Materiales Cerámicos**. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2005.

IBGE, BRASIL. **Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária Setembro de 2013**. 2013. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos\\_201302\\_publica\\_completa.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201302_publica_completa.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2014.

Inmetro, BRASIL. **Revestimentos cerâmicos (pisos e azulejos)**. 1998. Disponível em < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp>>. Acesso em: 12 fev. 2015.

JUNG, M.; CAMISA, I. S.; ALBANAZ, I.; PEREIRA, S. L. S.; CARGNIN, M. Comparativo entre diferentes métodos de determinação da retração linear de placas cerâmicas. **Revista Técnico Científica (IFSC)**. Santa Catarina, Vol.3, Nº. 1, p. 242-251, 2012. Disponível em < <https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/viewFile/623/442>>. Acesso em: 16 fev. 2015.

LIMA, Josué da Silva. **Manual de normalização**: Apresentação de manuais científicos. Belém: FATEBE, 2015. Disponível em < <http://www.fatebe.edu.br/wp-content/uploads/2014/11/Normas-ABNT-2015.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2015.

LOPES, D. C. **Estudo da viabilidade de adição de resíduo de pó de fumo à massa cerâmica**. 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

MAYAHARA, R. Y.; GOUVEIA, D.; TOFFOLI, S. M. Obtenção e caracterização de cinza de ossos bovinos visando à fabricação de porcelana de ossos – bone china. **Revista Cerâmica**. São Paulo, Vol. 53, Nº. 327, p. 234-239, Setembro, 2007. Disponível em: << <http://www.scielo.br/pdf/ce/v53n327/a0453327.pdf>>>. Acesso em 24 Fev 2015.

MALLALIEU, Huon. **História ilustrada das antiguidades**. São Paulo: Nobel, 1999.

MEDEIROS, Alexandre. **Santos Dumont e a Física do cotidiano**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MELLO, I.S.C.; MOTTA, J.F.M.; BEZERRA, M.S.; NESI, J.R.; LORETI JUNIOR, R. **Atlas de matérias-primas minerais cerâmicas do nordeste brasileiro**. São Paulo: CPRM, 2011.

MENDES FILHO, Antônio Alves. **Síntese e caracterização de hidroxiapatita e compósitos à partir de matéria-prima reciclada**. 2006. 181 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

MOREIRA, P.B.W.; SILVA, J.W.; RODRIGUES, J.R.P.; SANTOS, A.O.; SANTOS, D.M.; CARACAS, L.B.; SILVA, A.C. **Caracterização das propriedades físico-químicas das argilas utilizadas em indústrias de cerâmica vermelha na Baixada Maranhense**. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 31 de julho a 3 de agosto. São Luís, 2012.

MOTTA, José Francisco Marciano; ZANARDO, Antenor; CABRAL JUNIOR, Marsis. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos. **Revista Cerâmica Industrial**. São Paulo, Vol. 6, Nº 2, Março/Abril,

p. 28-39, 2001. Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Disponível em: <<<http://www.upe.poli.br/~cardim/MATERIAIS%20/As%20Materiaas%20Primas%200Ceramicas%20I.pdf>>>. Acesso em 23 jul 2014.

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem coisas**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NORTON, Frederick Harwood. **Introdução à tecnologia cerâmica**. Tradução: Jefferson Vieira de Souza. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

OLIVEIRA, A. P. N. Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**. São Paulo, Vol. 5, Nº 6, Nov/ Dez, p. 37-47, 2000. Disponível em: << [http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n06/v5n6\\_6.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n06/v5n6_6.pdf)>>. Acesso em 16 fev 2015.

ORTIGOZA, S.A.G.; CORTEZ, A.T.C. **Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

OSKAMP, S. A sustainable future for humanity? How can psychology help? **American Psychologist**. USA, Vol. 55, Nº 5, p. 496-508, 2000.

PINHEIRO, Bruno Carlos Alves. **Processamento caracterização de massas cerâmicas incorporadas com o resíduo borra de petróleo encapsulada para a fabricação de grês porcelanato**. 2009. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2009.

PRADO, ARTIDÔNIO DANTAS. **Efeito da incorporação de resíduo industrial (chamote, mármore e granito) para produção de revestimento cerâmico**. 2014. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Instituto Federal do Maranhão, São Luís, 2014.

RÊGO, Vilson Ribamar. **Avaliação da conformidade de blocos cerâmicos para alvenaria de vedação produzidas na Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina**. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

RIGO, E. C. S.; GEHRKE, S. A.; CARBONARI, M. Síntese e caracterização de hidroxiapatita obtida pelo método de precipitação. **Revista Dental Press de Periodontia e Implantologia**. Maringá, Vol. 1, Nº 3, p. 39-50, Jul/ Set, 2007.

SANTOS, Pêrsio de Sousa. **Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras**. São Paulo: Edgard Blücher, 1975.

SHACKELFORD, James F.; DOREMUS, Robert H. **Ceramic and Glass Materials: structure, properties and processing**. Estados Unidos: 2010, p. 120.

SHACKELFORD, James F. **Introdução à Ciência dos Materiais para Engenheiros**. Tradução: Daniel Vieira. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

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

SMITH, William F.; HASHEMI, Javad. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais**. São Paulo: AMGH Editora Ltda., 2012.

SOUSA, José Gonçalves de. **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação em Cachoeiro de Itapemirim – ES**. 2007. 30 f. Trabalho de conclusão de curso de Especialização (Especialização em Análise Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.

SOUZA, A.K.B; AQUINO, E.F; SANTOS, P.G.; DANTAS, M.A.; FELIPE, R.N.B. **Análise da Influência da absorção da umidade na resistência à flexão de piso cerâmico**. I CONNEPI, Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Natal, 2006. Disponível em: <[http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20090505\\_091000\\_IND%20064.pdf](http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20090505_091000_IND%20064.pdf)>. Acesso em: 11 fev. 2015.

SOUZA, V.C; SOUZA, J.C.; ROLIM FILHO, J.L. **Diagnóstico do setor de rochas ornamentais e de revestimentos do Estado de Pernambuco**. *Estudos geológicos*, Pernambuco, volume 8, 2008.

TEIXEIRA, Anthony Francis Nunes; MELO, Larize Bezerra de; OLIVEIRA, Narla Sathler Musse de. **Rochas ornamentais: o desenvolvimento econômico e suas relações com a sociedade brasileira e norte-riograndense**. VII CONNEPI, Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas, 2012. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/4104/1466>>. Acesso em: 09 jul. 2014.

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1970.

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2012.

VIEIRA, C. M. F.; FEITOSA, H. S.; MONTEIRO, S. N. Avaliação da secagem de cerâmica vermelha através da Curva de Bigot. **Revista Cerâmica Industrial**. São Paulo, Vol. 8, Nº 1, Jan/ Fev, 2003.

VIEIRA, C. M. F.; SOARES, T. M.; MONTEIRO, S. N. Utilização de granito em massa cerâmica para telhas. **Revista Cerâmica Industrial**. São Paulo, Vol. 9, Nº 1, Jan/ Fev, 2004.

WEISZFLOG, Walter. **Michaelis Dicionário da Língua Portuguesa**. Edição 1. [s.l.]: Editora Melhoramentos, 2002.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Modelos de fichas para dimensões e pesagens dos corpos de prova

### FICHA DE TESTE COM CORPO DE PROVA

Data:     /     /                                    Nº: \_\_\_\_\_  
 Resíduo: ( ) Ossos ( ) Rochas ornamentais  
 Argila: ( ) Rosário ( ) Baixada  
 Temperatura para secagem:     Tempo:  
 Temperatura para queima:     Tempo:

Material	Porcentagem
Resíduo	
Caulim	
Argila plástica	
Quartzo	
Feldspato	
Água	

MEDIDAS	Comprimento	Largura	Espessura	Massa
Após conformação				
Após secagem				
Após queima				

Corpo de prova		Mq	M.U.	M.I.
30% de resíduo	OB30/1			
	OB30/2			
	OB30/3			
35% de resíduo	OB35/1			
	OB35/2			
	OB35/3			
40% de resíduo	OB40/1			
	OB40/2			
	OB40/3			
45% de resíduo	OB45/1			
	OB45/2			
	OB45/3			
50% de resíduo	OB50/1			
	OB50/2			
	OB50/3			
55% de resíduo	OB55/1			
	OB55/2			
	OB55/3			

## **ANEXOS**

## ANEXO A – Imagens dos corpos de prova durante o processo produtivo



Figura 51: Corpos de prova de cerâmica branca triaxial: a) Após conformação; b) Após secagem; c) Após sinterização. Fonte: Arquivo pessoal.

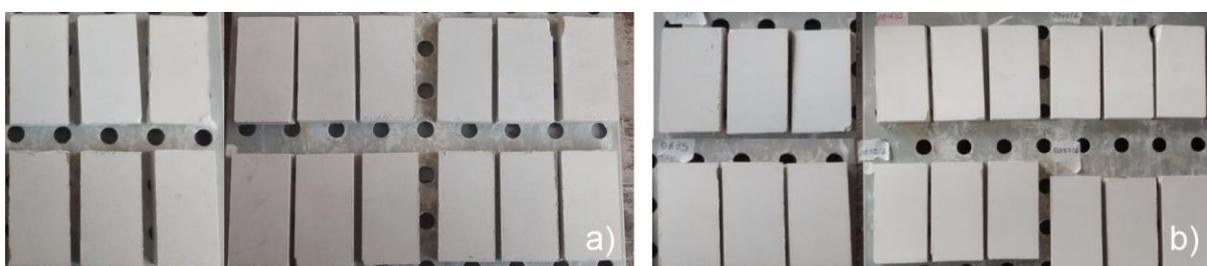


Figura 52: Corpos de prova de cerâmica branca com ossos bovinos: a) Após conformação; b) Após secagem. Fonte: Arquivo pessoal.

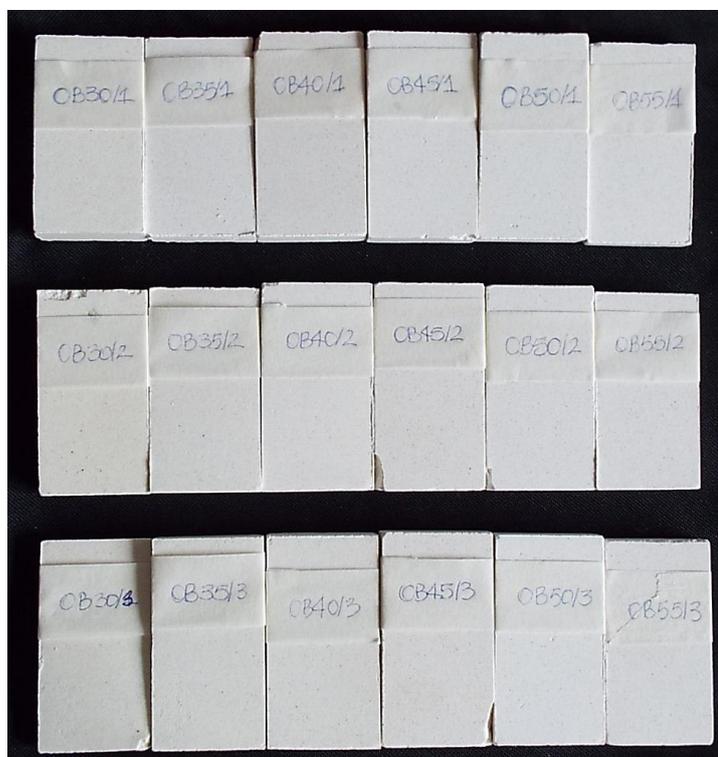


Figura 53: Corpos de prova de cerâmica branca com ossos após sinterização. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 54: Corpos de prova de cerâmica branca com adição de fino de rochas ornamentais após conformação. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 55: Corpos de prova de cerâmica branca com adição de fino de rochas após secagem. Fonte: Arquivo pessoal.

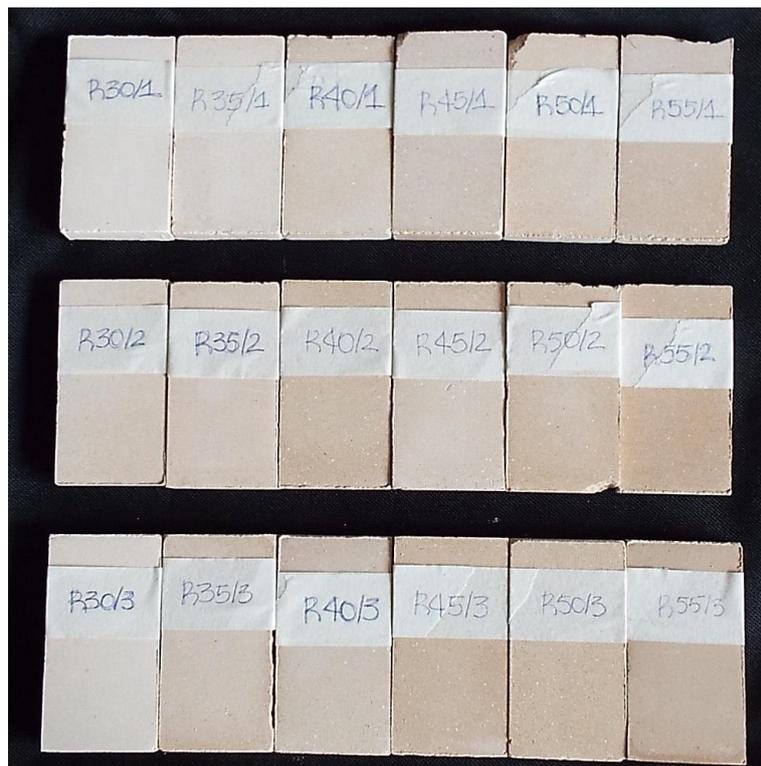


Figura 56: Corpos de prova de cerâmica branca com fino de rochas ornamentais após sinterização. Fonte: Arquivo pessoal.

