



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

Estudo da adição de resíduo de scheelita em matriz cerâmica: formulação, propriedades físicas e microestrutura

Tércio Graciano Machado

Orientador: Prof. Dr. Uílame Umbelino Gomes

Natal
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E

ENGENHARIA DE MATERIAIS

**Estudo da adição de resíduo de scheelita em
matriz cerâmica: formulação, propriedades
físicas e microestrutura**

Tércio Graciano Machado

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais.

Natal
2012

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / SISBI / Biblioteca Setorial
Centro de Ciências Exatas e da Terra – CCET.

Machado, Tércio Graciano.

Estudo da adição de resíduo de scheelita em matriz cerâmica: formulação, propriedades físicas e microestrutura / Tércio Graciano Machado. - Natal, 2012.
143 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Uilame Umbelino Gomes.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação de Ciências e Engenharia de Materiais.

1. Scheelita – Tese. 2. Resíduo de scheelita – Tese. 3. Cerâmica vermelha – Tese. 4. Argilas – Tese. 5. Propriedades Tecnológicas – Tese. I. Gomes, Uilame Umbelino. II. Título.

RN/UF/BSE-CCET

CDU: 549.761.53

Tércio Graciano Machado

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais.

Aprovada em ____ de _____ de 2012.

Banca examinadora

Profº.: _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe, Maria Graciano da Luz – in memoriam, pelo exemplo de vida e amor eterno.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por suas bênçãos em minha vida.

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte, através do PPGCEM, pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação em nível de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro.

Ao Professor Dr. Uílame Umbelino Gomes pela orientação e por estar presente em toda a minha vida profissional.

Ao Professor Dr. Carlos Alberto Paskocimas, pelo aprendizado do dia-a-dia, ajuda no desenvolvimento e aprimoramento das minhas pesquisas.

Ao Professor Dr. Rubens Maribondo Nascimento, pela paciência e colaboração na minha formação.

A Professora Dr^a. Dulce Maria de Araujo Melo, pelo carinho e atenção que me dedicou quando das necessidades de discussão de análises.

Ao amigo Professor Dr. Gilson Garcia da Silva pela amizade, incentivo e apoio no meu aprimoramento acadêmico a quem devo grande respeito e especial gratidão.

A amiga e ex-aluna Samara Melo Valcacer pela amizade, dedicação e colaboração no desenvolvimento desse trabalho de pesquisa.

A amiga e ex-aluna Narayanna Marques pela colaboração no desenvolvimento deste trabalho e de tantos outros.

Ao amigo e ex-aluno Flánelson M. Monteiro pela colaboração, mesmo chegando sempre atrasado.

Ao eterno amigo Thiago O. Brito pelo carinho, atenção, paciência e colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os amigos que direta ou indiretamente colaboraram com todas as pesquisas desenvolvidas no meu período de doutorado que, com certeza, contribuíram na minha formação geral.

“A causa da derrota não se encontra no obstáculo ou no rigor das circunstâncias; está no retrocesso na determinação e na desistência da própria pessoa.” *Daisaku Ikeda*

RESUMO

MACHADO, T. G. **Estudo da adição de resíduo de scheelita em matriz cerâmica: formulação, propriedades físicas e microestrutura.** 143 f. 2012. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação de Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2012.

O extrativismo mineral é considerado uma atividade altamente degradante, devido ao grande volume de material que ele movimenta em forma de minério e resíduo. A grande maioria das empresas mineradoras não apresenta nenhuma tecnologia ou aplicação economicamente viável que permitam a reciclagem do resíduo mineral, sendo estes lançados em áreas de recebimento localizadas a “céu aberto”, degradando o meio ambiente. No Rio Grande do Norte a produção de cerâmica vermelha restringe suas atividades à produção de produtos como: tijolos maciços, blocos cerâmicos, telhas, dentre outros. Buscando unir experiências e informações técnicas que favoreçam o desenvolvimento sustentável, com importantes benefícios ao setor da Construção Civil e à sociedade em geral, o presente trabalho estuda a incorporação do resíduo de scheelita em matriz cerâmica caulinítica, proveniente do município de Boa Saúde – RN, em percentuais de 5%, 10%, 20%, 30% 40% e 50%, avaliando sua microestrutura, propriedades físicas e formulação. As matérias-primas foram caracterizadas através dos ensaios de Fluorescência de raios X, Difração de raios X, Análise Térmica Diferencial e Análise Termogravimétrica. Os corpos de prova foram conformados e queimados nas temperaturas de 850°, 900°, 1000°, 1050°, 1100°, 1150° e 1200 °C, com isoterma de 1 hora e taxa de aquecimento de 10 °C/min. Foram realizados os ensaios tecnológicos de Perda ao Fogo, Absorção de Água, Porosidade Aparente, Massa Específica Aparente e Tensão de Ruptura à Flexão; além da Microscopia Eletrônica de Varredura, analisando-se suas propriedades físicas e mecânicas. A utilização de resíduo de scheelita em massa cerâmica caulinítica propiciou um produto final com propriedades tecnológicas que atendem as normas técnicas para produção de blocos e telhas cerâmicas, sendo que o percentual de 20% de resíduo apresentou os melhores resultados.

Palavras-chave: Scheelita, Resíduo de Scheelita, Cerâmica Vermelha, Argilas, Propriedades Tecnológicas.

ABSTRACT

MACHADO, T. G. . 2011. **Study of the addition of residue of scheelite in ceramic matrix: formulation, physical properties and microstructure.** 143 f. Doctoral Thesis – Post-Graduation in Science and Engineering of Materials Program, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2012.

Extractivism mineral is considered an activity highly degrading, due to the large volume of material that he moves in the form of ore and residues. The vast majority of mining companies do not show any technology or economically viable application that will allow the recycling of mineral residue, these being launched in areas receiving located the "open skies" degrade the environment. In Rio Grande do Norte to the production of ceramic red restricts their activities to the production of products such as: solid bricks, ceramic blocks, tiles, among others. Seeking to unite experiences and technical information that favor sustainable development, with important benefits to the construction sector and civil society in general, the present work studies the incorporation of the residue of scheelite in ceramic matrix kaolinitic, coming from the municipality of Boa Saúde - RN, in percentage of 5 %, 10 %, 20 %, 30% 40% and 50 %, by evaluating its microstructure, physical properties and formulation. The raw materials were characterized through the trials of X ray fluorescence, Diffraction of X rays, Differential Thermal Analysis and Termogravimetric Analysis. The samples were formed and fired at temperatures of 850°, 900°, 1000°, 1050°, 1100°, 1150° and 1200 °C, with isotherm of 1 hour and heating rate of 10 °C/min. Assays were performed technological of loss to fire, Water Absorption, Apparent Porosity, Apparent Density, Mass Loss in Fire and Bending Resistance; in addition to the Scanning Electron Microscopy, analyzing their physical and mechanical properties. The use of residue of scheelite in ceramic mass kaolinitic provided a final product with technological properties that meet the technical standards for the production of bricks and roofing tiles, with the percentage of 20% of waste that showed the best results.

Keywords: Scheelite, Scheelite Residue, Red Ceramics, Clays, Technological Properties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fluxograma 1: O Enfoque Linear Humano.	15
Fluxograma 2: Modelo de Desenvolvimento Sustentável Humano.	15
Figura 1: Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação.	25
Figura 2: Tipos de blocos, tijolos e canaletas cerâmicas.	26
Figura 3: Tipos de telhas cerâmicas.	26
Figura 4: Zonas de Produção de Cerâmica Vermelha do RN.	29
Figura 5: Fluxograma do processo de fabricação de cerâmica vermelha.	30
Figura 6: Evolução da produção de peças cerâmicas e consumo de argilas comuns.	32
Figura 7: Cristais de Scheelita em rocha.	34
Figura 8: Reservas Mundiais de Minério de Tungstênio Contido – 1995 a 2007.	36
Figura 9: Reserva e produção mundial de tungstênio – 2009 e 2010.	38
Figura 10: Principais estatísticas, Brasil. Ano 2008, 2009 e 2010.	39
Figura 11: Gráfico do consumo setorial nacional de tungstênio (ano base 2007).	39
Figura 12: Fluxograma de beneficiamento da mina Brejuí.	41
Figura 13: a) Acesso à Mina Brejuí; b) Sede da Mineração – atual museu MTS.	41
Figura 14: a) Entrada do túnel em exploração; b) Interior do túnel.	42
Figura 15: Grelha onde é lançado o minério ao ser retirado da mina.	42
Figura 16: Pilhas de resíduo fino de scheelita.	43
Figura 17: Resíduo rochoso.	44
Figura 18: Fluxograma para a produção dos produtos cerâmicos com resíduo de scheelita.	46
Figura 19: Matérias-primas: Argila Caulinítica – Boa Saúde/RN.	47
Figura 20: Matérias-primas: Resíduo de Scheelita-Mina Brejuí: a) Resíduo rochoso; b) Resíduo fino.	48
Figura 21: Granulometria da Argila de Boa Saúde-RN.	59
Figura 22: Granulometria do Resíduo de Scheelita.	59
Figura 23: Difratoograma da Argila de Boa Saúde-RN.	61
Figura 24: Difratoograma do Resíduo de Scheelita.	62
Figura 25: DTA da argila de Boa Saúde-RN.	63
Figura 26: DTA do resíduo de scheelita.	64
Figura 27: TGA da argila de Boa Saúde-RN.	65
Figura 28: TGA do resíduo de scheelita.	66
Figura 29: Gráfico de Perda ao Fogo da argila e das formulações.	67
Figura 30: Gráfico de Retração Linear da Argila e das Formulações.	69
Figura 31: Gráfico de Absorção de Água dos corpos de prova (argila e formulações) após a queima.	71
Figura 32: Gráfico da Porosidade Aparente da Argila e das Formulações.	73
Figura 33: Gráfico da Massa Específica Aparente da Argila e das Formulações.	75
Figura 34: Gráfico de Resistência à Flexão da Argila e das Formulações.	77
Figura 35: Foto dos corpos de prova com 100% de argila caulinítica (Boa Saúde-RN).	78
Figura 36: Foto dos corpos de prova Série Bb.	79
Figura 37: Foto dos corpos de prova Série Bc.	79
Figura 38: Foto dos corpos de prova Série Bd.	79
Figura 39: Foto dos corpos de prova Série Be.	80
Figura 40: Foto dos corpos de prova Série Bf.	80
Figura 41: Foto dos corpos de prova Série Bg.	81

Figura 42: Foto de Corpo de prova da Série Bf fundido, sinterizado a 1150°C.....	81
Figura 43: Foto do corpo de prova da Série Bg fundido, sinterizado a 1200°C.....	81
Figura 44: Difratoograma da Série Bd: Bd12; queimada a 850°C.....	82
Figura 45: Difratoograma da Série Bd: Bd 23, queimada 900°C.....	83
Figura 46: Difratoograma da Série Bd: Bd32, queimada a 1000°C.....	83
Figura 47: Difratoograma da Série Bd: Bd 42, queimada a 1050°C.....	84
Figura 48: Difratoograma da Série Bd: Bd52, queimada a 1100°C.....	84
Figura 49: Difratoograma da Série Bd: Bd 63, queimada a 1150oC.....	85
Figura 50: Difratoograma da Série Bd, amostra Bd 73, sinterizada a 1200°C.....	85
Figura 51: Micrografia do corpo de prova B12, queimado a 850°C com isoterma de 1 hora, aumento de 400x.....	86
Figura 52: Micrografia do corpo de prova Bd12 – Série Bd, queimado a 850°C, durante 1 hora, com aumento de: a) 500x;b) 2000x, c) 5000x e d) 10000x.....	87
Figura 53: Micrografia do corpo de prova Bd22 – Série Bd, sinterizado a 900°C, durante 1 hora, com aumento de: a) 500x; b) 2000x, c) 5000x e d) 10000x.....	88
Figura 54: Micrografia do corpo de prova Bd32 – Série Bd, queimado a 1000°C, durante 1 hora, com aumento de: a) 500x e b) 2000x.....	88
Figura 55: Micrografia do corpo de prova Bd42 – Série Bd, queimado a 1050°C, durante 1 hora, com aumento de: a) 500x e b) 2000x.....	89
Figura 56: Micrografia do corpo de prova Bd52 – Série Bd, queimado a 1100°C, isoterma de 1 hora, com aumento de: a) 500x e b) 2000x.....	89
Figura 57: Micrografia do corpo de prova Bd63 – Série Bd, queimado a 1150°C, durante 1 hora, com aumento de: a) 500x e b) 2000x.....	90
Figura 58: Micrografia do corpo de prova Bd72 – Série Bd, queimada a 1200°C, com aumento de: a) 400x; b) 2000x.....	91

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Dados da produção de produtos de cerâmica vermelha.	24
Quadro 2: Minerais de tungstênio.	35
Quadro 3: Composição das formulações.	48
Quadro 4: Distribuição dos corpos de prova por queima.	50
Quadro 5: Limites de Atterberg das matérias-primas.	58
Quadro 6: Análise semi-quantitativa da argila de Boa Saúde/RN – FRX.	60
Quadro 7: Análise semi-quantitativa do resíduo de scheelita (Mina Brejuí/RN) – FRX.	60
Tabela 1: Absorção de Água e Resistência Mecânica do Produto Cerâmico Estrutural, conforme ABNT.	24
Tabela 2: Perda de Massa ao Fogo da Argila utilizada e das Formulações Após a Queima.	67
Tabela 3: Ensaio de Retração Linear da Argila e das Formulações Após a Queima.	69
Tabela 4: Ensaio de Absorção de Água da Argila e das Formulações após a queima.	71
Tabela 5: Ensaio de Porosidade Aparente da Argila e das Formulações.	73
Tabela 6: Massa específica Aparente da Argila e das Formulações.	75
Tabela 7: Ensaio de resistência à Flexão da Argila e das Formulações Após a Queima.	77

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA – Absorção de Água
ABC – Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AG – Análise Granulométrica
AP – Análise de Plasticidade
DRX – Difração de raios X
DTA – Análise Térmica Diferencial
EDS – Microanálise Química por Energia Dispersiva
FRX – Fluorescência de raios X
IP – Índice de Plasticidade
LL – Limite de Liquidez
LP – Limite de Plasticidade
MEA – Massa Específica Aparente
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR – Norma Brasileira Registrada
PA – Porosidade Aparente
PF – Perda ao Fogo
PIB – Produto Interno Bruto
RL – Retração Linear
TGA – Análise Termogravimétrica

SUMÁRIO

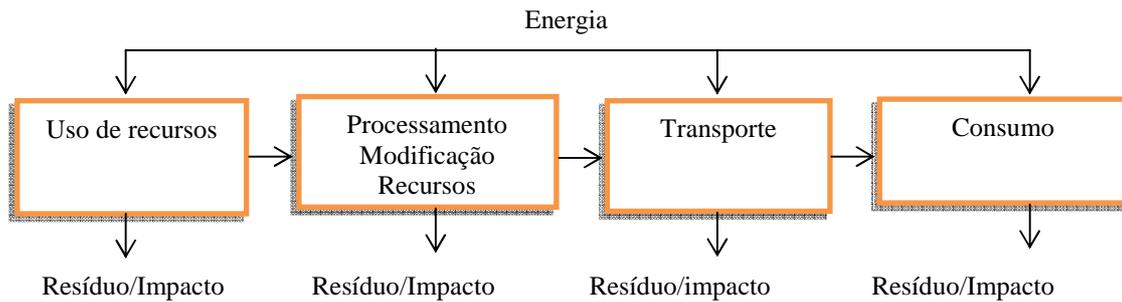
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 - Argilas	18
2.1.1 – Definições e Aspectos Gerais	18
2.1.2 – Classificação	20
2.1.3 – Propriedades das Argilas	22
2.1.4 – Propriedades Tecnológicas para Produtos Cerâmicos Estruturais	23
2.1.5 – Aplicações das argilas na Cerâmica Vermelha ou Estrutural.....	24
2.1.6 – Processo de Fabricação de Cerâmica	29
2.1.7 – Evolução da Produção e Consumo de Argila	31
2.1.8 – Aspectos Ambientais da Exploração de Argilas	32
2.2 Scheelita	33
2.2.1 Propriedades Físicas	35
2.2.2 Produção Mundial e Brasileira de Concentrado de Tungstênio	35
2.2.3 Importação, Exportação e Consumo Interno de Tungstênio	38
2.2.4 Mina Brejuí.....	39
2.2.5 Utilização de Resíduos Minerai s na Indústria Cerâmica.....	44
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1 Matérias-primas	47
3.2 Procedimento Experimental das Formulações	48
3.2.1 Destorroamento e Cominuição	49
3.2.2 Peneiramento	49
3.2.3 Mistura e Homogeneização.....	49
3.2.4 Conformação por Prensagem	49
3.2.5 Secagem.....	50
3.2.6 Queima	50
3.3 Caracterização das Matérias-primas	51
3.3.1 – Análise Granulométrica	51
3.3.2 – Análise de Plasticidade.....	51
3.3.3 – Análise Química por Fluorescência de Raios-X	52
3.3.4 – Análise Mineralógica por Difração de Raios-X – DRX.....	53
3.3.5 – Análise Termogravimétrica – TGA	53
3.3.6 – Análise Térmica Diferencial – DTA	54
3.3.7 – Ensaio s Tecnológicos	54
3.3.7.1 – Ensaio de Perda de Massa ao Fogo – PF	54
3.3.7.2 – Ensaio de Retração Linear – RL.....	55
3.3.7.3 – Ensaio de Absorção de Água – AA	55
3.3.7.4 – Ensaio de Porosidade Aparente – PA.....	56
3.3.7.5 – Massa Específica Aparente – MEA.....	56
3.3.7.6 – Tensão de Ruptura à Flexão – TRF	56
3.3.8 – Análise de Microscopia de Varredura – MEV	57

3.3.9 – Análise da Coloração dos Corpos de Prova Após a Queima.....	57
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4.1 Caracterização das Matérias-primas.....	58
4.1.1 – Avaliação da Plasticidade.....	58
4.1.2 – Análise Granulométrica.....	58
4.1.3 – Análise por Fluorescência de Raios-X.....	60
4.1.4 – Análise Mineralógica por Difração de Raios-X.....	61
4.1.5 – Análise Térmica.....	62
4.1.5.1 – Análise Térmica Diferencial – DTA.....	62
4.1.5.2 – Análise Termogravimétrica – TGA.....	64
4.2 Ensaio Tecnológico da Argila e das Formulações.....	66
4.2.1 – Perda de Massa ao Fogo.....	66
4.2.2 – Retração Linear da Argila e das Formulações.....	68
4.2.3 – Absorção de Água da Argila e das Formulações.....	70
4.2.4 – Porosidade Aparente da Argila e das Formulações.....	72
4.2.5 – Massa Específica Aparente dos Corpos de Prova Sinterizados.....	74
4.2.6 – Resistência à Flexão em Três pontos.....	76
4.3 Coloração dos Corpos de Prova Após a Sinterização: Fotografia via Scanner.....	78
4.4 Análise Mineralógica por Difração de Raios-X das formulações.....	82
4.5 Micrografias.....	86
CAPÍTULO 05 – CONCLUSÕES e SUGESTÕES.....	92
5.1 Conclusões:.....	92
5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros:.....	93
REFERÊNCIAS.....	94
ANEXOS.....	100

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o Brasil passou por várias fases exploratórias distintas na área de extração mineral. Todas ditadas pelo mercado mundial e pelas suas expectativas. A evolução foi drástica. Mudaram as commodities, a metodologia, a tecnologia, os enfoques, a estratégia e a eficiência. Independente dessa imensa evolução ainda é necessário o mais importante: o ser humano que irá digerir e transformar todos estes parâmetros em uma descoberta: o exploracionista. Ao longo de muitas décadas a extração mineral (Pedreiras, lavras e mineradoras), têm se firmado como uma atividade que, além de gerar empregos e ser fonte extra de renda para pequenos proprietários rurais, sobretudo nas localidades onde não há desenvolvimento ou perspectivas de melhoria social, também é uma atividade que causa enormes impactos ambientais, muitos destes irreversíveis.

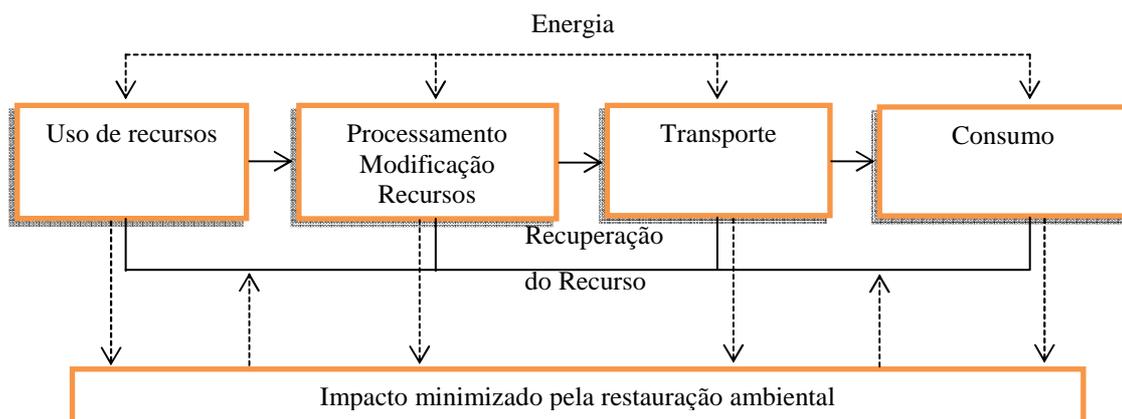
Os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais, como à abertura da cava (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobrepessão atmosférica, vibração do terreno, ultralancamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local. É evidente que não se tem como parar a exploração mineral, pois seus produtos são de grande valia para a sociedade. Todavia, é importante explorá-los com responsabilidade e sustentabilidade para evitar a degradação do meio ambiente ou, pelo menos, reduzir ao máximo seus impactos. Para tanto, faz-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias, com melhor aproveitamento dos recursos minerais, além de uma melhor conscientização do empreendedor; garantindo um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Segundo Braga *et al* (2005), o modelo atual de desenvolvimento segue o enfoque linear humano, conforme fluxograma 1. Nesse modelo o crescimento populacional contínuo observado é incompatível com um ambiente finito, em que os recursos e a capacidade de absorção e reciclagem de resíduos são limitados.



Fluxograma 1: O Enfoque Linear Humano.

Fonte: Adaptado de Braga *et al* (2005).

Evidentemente, o modelo com enfoque linear humano vem sendo revisto para que, com conhecimento científico e uma tomada de decisão coerente com a realidade ambiental atual, possa-se adotar a concepção de um novo modelo – Modelo de Desenvolvimento Sustentável; funcionando como um sistema fechado, conforme fluxograma 2. (BRAGA *et al*, 2005)



Fluxograma 2: Modelo de Desenvolvimento Sustentável Humano.

A questão da reciclagem dos rejeitos e a sua possível utilização, bem como a questão ambiental global como um todo passou a ser um fator decisivo de tomada de decisão. Por outro lado, a cerâmica, a nível mundial, teve forte desenvolvimento tecnológico nos últimos 30 anos, onde o avanço dos materiais especiais, da tecnologia de combustão, da decoração, dos esmaltes, e, em especial do conhecimento da ciência dos materiais permitiu, através da combinação desses diferentes conhecimentos, o forte desenvolvimento da tecnologia e, conseqüentemente, o incremento da produção dos materiais cerâmicos,

Introdução

oferecendo ao mercado produtos com melhores características, produzidos por uma tecnologia limpa.

A Indústria Brasileira ocupa uma posição de destaque no mercado econômico do país. De acordo com a ABC (Associação Brasileira de Cerâmica), a atividade tem uma participação de 1,0% no PIB – Produto Interno Bruto. Atualmente, o Brasil possui um parque industrial distribuído em todas as regiões, concentrada principalmente no Sul e Sudeste do país; tendo produtos de alta qualidade e preços competitivos mundialmente.

A indústria cerâmica do Rio Grande do Norte produz basicamente tijolos, telhas e lajotas de cor vermelha. A sua produção é a de uma indústria de base, contribuindo para o desenvolvimento da economia local. Atualmente, são 160 empresas que produzem cerca de 90 milhões de peças por mês. O consumo de argila mensal é de 174 mil toneladas e o de lenha é de 106,5 mil metros cúbicos por mês. Essa atividade utiliza processos de fabricação tradicionais, tendo a queima da lenha como principal fonte de calor. Um problema do uso desse processo é a questão do desmatamento agravado com o não reflorestamento de áreas utilizadas, o que contribui para a desertificação de algumas regiões do nosso Estado.

Segundo o mapa geológico mais recente do Rio Grande do Norte (ANGELIM et al, 2006), há 2 mil pontos analisados que produziram ou produzem algum tipo de mineral. O Rio Grande do Norte é o 4º produtor nacional de recursos minerais do Brasil. Aqui, entre outras coisas, tem ferro, ouro, tantalita, diatomita, petróleo, gás natural, calcário, feldspato, sal marinho, quartzo, caulim, rochas ornamentais, água mineral, pedras preciosas, além da scheelita, fonte do tungstênio. O RN vem sendo alvo da avaliação de mineradoras do mundo todo, principalmente o nicho de alguns minérios de grande valor de mercado, como a scheelita. A primeira mina desse mineral foi descoberta em 1942 – a Quixaba, em Santa Luzia, na Paraíba. Depois vieram as minas Quixeré, em São João do Sabugi e Malhada dos Angicos, em Santana do Seridó. Em 1943 foram descobertas as minas Brejuí, Barra Verde e Malhada Limpa, em Currais Novos, RN. A produção cresceu rapidamente neste ano, pois já eram conhecidas cerca de 60 minas e garimpos de scheelita em produção, distribuídas entre os Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba. Atualmente o RN produz 40 toneladas de scheelita por mês, uma produção insignificante, visto que o Rio Grande do Norte tem a maior reserva do Brasil desse produto. Segundo o presidente do Fórum Empresarial do RN, Manoel Montenegro Filho, duas grandes empresas são responsáveis por 90% dessa exploração e o restante é oriundo de 50 pequenos garimpos espalhados pela região do Seridó e parte da

Introdução

região Oeste do Estado. Segundo o geólogo Otacílio Oziel de Carvalho, só de resíduos sólidos, as 14 minas existentes em Currais Novos acumulam cerca de 10 milhões de toneladas.

O objetivo principal deste trabalho é estudar a incorporação de resíduo de scheelita em matriz cerâmica, analisando o efeito da incorporação desse resíduo, coletado na Mina Brejuí, município de Currais Novos-RN, na argila caulínica do município de Boa Saúde-RN, avaliando as propriedades físicas e tecnológicas de peças queimadas em temperaturas de 850 a 1200°C.

Os objetivos específicos são:

- . Caracterização da argila caulínica de Boa Saúde-RN e do Resíduo de Scheelita;
- . Avaliação nas propriedades físicas e mecânicas da argila após a incorporação do resíduo de scheelita;
- . Verificação do efeito das diferentes temperaturas de queima na argila e nas formulações com resíduo de scheelita;
- . Análise dos percentuais de resíduo utilizado, procurando determinar o teor mais adequado para produção de peças cerâmicas estruturais e decorativas;
- . Análise da influência do resíduo de scheelita na coloração do produto final.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção será apresentada uma breve fundamentação sobre argilas, suas propriedades gerais e principais constituintes, tipos de argilas, sua distribuição no território brasileiro e potiguar, questões ambientais envolvendo a exploração mineral e sobre a scheelita. Além disso, aborda-se as principais aplicações na cerâmica estrutural.

2.1 - Argilas

2.1.1 – Definições e Aspectos Gerais

A definição do que seria uma argila é, muitas vezes, subjetivo e diverso; dependendo das suas propriedades, aplicações e de quem as faz uso (geólogos, mineralogistas, químicos, ceramistas, dentre outros).

As argilas são consideradas como produtos naturais, terrosos, compostas essencialmente de partículas extremamente pequenas ($\leq 2 \mu\text{m}$) de um ou mais membros de certo grupo de substâncias denominadas de argilominerais, que são silicatos de alumínio hidratados, contendo magnésio e ferro substituindo o alumínio total ou parcialmente, e alguns deles contém também metais alcalinos ou alcalinos-terrosos; associados a óxidos que lhes dão tonalidades diversas. (MEIRA, 2001; GOMES, 1986)

De acordo com Lucena (2007), as argilas fazem parte dos chamados “minerais industriais” formados pelo grupo dos silicatos, que é de grande importância, pois cerca de 25% dos minerais conhecidos e quase 40% dos minerais comuns são silicatos, representando aproximadamente 97% em volume da crosta terrestre.

As argilas são substâncias que tem plasticidade quando convenientemente molhadas e rigidez depois de submetidas ao aquecimento adequado. Elas também são formadas pela alteração dos silicatos de alumínio componentes das rochas de origem magmática, ou metamórficas e sedimentares. Os silicatos mais abundantes são os feldspatos e as micas. É

principalmente da decomposição desses minerais que resultam as grandes massas de argilas que cobrem a superfície do solo e enchem as depressões dos terrenos. Sua remoção dos pontos de origem e deposição posterior, formando os depósitos secundários de argilas estratificadas, ainda hoje estão se formando nas baixadas alagáveis e no fundo dos lagos e mares.

As argilas podem ser classificadas modernamente por meio de Espectro de Difração de raios X, da Análise Térmica Diferencial - DTA e da observação das formas das partículas com o auxílio do microscópio eletrônico. Os diferentes minerais constituintes das argilas são caracterizados não só pela composição química, mais também pela estrutura do “edifício” molecular e pelas cargas iônicas.

Nas argilas encontramos, muitas vezes, fragmentos das rochas de origem, outras vezes minerais e rochas que entram em contato durante seu transporte e sedimentação. Com frequência as argilas são alteradas pela temperatura e pressão durante a sua consolidação, resultando uma grande variedade de argilas com toda uma gama de coloração, plasticidade, composição química, etc. As diferentes espécies de argilas, consideradas como puras, são na realidade, misturas de diferentes hidrossilicatos de alumínio, denominados de “materiais argilosos”. Muitas vezes as argilas impuras são extraídas das jazidas e usadas sem beneficiamento, como é o caso do barro para a fabricação de tijolos maciços. Entretanto, na maioria dos casos, a argila necessita de beneficiamento para ficar em condições de ser usada. O beneficiamento geralmente consiste na eliminação dos componentes não argilosos. Isso é realizado por lavagem e decantação.

Argilas puras com apenas um tipo de material argiloso é difícil de ser encontrada. O mais comum é a mistura de vários materiais argilosos, mesmo que um tenha predominância em relação aos outros. A sílica forma, em geral, de 40 a 80 % do total da matéria-prima. Embora uma grande percentagem de areia com sílica não combinada é indesejável, deve ser, às vezes, adicionada para diminuir a retração na queima e aumentar a refratariedade. A alumina aparece ordinariamente com teores de 10 a 40%. O óxido férrico não ultrapassa, usualmente, 7% e é o mais importante fator na coloração do produto após a queima. O óxido férrico tende a diminuir o ponto de fusão da argila. A cal tem geralmente um teor abaixo de 10% e a magnésia não ultrapassa 1%. O teor de álcalis é da ordem de 10%.

2.1.2 – Classificação

Segundo Silva (1991), as argilas são classificadas de acordo com sua estrutura, em:

a) Estrutura laminar ou foliácea

- . Grupo das caulinitas;
- . Grupo das montmorilonitas;
- . Grupo das micáceas.

Somente as estruturas laminares são usadas na fabricação de produtos cerâmicos. As caulínicas são as mais puras. Contudo, não são utilizadas para a cerâmica vermelha, pois apresentam cor branca após a queima e propriedades de perda de massa e contração linear elevada. São utilizadas, em geral, na indústria de refratários, porcelana e cerâmica sanitária.

As argilas do tipo montmorilonitas, em conjunto com as ilitas, tem a função de aumentar significativamente as propriedades plásticas e coloidais das argilas. Percentuais acima de 3% desse tipo de material proporcionam grande variação linear na secagem e queima do material. Contudo, em pequenas quantidades melhoram a trabalhabilidade. Em geral, elas são misturadas com as argilas caulínicas para corrigir a plasticidade. (SANTOS, 1989)

As argilas ilitas (mica, muscovita) contribuem positivamente para a moldagem de peças cerâmicas e também para o processo de secagem devido ao seu alto grau de granulometria fina. (VARELA, 2004)

Além dos argilominerais, outros minerais compõem as argilas, tais como: sais solúveis, partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e minerais amorfos. As argilas no seu estado bruto possuem impurezas minerais, matéria orgânica e água intrínseca na estrutura, que aquecida em determinada temperatura, desaparece.

b) Estrutura fibrosa

São constituídas basicamente por materiais argilosos fibrosos do grupo da paligorskite e sepiolite. São caracterizadas por desenvolver alta viscosidade nas suspensões ou dispersões aquosas que participam. (Meira, 2001)

Conforme o seu ponto de fusão, as argilas são classificadas em infusíveis, refratárias (Fire Clay) e fusíveis. As argilas infusíveis são praticamente constituídas de caulim puro e, após a queima, elas apresentam cor branca translúcida. Para obtenção de porcelanas tais argilas são queimadas sob elevadas temperaturas.

As argilas refratárias, também muito puras, não se deformam a temperatura de 1500°C e têm baixo coeficiente de condutibilidade térmica. Por isso, elas são utilizadas para revestimentos de fornos.

As argilas fusíveis são as mais importantes. Elas apresentam deformação e vitrificação a temperaturas inferiores a 1200°C. Dentre estas se destacam: as argilas figulinas (cor cinza-azulado), que são utilizadas para a fabricação de tijolos e telhas; os grés (cor cinza-esverdeado) que têm alta percentagem de mica e, por isso, são empregados na fabricação de material sanitário ordinário; as não-plásticas (calcárias), que são usadas na produção de cimento; e o barro (argila ferruginosa amarelo-avermelhada), que é empregada no processo fabril de tijolos e telhas. (SILVA, 1991)

Quanto à plasticidade, as matérias-primas cerâmicas podem ser classificadas em plásticas e não plásticas. As primeiras atuam diretamente na etapa de conformação mecânica, enquanto as outras no processamento térmico. As argilas plásticas são ricas em material argiloso e apresentam elevada plasticidade e têm maior deformação durante a etapa de queima. Já as argilas não plásticas são pobres em material argiloso. (PETRUCI, 1995)

Nas argilas para produção de cerâmica vermelha as duas frações contidas nesse material recebem a denominação de argila gorda (fração argilosa) e argila magra (fração não argilosa). De acordo com Pradicelli (1997), essas frações são definidas pelas seguintes características:

- **Argila Magra** (fração não argilosa) – Representada por areias, micas, óxidos de ferro e outros. Estes constituintes reduzem o grau de compactação da massa, atuando como agente desplastificante. Para que os mesmos possam agir com eficácia sobre as características das argilas, devem apresentar granulometria acima de 60µm e devem ser usadas em quantidades moderadas;

- **Argila Gorda** (Fração Plástica) – Apresenta granulometria fina, mas precisam de uma considerável quantidade de água para desenvolver sua plasticidade. A argila gorda apresenta alta resistência mecânica a seco e após a queima.

Na produção de peças cerâmicas, utiliza-se a mistura de duas ou mais argilas no processo produtivo para obter-se a qualidade desejada e exigida pelas normas técnicas, pois em geral essas frações argilosas são misturadas quando uma argila não possui condições para fabricar os produtos com as características desejadas.

2.1.3 – Propriedades das Argilas

As propriedades dos produtos cerâmicos após a queima são dependentes das características da matéria-prima e sua subsequente modificação durante o processo. A maneira de escolha e controle da matéria-prima é necessária para o conhecimento de suas características mais importantes. (REED, 1995)

Os principais fatores que influenciam as propriedades de uma argila são:

- Composição Mineralógica dos minerais argilosos e não argilosos;
- Granulometria: É uma das características mais importantes dos materiais argilosos e influencia diretamente nas suas propriedades. Para Morais (2006), a granulometria das argilas tem íntima relação com a resistência mecânica dos blocos cerâmicos no estado seco. É uma das características mais importantes dos minerais argilosos e interfere em muitas outras propriedades, tais como a plasticidade e a permeabilidade, que são dependentes além da dimensão das partículas, de sua distribuição granulométrica e forma. O aumento do percentual de partículas finas corresponde a um aumento de plasticidade. Quanto maior a superfície específica, maior será a quantidade de água que se pode fixar numa superfície.

- Natureza e teor dos componentes orgânicos;

- Superfície Específica: A superfície específica exprime o teor em fração argilosa ou o teor relativo de finos, médios e grossos bem como o grau de agregação/dispersão das partículas constituintes de uma argila. (MEIRA, 2001)

- Teor em Eletrólitos: Os minerais argilosos tem a capacidade de trocar íons fixados na superfície exterior dos seus cristais, nos espaços inter-camadas estruturais ou localizados em outros espaços interiores mais acessíveis por outros íons presentes em soluções aquosas envolventes. A capacidade de troca iônica que um material argiloso pode adsorver e trocar são uma propriedade que resulta do desequilíbrio de suas cargas elétricas. Tais desequilíbrios são devidos a substituições isomórficas que influenciam diretamente certas propriedades físico-químicas e tecnológicas. (MEIRA, 2001)

- Viscosidade: A viscosidade de um fluido traduz a resistência que o mesmo apresenta à fluência. No sistema argila-água a viscosidade sofre modificações, geralmente aumentando continuamente e irreversivelmente com tempo, se não for acrescido água no mesmo. (MEIRA, 2001)

- Plasticidade: É uma das propriedades mais importantes das cerâmicas, influenciando diretamente o comportamento dos produtos obtidos. A plasticidade ocorre quando uma argila tem água suficiente para cobrir toda superfície acessível dos argilominerais com uma película de água rígida, isto é, mas um pouco de líquido que age como meio lubrificante, facilitando o deslizamento das placas umas sobre as outras quando uma tensão tangencial for aplicada. Essas duas águas expressas percentualmente em relação à massa da argila seca são denominadas de limite de plasticidade de Attenberg (GRIM, 1968). Entretanto, a plasticidade das argilas depende, também, de fatores da própria matéria-prima, tais como composição mineralógica, dimensões e formato das partículas e da presença de outros minerais além dos argilominerais como, por exemplo, quartzo e, até mesmo de impurezas como matéria orgânica.

- Endurecimento após secagem e queima: Durante a secagem dos corpos cerâmicos, torno de 100°C, ocorre contração de volume que pode provocar a formação de fendas, caso ocorra muito rápida ou sem uniformidade. Durante a queima, os componentes que constituem os corpos cerâmicos podem sofrer modificações estruturais, dependendo da faixa de temperatura de queima, que poderão propiciar a expansão ou contração volumétrica dos mesmos. Neste caso, as estruturas geralmente entram em colapso. Em temperaturas relativamente elevadas, podem provocar o surgimento de fases vítreas, propiciando o aumento considerável na resistência mecânica dos corpos cerâmicos.

2.1.4 – Propriedades Tecnológicas para Produtos Cerâmicos Estruturais

A qualidade do produto cerâmico estrutural está diretamente ligada a suas propriedades tecnológicas como absorção de água (AA) e resistência mecânica (TRF). As normas da ABNT 15270-1, 15270-2 e 15310, de 2005, são responsáveis pela normalização de blocos e telhas, respectivamente. A tabela 1 mostra os parâmetros da AA e TRF segundo a ABNT: (Arruda et al, 2007)

Tabela 1: Absorção de Água e Resistência Mecânica do Produto Cerâmico Estrutural, conforme ABNT.

Tipo de Cerâmica	Absorção de Água (AA)	Tensão de Ruptura à Flexão (TRF)
Telha	Máximo 20%	Mínimo 100 kgf
Tijolo	Mínimo 8% e máximo 22%	Mínimo 15 kgf

Fonte: Adaptado de ARRUDA et al (2007).

2.1.5 – Aplicações das argilas na Cerâmica Vermelha ou Estrutural

Na classificação de um produto cerâmico é preciso analisar o emprego dos mesmos, a natureza dos seus constituintes, características texturais do biscoito (massa base), além de outras características cerâmicas, técnicas e econômicas. (SEBRAE/ESPM, 2008)

A Cerâmica vermelha ou estrutural compreendem os materiais empregados na Construção Civil, tais como: tijolos, telhas, ladrilhos de piso, manilhas, elementos vazados, cerâmica utilitária e também agregados leves de argila expandida. (SANTOS, 1989)

De acordo com a Anicer (2010), a cerâmica vermelha é responsável por 4,8% do faturamento da indústria da Construção Civil. O faturamento anual desse setor no Brasil é de 18 bilhões de reais, gerando 293 mil empregos diretos e 900 mil indiretos. No quadro 1 encontram-se os dados da produção dos produtos de cerâmica vermelha.

Quadro 1: Dados da produção de produtos de cerâmica vermelha.

	Blocos/Tijolos	Telhas	Tubos
Nº Empresas Aproximado	4346	2547	10
% Aproximado por Área	63%	36%	0,1%
Prod./Mês (Nº de Peças)	4.000.000.000	1.300.000.000	325,5 km
Consumo-Ton/Mês (Matéria prima: argila)	7.800.000	2.500.000	-

Fonte: IBGE 2008 para Seção C, Divisão 23, Grupo 234, Classe 2342-7, Fabricação de Produtos Cerâmicos Não-Refratários para uso Estrutural na Construção, excluídas as palavras pisos e azulejos da razão social.

A cerâmica vermelha é o segmento cerâmico com maior volume de movimentação de materiais, estando presente na maioria das construções brasileiras. Esses produtos tem pouca exigência de qualificação em sua aplicação, sua participação no volume de uma obra pode

Revisão Bibliográfica

ultrapassar 90% e seu custo raramente atinge 10% do valor total da obra. (TOMAZETTI, 2003)

A figura 1 mostra a relação entre os setores cerâmicos e os seus produtos, as respectivas matérias primas utilizadas e seu processo de fabricação. A partir da matéria prima utilizada, identificam-se as cerâmicas tradicionais (ou silicáticas) de base argilosa, tais como cerâmica estrutural ou vermelha, cerâmica branca e de revestimentos.

Classificação		Produto	Matéria-prima							Moagem via úmida	Moagem via seca	Processo de				Temperatura de Queima (C)						
Tipo de	Grupo**/ Setor		Não -Plástica									Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	> 1.200	
			Argila	Argila	Caulim	Feldspato	Filito	Talco	Calcário													Quartzo
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica Vermelha	Blocos, lages	P								P										
			Telha	P				O					P	P								
			Agregado leve	P							O		P									
	2	Cerâmica Branca	Grês Sanitário		P	S	P	O		S	O	P										
			Porcelana Mesa		P	P				P	P		S	S	O							
			Porcelana Eletr.		P	P				P	P		S	S	O							
			Faiança		P	O	S	S	S	P	S	P				P						
	3	Revestimentos	Pisos Rústicos	P							O		P									
			Pisos via Seca	P								P		P								
			Azulejo		P	P			O	S	S	P			P							
			Piso Gresificado	O	P	S	S	P	O		S	P	O	P								
			Grês Porcelânico		P	S	P		O		S	O	P		P							
	Outros	Outros	Refratários			O				O	P											
			Isolantes				O			O	P											
			Especiais							O	P											
Cimento			S						P	S	O	P										
8	Vidro						S	P	P													

P = Processo ou composição principal (> 20 %) S = Processo ou composição secundária (< 10%) O = Processo ou composição ocasional

Figura 1: Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação.

Fonte: MOTTA et al (2001.4)

Nota: (*) e (**) Classificação de Schuller & Henniche; (***) O feldspato (ou concentrado de feldspato) é usado apenas nas porcelanas e, eventualmente, no grês porcelânico, enquanto que nos demais produtos são utilizadas rochas feldspáticas.

As figuras 2 e 3 mostram a seguir os principais tipos de blocos, tijolos, canaletas e telhas cerâmicas produzidas pela indústria ceramista.

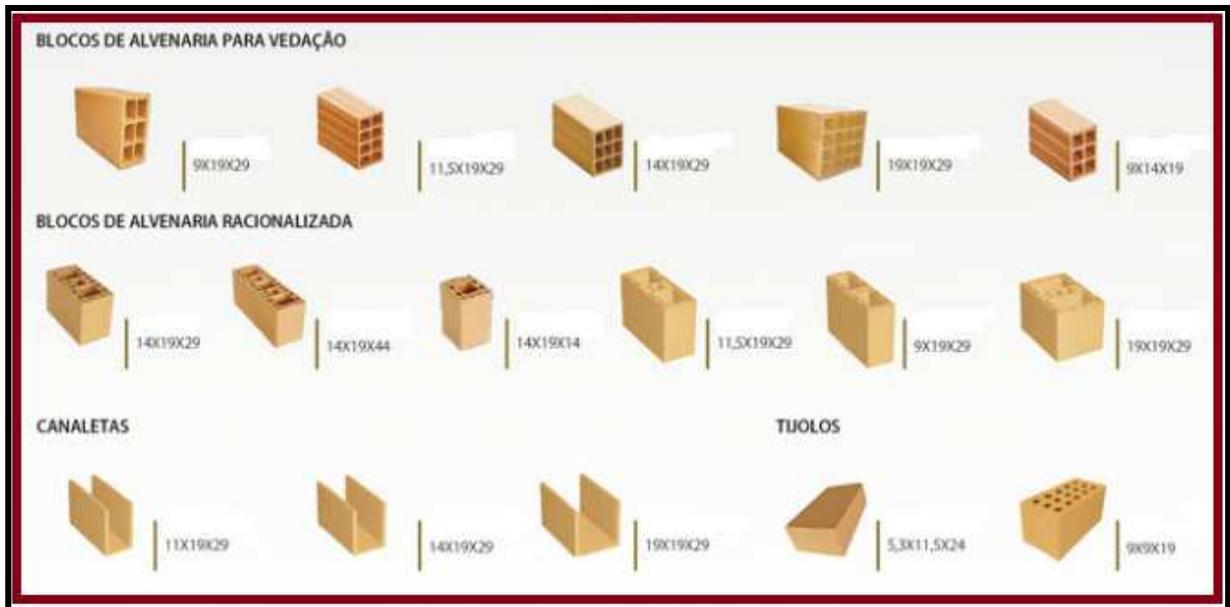


Figura 2: Tipos de blocos, tijolos e canaletas cerâmicas.

Fonte: Adaptado de BOHM (2012), distribuidora.



Figura 3: Tipos de telhas cerâmicas.

Fonte: Adaptado de LUARAMA (2012), Distribuidora.

Os dados sobre o setor de cerâmica no Brasil apresentam divergência entre as principais associações representativas.

A ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica) aponta que o mercado conta com cerca de 5.500 empresas entre cerâmicas e olarias, sendo responsável por mais de 400 mil empregos diretos, 1,25 milhões indiretos e um faturamento anual de R\$ 6 bilhões (4,8%

do faturamento da indústria da construção civil). Por outro lado, a ABC (Associação Brasileira de Cerâmica) contabiliza, especificamente para a cerâmica vermelha, a existência de 11.000 empresas de pequeno porte distribuídas pelo País, empregando cerca de 300 mil pessoas, e gerando um faturamento da ordem de R\$ 2,8 bilhões.

O fato da existência de informações divergentes está relacionado a um grande problema que permeia toda a cadeia da Construção Civil no Brasil, que é o alto índice de informalidade das empresas produtoras de materiais cerâmicos.

Segundo José Mário Coelho (2009), quando se compara a produtividade brasileira com as operações dos países líderes em tecnologia cerâmica, como Itália e Espanha, os padrões da mineração internacional relativizam com o desempenho produtivo da mineração nacional. Não há diferenças substantivas em termos de supremacia produtiva. O diferencial positivo para a mineração européia está no conhecimento dimensional da jazida, na qualificação das reservas e nos cuidados no planejamento e controle técnico das operações de lavra. O diferencial competitivo entre a mineração nacional e as similares internacionais não se dá exatamente em função do rendimento das minas, mas, sobretudo, com relação à qualidade das matérias-primas ofertadas, na qual homogeneidade e constância das especificações das argilas constituem propriedades fundamentais para os ganhos de produtividade da manufatura cerâmica.

A despeito dessas inconsistências, dada a existência de várias empresas pulverizadas no mercado nacional, a principal convergência em relação às empresas que produzem cerâmica vermelha é o fato de serem, em sua maioria, de micro, pequeno e médio portes que, segundo dados do SEBRAE, utilizam processos produtivos tradicionais. Por outro lado, a indústria da construção civil tem forçado o setor de cerâmica vermelha a se organizar melhor para enfrentar um mercado cada vez mais competitivo e exigente por qualidade. Dessa forma, algumas empresas têm se empenhado em enquadrar seus produtos de acordo com as exigências das normas técnicas. Outra preocupação do segmento é reduzir a grande diversificação de produtos existentes, visando diminuir os custos de produção e atender à construção civil com produtos padronizados, reduzindo os desperdícios que hoje chegam a 30%. (SEBRAE/ESPM, 2002)

Para DIAS & TOFFOLI (2000), a atividade do setor, principalmente nas empresas de menor porte, ainda está calcada em procedimentos arcaicos de gestão, acomodado pela antiga tradição e aceitação dos produtos cerâmicos em um mercado conquistado há séculos. A não

utilização da normatização contribuiu para o desperdício na construção civil, aumentando a geração de rejeitos, consumo de materiais e mão-de-obra, e causando prejuízos na imagem social do setor.

Segundo TAVARES et al (2002), além da resistência do produtor a qualquer mudança na sua rotina de trabalho, deve-se ainda levar em conta a mentalidade do mercado consumidor, que ainda prefere baixo custo e baixa qualidade, mesmo que os custos de assentamento do produto sejam maiores, o que viabilizaria o produto de maior qualidade.

Algumas questões gerais sobre o que afeta o segmento de cerâmica vermelha como um todo foi levantado por DUAİLÍBI FILHO & CARVALHO (2002):

- A baixa qualidade dos produtos tem influência na construção civil, gerando grandes perdas e tem permitido a entrada de materiais e sistemas construtivos alternativos;
- A exploração das argilas é feita de forma não racional por muitas empresas, podendo causar danos ao meio ambiente e escassez de matérias-primas;
- A maioria das pequenas empresas utiliza fornos de baixíssima eficiência energética, além de utilização predominante de lenha, advinda de florestas naturais;
- Baixo nível de escolaridade de mão-de-obra, sem treinamento dos empregados.

No Rio Grande do Norte, a produção ceramista Potiguar se restringe a produção de telhas e blocos cerâmicos. De acordo com Carvalho (2001), no ano de 2001 existiam cerca de 160 empresas em plena atividade, e elas estavam localizadas em 39 municípios. Essas empresas estão distribuídas em oito regiões, das quais seis localizam-se em bacias de grandes rios (Ceará-Mirim, Potengi, Trairi/Jacu, Curimataú, Baixo Açu, Seridó), além das empresas da chapada do Apodi e da região do extremo Oeste Potiguar, de cujos vales são extraídos as matérias-primas. Atualmente, devido à expansão do setor, tem-se cerca de 206 empresas existentes no RN, das quais 159 em plena atividade. Entre as indústrias cerâmicas que estão com a produção parada, 12 estão em processo de implantação/reimplantação, 14 estão improdutivas e 21 desativas.

A figura 4 que segue mostra o mapa do Estado do Rio Grande do Norte, com destaque de algumas regiões, suas principais bacias e, conseqüentemente, os pólos de produção ceramista.



Figura 4: Zonas de Produção de Cerâmica Vermelha do RN.
Fonte: Adaptado de CARVALHO (2001).

2.1.6 – Processo de Fabricação de Cerâmica

Os materiais cerâmicos são fabricados geralmente a partir da composição de duas ou mais matérias-primas, além de aditivos e água ou outro meio. Mesmo no caso da cerâmica vermelha, para a qual se utiliza apenas argila como matéria-prima, dois ou mais tipos de argilas com características diferentes entram na sua composição. Raramente emprega-se apenas uma única matéria-prima.

O processo produtivo para obter os produtos de cerâmica vermelha (tijolos, telhas e lajotas) passa por etapas específicas de produção, podendo apresentar variações de acordo com o maquinário empregado.

Conforme Carvalho (2001), o processo produtivo na indústria de cerâmica vermelha é dividido em cinco fases bem definidas: extração da matéria prima, estocagem, extrusão, secagem e queima. A figura 5 mostra o fluxograma do processo de fabricação de cerâmica vermelha.

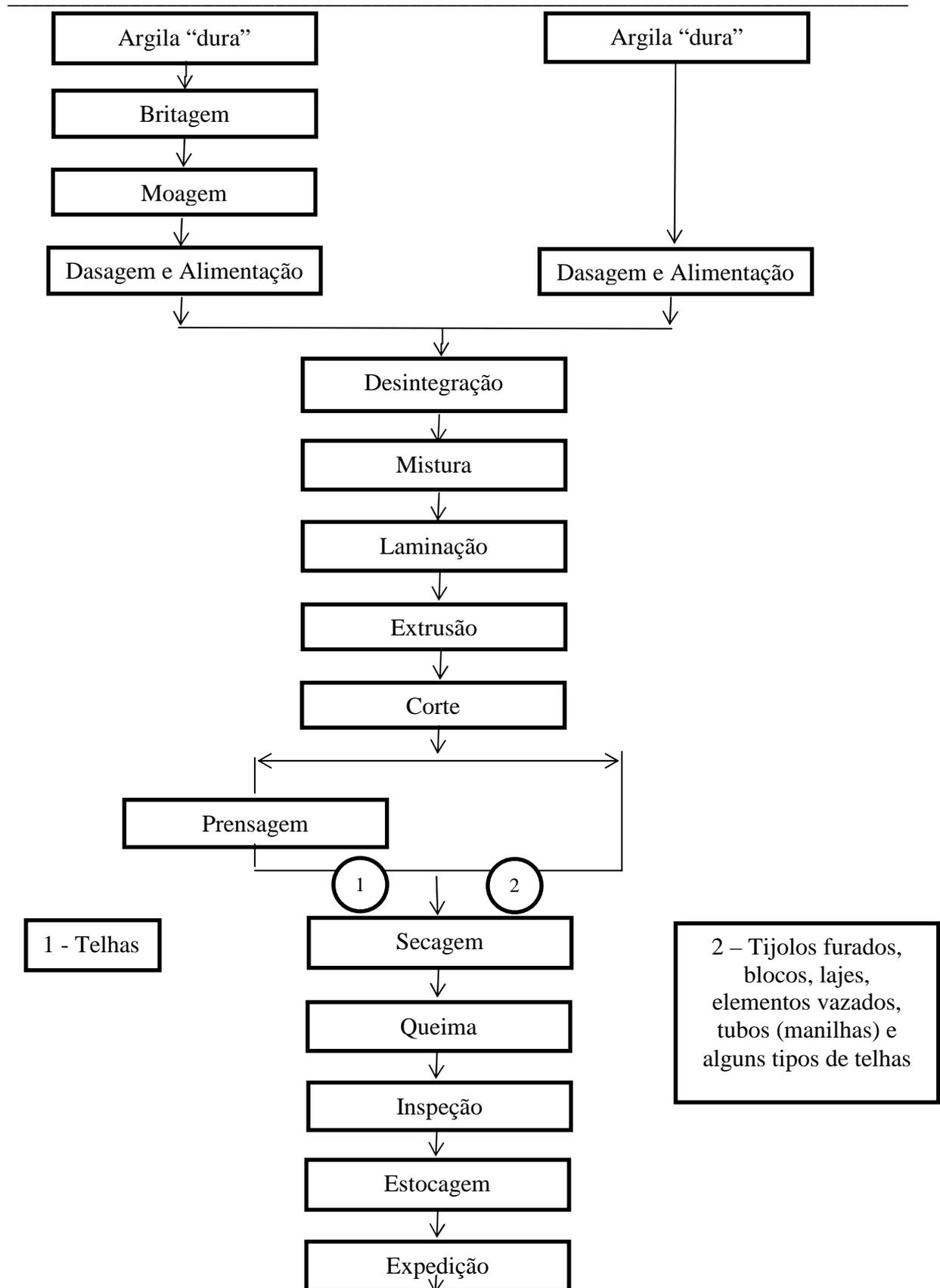


Figura 5: Fluxograma do processo de fabricação de cerâmica vermelha.
 Fonte: Adaptado do ABC (2012)

2.1.7 – Evolução da Produção e Consumo de Argila

Segundo José Mário Coelho (2009), o sistema de suprimento mineral da indústria de cerâmica vermelha no país caracteriza-se pelo encadeamento existente entre a produção e o consumo de argila, sendo composto de minas cativas dos próprios ceramistas que, eventualmente, comercializam seus excedentes e a produção de pequenos mineradores. Os custos de transação relativamente elevados (insumo específico de baixo valor unitário frente aos custos elevados para a consolidação de um mercado produtor) induzem a produção verticalizada de argila pela indústria cerâmica, não havendo, praticamente, estoques ou mesmo um mercado estabelecido ofertante de matérias-primas, o que implica na equivalência entre a produção e o consumo de argila.

Por se tratar de mercados de alcance restrito, sempre regionalizados, as informações quantitativas disponíveis dos países produtores são, de modo geral, escassas. Fatores como a dimensão do mercado e as características do setor construtivo brasileiro, no qual predomina a construção em alvenaria cerâmica, faz com que a produção de argila no país somente possa ser superada por países como China e Índia.

As projeções de produção e consumo de argila no país podem ser delineadas a partir da evolução da indústria cerâmica e do setor da construção civil nacional. Isto se dá em função da produção de argila corresponder a uma demanda derivada da indústria cerâmica, cuja evolução, por sua vez, está totalmente vinculada ao desempenho da indústria da construção civil. A figura 6 a seguir mostra a evolução da produção de peças cerâmicas e consumo de argilas comuns.

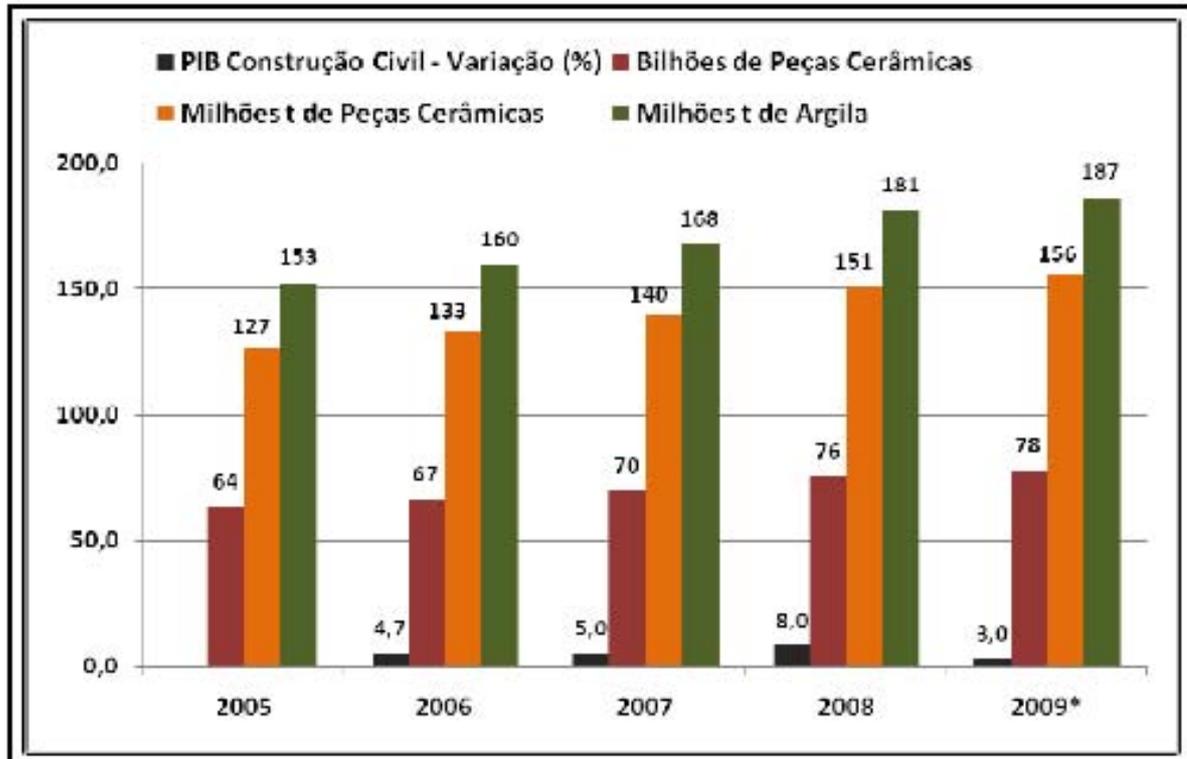


Figura 6: Evolução da produção de peças cerâmicas e consumo de argilas comuns.
Fonte: José Mário Coelho- Projeto ESTAL, 2009.

2.1.8 – Aspectos Ambientais da Exploração de Argilas

Na mineração de argilas constata-se pouca geração de resíduos resultantes, geralmente, da remoção do capeamento superficial (solo) e, mais subordinadamente, da retirada de camadas estéreis intercaladas ao pacote de minério argiloso. O volume de resíduos gerado está condicionado às relações de mineração (estéril/minério).

Em decorrência do baixo valor do minério argiloso, são lavradas jazidas com baixa relação estéril/minério, geralmente com valores inferiores 0,25, isto é, para cada tonelada de argila são removidos menos de 0,25 tonelada de materiais estéreis.

Os materiais descartados na frente de lavra são constituídos por sedimentos de natureza mais ou menos arenosa. Quando utilizados, destinam-se à pavimentação de acessos internos na mina e ao reafeiçoamento do relevo das áreas impactadas pela mineração, em trabalhos de estabilização e preenchimentos de cavas já lavradas.

Segundo José Mário Coelho (2009), as práticas mais comuns utilizadas no controle das áreas impactadas pela mineração envolvem medidas de controle e reestruturação da área utilizada através de técnicas convencionais, tais como:

- restrição da remoção da vegetação ao mínimo necessário e, sempre que possível, replantio das áreas impactadas;
- instalação de sistema de drenagem das águas pluviais nas frentes de lavra e nos pátios de estocagem de forma a conduzi-las para tanques de decantação antes da liberação para o meio ambiente;
- para o controle de poeira, instalação de barreira vegetal nos entornos da cava e do pátio de estocagem, e aspersão de água sobre os acessos não pavimentados situados no interior e no acesso ao empreendimento.

Além disso, dependendo da situação topográfica, as medidas usuais de recuperação de cavas de argila envolvem:

- preenchimento de cavas com materiais estéreis, e outros matérias disponíveis como resíduos de construção, terraplenagem para reafeiçoamento do relevo com a finalidade de atenuar o impacto visual, reduzir a possibilidade de erosões, permitindo a colocação de cobertura vegetal e, em certos casos, conversão das áreas para um novo uso;
- no caso de lagos remanescentes, estabilização de taludes marginais por meio de suavização dos cortes, seguido de vegetação.

É perceptível que as indústrias cerâmicas carecem de atividades de exploração e produção mais adequadas e de um controle mais rígido de todo o processo, além da efetiva recuperação ambiental da área afetada.

2.2 Scheelita

A Scheelita pertence a classe dos tungstatos, especificamente é um tungstato de cálcio – CaWO_4 (CaO – 19,4% e WO_3 – 80,6%); sendo encontrado em quatro cores: Branca, amarela, verde e marrom. Emite luz por interferência de outro tipo de radiação (raios X, alfa, luz ultravioleta, etc.). Alguns elétrons são elevados para níveis de energia maior quando ativados; quando cessa a emissão os elétrons voltam para a posição inicial, dando uma onda

com comprimento de luz visível. Sua determinação, desta forma, pode ser feita por MINERAL LIGHT (técnica de medição da fluorescência emitida pela scheelita quando sofre radiação). Difere da stolzita e wulffanita pelo sinal óptico e birefringência bem menor. Na Mina Brejuí (Currais Novos/RN) a Scheelita encontrada é de cor branca. A figura 7 mostra fotos da scheelita na forma de cristais.



Figura 7: Cristais de Scheelita em rocha.

Fonte: Potyguar (2003)

A Scheelita é um mineral metálico não ferroso que apresenta alta densidade e o mais alto ponto de fusão, superior a 4.500 °C e boa condutividade elétrica. É frequentemente encontrada em depósitos estratiformes de skarns (rochas relativamente simples, constituídas por uma mineralogia cálcio-silicatada decorrente do metamorfismo regional ou de contato, geralmente em rochas carbonáticas adjacentes a corpos intrusivos.), podendo estar em depósitos filonianos (filões hidrotermais de quartzo e em pegmatitos). Com menor frequência, ela pode ser encontrada em depósitos estratiformes de natureza vulcano-sedimentar e em stockworks (massa de rocha densa e irregularmente fraturada, em diversas direções, por pequenas fraturas descontínuas ao longo das quais se alojou a mineralização) graníticos. Os minerais associados a scheelita nestes depósitos são muito vastos, mas podem ser citados: o quartzo, calcopirita, pirita, calcita, granada, diopsídio, vesuvianita, epidoto, fluorita, molibdenita, powellita, bismutinita, bornita, malaquita, entre outros.

O nome Scheelita foi dado em homenagem ao descobridor do Tungstênio, Honors Karl Wilhelm Scheele (Dana, 1974). Depois de processada transforma-se em tungstênio que age como elemento endurecedor das ligas metálicas que participar.

O tungstênio é usado nas Indústrias:

- . **Metalúrgica:** ligas metálicas, aços rápidos, metal duro;
- . **Elétrica:** filamentos de lâmpadas, equipamentos de raios-x; contatos elétricos para

fornos de altas temperaturas;

- . **Indústria mecânica:** brocas, ferramentas de cortes e perfurações, material abrasivo;
- . **Indústria de Canetas:** é muito usado para fabricação das pontas de canetas esferográficas;
- . **Indústria Aeroespacial:** motores de foguetes, turbinas de aviões, revestimentos de Mísseis;
- . **Indústria Bélica:** projéteis, canhões, metralhadoras;
- . **Indústria Petrolífera:** Ferramenta de perfuração de rocha.

2.2.1 Propriedades Físicas

Existem cerca de quinze tipos diferentes de minerais onde se pode encontrar tungstênio, porém os de importância econômica são: Scheelita (CaWO_4), Wolframita ($(\text{FeMn})\text{WO}_4$), Ferberita (FeWO_4), Huebnerita (MnWO_4) e Powelita ($\text{Ca}(\text{MoW})\text{O}_4$). O quadro 1 a seguir mostra os principais minerais de tungstênio com suas principais características físicas.

Quadro 2: Minerais de tungstênio.

MINERAL	COMPOSIÇÃO	SISTEMA CRISTALINO	DENSIDADE RELATIVA	DUREZA (MOHS)
Scheelita	CaWO_4	Tetragonal	5,9-6,1	41/2-5
Wolframita	$(\text{Fe, Mn})\text{WO}_4$	Monoclínico	7,0-7,5	5-51/2
Ferberita	FeWO_4	Monoclínico	7,0-7,5	5
Huebnerita	MnWO_4	Monoclínico	7,0	5
Powelita	CaMoO_4	Tetragonal	4,23	31/2-4

Fonte: Dana (1974).

A Scheelita apresenta cristalografia tetragonal, classe bipiramidal tetragonal, com plano de clivagem {011}, dureza em torno de 4,5 – 5 Mohs, densidade relativa entre 5,9 e 6,2 e um brilho vítreo a adamantino.

2.2.2 Produção Mundial e Brasileira de Concentrado de Tungstênio

Conforme dados divulgados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries), de 1995 até 2007 as reservas mundiais

de minério de tungstênio contido cresceram em média 3,6% a.a., aumentando 38% no final do período estudado. Durante os doze anos analisados, as oscilações ocorreram em apenas três momentos: em 1997 e 2000, as reservas reduziram, em relação ao ano anterior, 4% e 5%, respectivamente, e em 2001, quando o aumento foi superior a 50%.

Em 1995, as reservas mundiais de minério de tungstênio contido somaram 2,1 milhões de toneladas, das quais 45,8% concentradas na China, 12,4% no Canadá, 11,9% na Rússia, 6,7% nos Estados Unidos, 2,8% na Coreia do Sul e 2,5% na Bolívia. Em 2007, as reservas mundiais totalizaram 2,9 milhões t, sendo que 62% deste total são provenientes apenas da China.

As demais regiões que possuem este recurso não evidenciaram alterações relevantes em suas reservas, neste íterim, porque os reduzidos preços praticados no mercado chinês inibiram a competitividade mundial, desestimulando novas pesquisas, ou seja, com reservas abundantes, baixo custo de produção e incentivos governamentais, a China impôs barreiras, reduzindo a exploração e o desenvolvimento de minas em outros países. Na figura 8 a seguir se tem as reservas mundiais de minério de tungstênio contido para o período de 1995 a 2007.

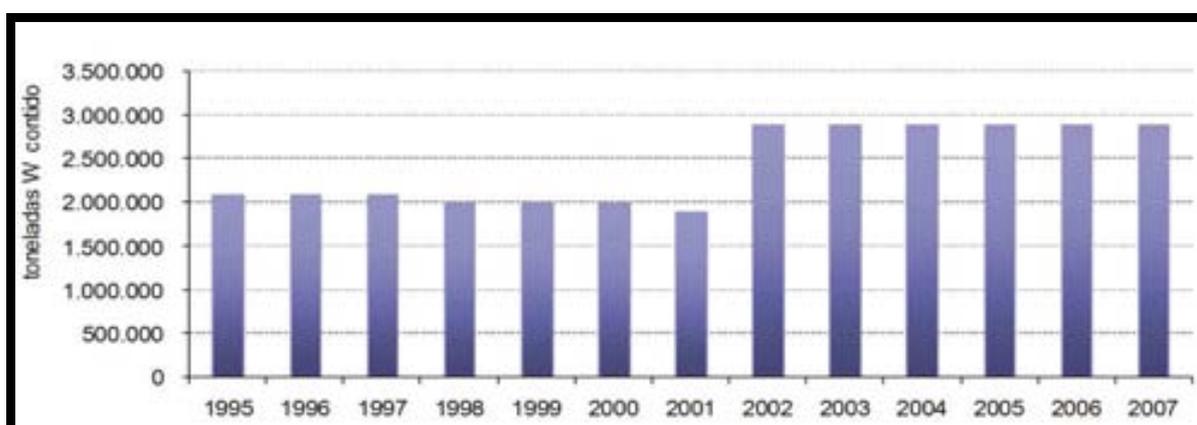


Figura 8: Reservas Mundiais de Minério de Tungstênio Contido – 1995 a 2007.

Fonte: USGS – Mineral Commodity Summaries. Elaborado por: DNPM/DIDEM.

Segundo Cano (2011), atualmente a China detêm 65% das reservas mundiais de tungstênio (W), mas também existem reservas na Rússia (9%), nos Estados Unidos (5%) e no Canadá (4%). Nessa proporção, as reservas brasileiras são inexpressivas, pois representam cerca de 1% do total mundial.

No Brasil, o tungstênio é encontrado nos minerais scheelita (CaWO_4) e wolframita ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$). Em 2010, as reservas lavráveis de W totalizaram cerca de 40 mil toneladas. Destas, cerca de 70% advêm dos recursos de scheelita do Estado do Rio Grande do Norte e

são caracterizadas pelo elevado teor de WO_3 . As reservas oriundas dos depósitos de wolframita estão nos Estados do Pará (17%) e Rondônia (13%).

A produção chinesa representou 85% do total produzido em 2010, no ano anterior ela atingiu 82% da produção mundial. Além disso, a China é o país que mais consome tungstênio no mundo. Ou seja, os chineses monopolizam o mercado de tungstênio e impõem o domínio sobre o preço. No ano de 2010 os controles chineses sobre a produção e as exportações, bem como a suspensão temporária das vendas de tungstênio da Defense Logistics Agency, DLA Strategic Material resultaram em redução da oferta e aumento dos preços.

À medida que a China restringia a oferta do metal, houve em 2010 melhora no comportamento da economia mundial, sobretudo em função da baixa base de comparação do ano de 2009, que favoreceu o consumo mundial de tungstênio. Esse metal com características de alta dureza, densidade e ponto de fusão é indispensável em certas ligas de aço. Embora existam outros substitutos, ele é utilizado na fabricação de caixas pretas de avião, nas brocas das sondas de perfuração de petróleo em águas profundas, na indústria metalúrgica, em lâmpadas e até na esfera da caneta esferográfica.

Desse modo é possível dizer que a demanda por tungstênio mantém relação direta com o desempenho da economia, e que o ano de 2010 foi marcado pelo aumento dos preços do metal, resultante da redução da oferta e aumento do consumo. Cabe lembrar que a alta dos preços tornou a produção de tungstênio fora da China economicamente viável.

Em 2010, a produção interna de tungstênio (concentrado de scheelita) somou 290 toneladas métricas (equivalente a 166 t de W contido) e registrou declínio de 14% em relação ao ano anterior, principalmente porque neste ano não houve produção do concentrado de wolframita, cujo teor médio apresenta 65% de WO_3 . Em 2009 a produção do concentrado de wolframita representou 25% da produção total (concentrados de scheelita e wolframita), mas em 2010 o minério extraído no Pará foi vendido em sua forma bruta.

Por outro lado, a produção do concentrado de scheelita aumentou 15% em relação ao ano anterior, em função do seu alto teor médio de WO_3 , que é competitivo no mercado mundial (informações obtida das minas Barra Verde, Boca de Lage e Brejuí), situadas no município de Currais Novos/RN e operadas pelas empresas: Mineração Barra Verde, Mineração Boca de Lage e Mineração Tomas Salustino, respectivamente. A empresa Shamrock Minerals do Brasil, responsável pela Mina Retiro localizada no mesmo município, prorrogou o início das operações.

Revisão Bibliográfica

A empresa Metais do Seridó S/A, responsável pela Mina Bodó, no município de Bodó/RN, arrendou totalmente a concessão de sua lavra para a empresa Bodó Mineração Ltda. no final de 2009.

Na figura 9 a seguir se tem a reserva e produção de tungstênio para o ano base de 2009 e 2010.

Discriminação	Reservas (t)		Produção (t)		%
	2010	2009 ^(r)	2010 ^(e)		
Países					
Brasil	42.741	192	166		0,3
China	1.900.000	51.000	52.000		84,8
Rússia	250.000	2.500	2.500		4,1
Bolívia	53.000	1.000	1.100		1,8
Austria	10.000	900	1.000		1,6
Portugal	4.200	900	950		1,5
Canadá	120.000	2.000	300		0,5
Estados Unidos	140.000	nd	nd		nd
Outros países	400.000	3.000	3.300		5,4
TOTAL	2.919.941	61.492	61.316		100,0

Figura 9: Reserva e produção mundial de tungstênio – 2009 e 2010.

Fonte: DIPLAM/DNPM; USGS Mineral Commodity Summaries 2011. Notas: Dados em metal contido. Reserva lavrável (vide apêndice). (r) revisado; (e) estimado; (nd) não disponível.

2.2.3 Importação, Exportação e Consumo Interno de Tungstênio

Em 2010 o Brasil importou 55 toneladas de minério de tungstênio e seus concentrados, equivalente a 31 t de W contido. Deste total, 66% foram oriundos da Bolívia, 25% da Alemanha, 8% do Quênia e 1% dos Estados Unidos. Portanto, a quantidade importada pelo Brasil manteve o padrão do ano anterior, mas em função da elevação dos preços mundiais do metal, o dispêndio brasileiro com este item da pauta de importação aumentou 27% (de US\$ 435 mil, em 2009 para US\$ 552 mil, em 2010).

Em 2010 o Brasil exportou 122 t de minério de tungstênio e seus concentrados, equivalente a 70 t de W contido e registrou faturamento de US\$ 1,4 milhão, ou seja, houve queda de 38% na quantidade e 22% no faturamento em relação ao ano anterior. Os principais países compradores foram: Bolívia (46%), Países Baixos (15%), Reino Unido e China (13%, cada) e os Estados Unidos 7%.

Na figura 10 que segue se tem as principais estatísticas (Brasil) para a importação, exportação e consumo aparente de W.

Discriminação		Unidade	2008	2009 ^(r)	2010 ^(p)
Produção	Concentrado	(t)	715	337	290
	W Contido	(t)	408	192	166
Importação	Concentrado ⁽¹⁾	(t)	1	33	31
		(US\$ 10 ³ - FOB)	30	435	552
Exportação	Concentrado ⁽¹⁾	(t)	297	112	70
		(US\$ 10 ³ - FOB)	5.952	1.803	1.369
Consumo Aparente ⁽²⁾	Concentrado ⁽¹⁾	(t)	112	129	127
Preço Médio - Concentrado ⁽¹⁾	Europa - <i>London Metal Bulletin</i>	(US\$/MTU-CIF)	164,00	150,00	150,00
	EUA - <i>Platts Metals Week</i>	(US\$/MTU-CIF)	184,00	151,00	180,00
Preço - Concentrado ⁽¹⁾	Exportação	(US\$/Kg - FOB)	20,04	16,10	19,56
Preço - FeW	Importação	(US\$/Kg - FOB)	27,24	21,78	23,56

Figura 10: Principais estatísticas, Brasil. Ano 2008, 2009 e 2010.

Fonte: DIPLAM/DNPM; MDIC/SECEX; USGS Mineral Commodity Sumaries 2011. Notas: (1) Quantidade em toneladas de W contido - fator de conversão aproximado para W contido: concentrado produzido x 72% WO₃ x 0,793; (2) consumo aparente: produção + importação – exportação; (r) revisado; (p) preliminar.

No mercado interno, o município de Cotia, no Estado de São Paulo, recebeu 69% do concentrado de scheelita produzido no ano de 2010 para uso nos setores de ferro ligas e fundição. Na figura 11 a seguir se tem o consumo setorial nacional de tungstênio (ano base 2007).

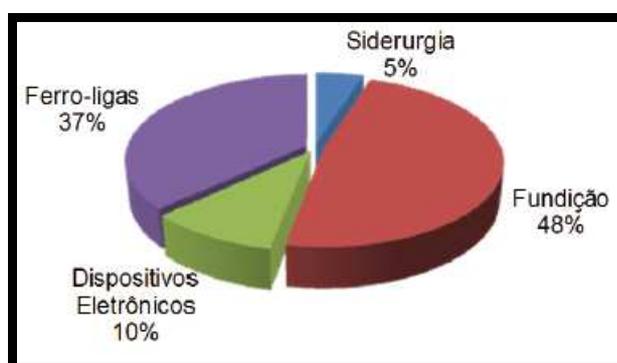


Figura 11: Gráfico do consumo setorial nacional de tungstênio (ano base 2007).

Fonte: DNPM/DIDEM

2.2.4 Mina Brejuí

Nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte encontram-se localizados os principais depósitos/ocorrências de Scheelita do Brasil, constituindo a Província Scheelitífera do Seridó. A principal zona em exploração localiza-se no entorno da cidade de Currais Novos, na estrutura Brejuí/Barra Verde, perfazendo uma faixa com cerca de 4 km de extensão e 400 m de largura; desenvolvendo-se na borda do maciço granitóide de Acari. É exatamente nessa

faixa que se encontram as minas Brejuí, Barra Verde, Boca de Lage, Bodó, Zangarelhas e Saco dos Veados. (Dantas, 2002)

A mina Brejuí está localizada no município de Currais Novos, em região de clima Semi-Árido. Considerada a maior mina de Scheelita da América do Sul, a Mina Brejuí iniciou a exploração de suas atividades em 1943, data da descoberta do minério nesse município. Somente em 1954, a Mina Brejuí foi constituída empresa com o nome de Mineração Tomaz Salustino S/A, sendo concessionário o Desembargador Tomaz Salustino Gomes de Melo.

A mineração em Currais Novos teve o seu apogeu em plena Segunda Guerra Mundial, fornecendo toneladas de minérios às indústrias do aço. Segundo dados da mineradora Tomaz Salustino, a produção de concentrados de scheelita em Currais Novos no período de 1943 a 1997 – 54 anos ininterruptos de produção, gerou um faturamento superior a US\$ 300 milhões e recolhimento de tributos e contribuições fiscais de cerca de US\$ 70 milhões. No auge da exploração de scheelita, para cada tonelada de minério extraído 750 kg eram de concentrado de scheelita e 250 kg de rejeito mineral.

A empresa foi responsável direta pelo crescimento dessa cidade e da região. Durante esse período, o progresso da sociedade se fez notar através da construção do Tungstênio Hotel, cinema, posto de puericultura, emissora de rádio, estádio de futebol, campo de pouso, colégios, hospital e casa do idoso.

A partir dos anos 80 iniciou-se o declínio da mineração em consequência da oscilação dos preços internacionais da Scheelita e da utilização de outros minérios para a fabricação de artefatos industriais e tecnológicos, levando a Mina Brejuí a reduzir suas atividades de extração mineral e buscar novas alternativas econômicas.

Atualmente, as minerações do município de Currais Novos estão voltando às suas atividades minerais paralisadas, parcialmente, desde o final da década de 90. Já são mais de 300 empregos gerados até o momento. A produção atual corresponde a 20 ton mensais, sendo que para cada tonelada se tem 250 kg de concentrado de scheelita e 750 kg de rejeito mineral. A figura 12 que segue mostra o fluxograma de beneficiamento do minério atualmente adotado na mina Brejuí, onde se procurou verticalizar a produção e tentar aproveitar o máximo possível o concentrado de scheelita presente no minério, o que não aconteceu em períodos anteriores, além de diversificar a atuação da empresa no mercado.

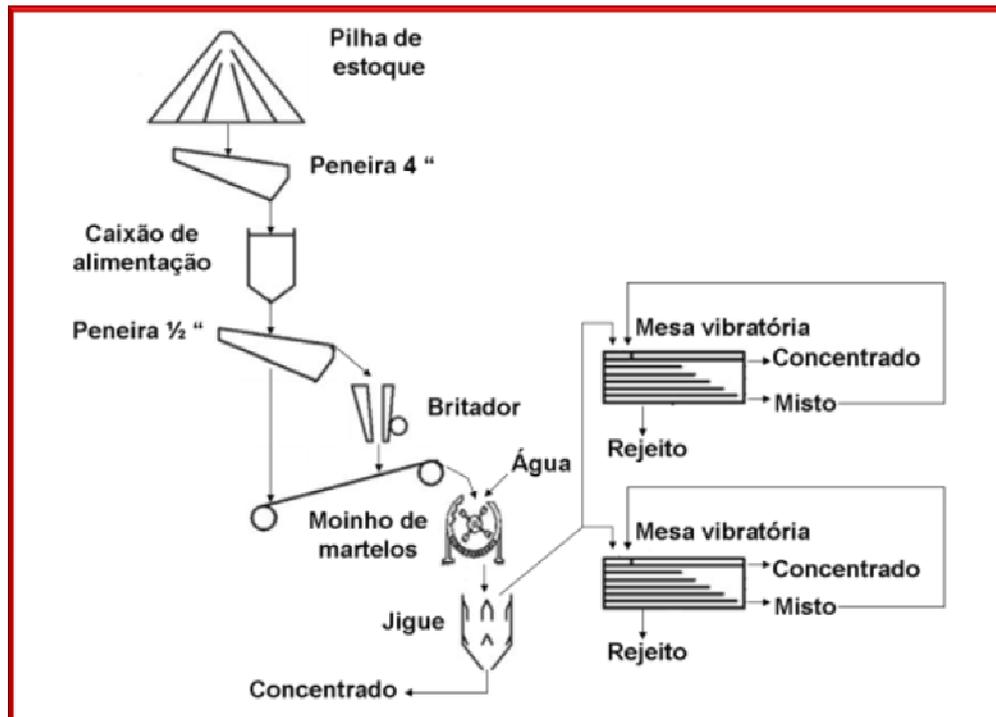


Figura 12: Fluxograma de beneficiamento da mina Brejuí.

Fonte: Leite et al (2007)

Além da volta das atividades minerais, a Mina Brejuí tornou-se nos últimos anos o maior parque temático do Rio Grande do Norte, sendo visitada diariamente por turistas e estudantes vindos de toda parte do Brasil e do Exterior. As figuras 13, 14 e 15 que seguem mostram fotos da mina Brejuí.

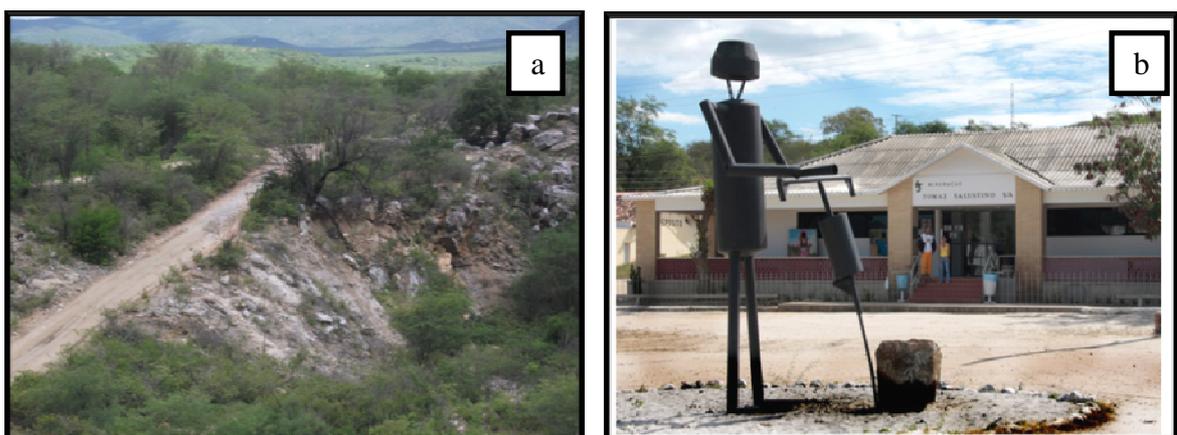


Figura 13: a) Acesso à Mina Brejuí; b) Sede da Mineração – atual museu MTS.

Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 14: a) Entrada do túnel em exploração; b) Interior do túnel.
Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 15: Grelha onde é lançado o minério ao ser retirado da mina.
Fonte: Arquivo pessoal.

As atividades humanas não podem ser indiferentes aos atuais conceitos e exigências das leis ambientais. Não há como pensar na vida humana moderna sem o concurso dos bens naturais minerais e vegetais e sem o compromisso de se garantir o mínimo dano ao meio ambiente, bem como sua devida recomposição. Felizmente, o setor mineral brasileiro progrediu muito, nos últimos decênios, ao acatar a doutrina universal da ecologia, compreendendo e respeitando o desenvolvimento sustentável.

Nas sociedades modernas existe o compromisso das empresas de mineração de descobrirem novas reservas, manterem e expandirem suas produções em harmonia e respeito ao ambiente natural. Observam-se uma crescente conscientização e preocupação em atender às demandas da geração atual, como também aquelas das futuras gerações. A Mineração Tomaz Salustino exerce suas atividades minerais consciente dos impactos ambientais gerados pela extração do minério de tungstênio e procura tomar medidas e providências que permitam reduzi-los ou minimizá-los. Os fatores ambientais mais afetados na extração de scheelita estão relacionados ao solo (erosões), flora (abertura de acessos e picadas), ar (britagem e detonações), poluição sonora (martelotes pneumáticos), gases (ustulação da pirita) e alterações estéticas da paisagem (pilhas de rejeito). As águas pluviais estão sendo drenadas para evitar o acúmulo nas galerias do subsolo. A mineradora também não usa efluentes químicos na usina de beneficiamento do minério.

Atualmente estima-se que existam de 4,5 a 5 milhões de toneladas de resíduo sólido fino de scheelita, formando montanhas “brancas” no entorno da cidade de Currais Novos, correspondendo a 45% do total de resíduo e 5,5 a 6 milhões de resíduo rochoso não utilizado, correspondente a 55% do total restante e não utilizado no processo de extração da scheelita. As figuras 16 e 17 mostram a seguir fotos tiradas *in locu* das pilhas de rejeito formadas.



Figura 16: Pilhas de resíduo fino de scheelita.

Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 17: Resíduo rochoso.

2.2.5 Utilização de Resíduos Minerais na Indústria Cerâmica

Os resíduos minerais são os resíduos ou lodos inorgânicos provenientes do processamento das matérias-primas naturais. Costumam ser classificados pela ABNT como não perigosos e são descartados em aterros comuns.

Os resíduos minerais são os subprodutos das atividades de extração das riquezas minerais. Muitas vezes o minério extraído não apresenta concentrações adequadas para serem explorados comercialmente, embora apresentem minerais úteis; além dos resíduos provenientes do beneficiamento desses minérios.

Os resíduos minerais correspondem a centenas de milhões de toneladas e, geralmente, são lançados diretamente no meio ambiente, provocando alterações consideráveis no meio; além de contaminar o solo e o lençol freático. Estoques de resíduos minerais representam certos riscos em minas e instalações industriais associadas. A remediação de áreas degradadas e/ou contaminadas pela disposição inadequada desses resíduos representam um dos maiores itens de passivo ambiental de uma empresa de mineração e os custos totais de armazenagem e de controle dos mesmos são muito elevados. Algumas das soluções que vem se apresentando no cenário mundial é a utilização desses resíduos em setores industriais que possam incorporar os mesmos no processo produtivo, conservando a qualidade e/ou produzindo novos produtos com propriedades equivalentes ou produtos diferenciados e ambientalmente interessantes.

A constante procura visando minimizar os efeitos provocados pela exploração mineral, com a geração de seus resíduos, tem gerado uma infinidade de trabalhos científicos que objetivam desenvolver novas tecnologias e novos produtos que utilizam esses resíduos; agregando valor econômico aos mesmos e minimizando os problemas ambientais. Na atualidade algumas pesquisas nessa área envolvem:

- . Estudo da adição do resíduo proveniente da extração de minério de ferro em argilas do Rio Grande do Norte (CHAVES, 2009);
- . Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a Construção Civil (SANTOS, 2008);
- . Aplicação de resíduos de mármore na produção de cosméticos (OLIVEIRA et al, 2010);
- . Incorporação de lama de granito e mármore em massas argilosas (SILVA et al, 2005);
- . Resíduos adensados para disposição em superfície – nova tecnologia em minério de ferro (SOUZA et al, 2005);
- . Aproveitamento de resíduos de beneficiamento do caulim na produção de porcelanato cerâmico (MORAES, 2007).
- . Aproveitamento dos finos de scheelita utilizando concentração centrífuga e lixiviação ácida (FERNANDES, 20011).

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma simplificado ilustrado na figura 18 apresenta a seqüência adotada para obtenção do produto cerâmico desejado.

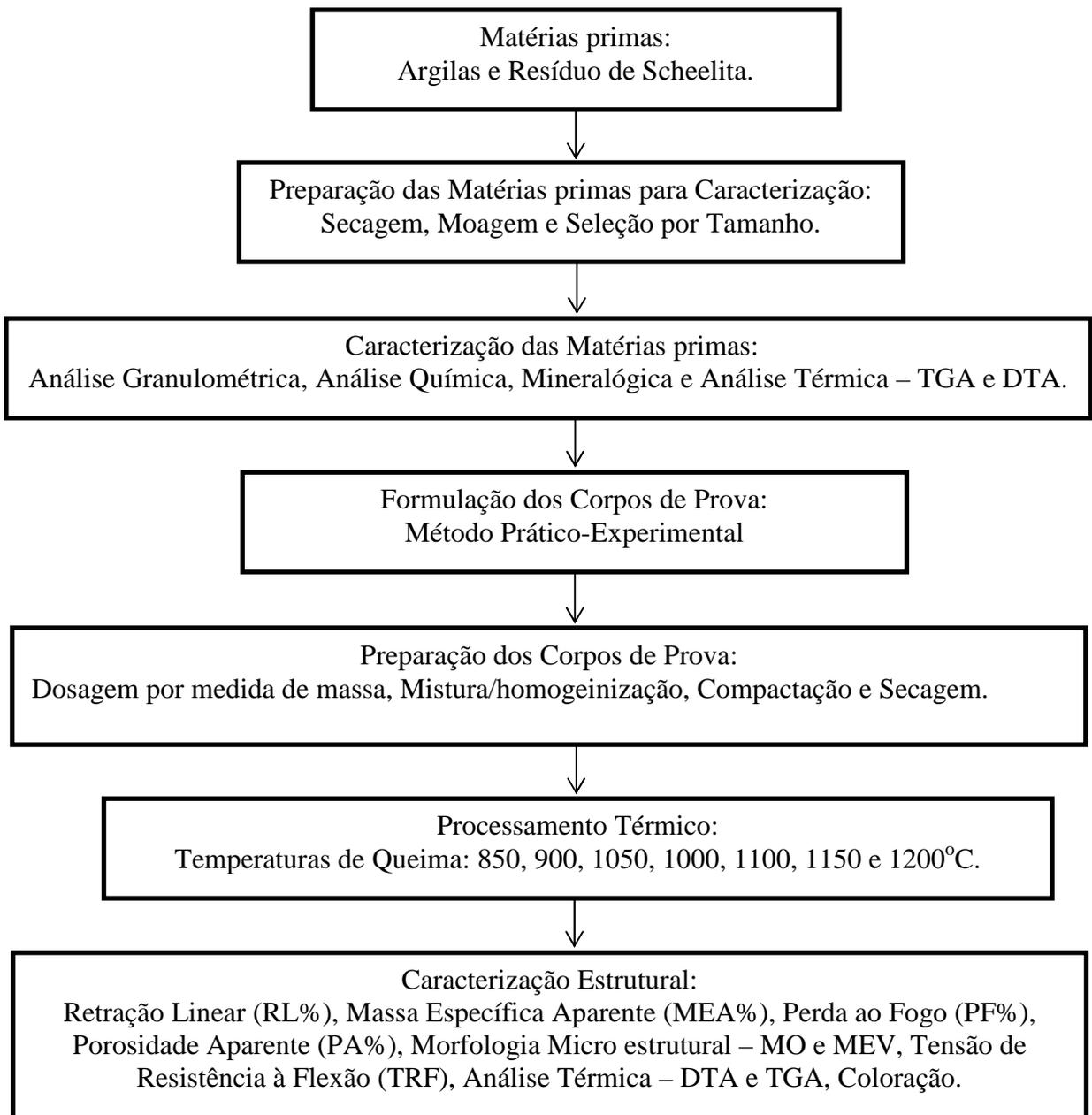


Figura 18: Fluxograma para a produção dos produtos cerâmicos com resíduo de scheelita.

3.1 Matérias-primas

As matérias-primas utilizadas nesse trabalho foram uma argila caulinítica, obtida numa jazida no município de Boa Saúde – RN, conforme figura 19 e o resíduo de scheelita obtido na Mina Brejui, município de Currais Novos – RN, figura 20. Existem basicamente dois tipos de resíduo sólido de scheelita de granulometria fina, obtido do beneficiamento do minério, na Mina Brejui: o resíduo obtido até a década de 90 – de granulometria um pouco maior, e o resíduo atual de granulometria menor, visto que o processo de beneficiamento atual procura retirar ao máximo a scheelita do minério; proporcionando dessa forma um resíduo de granulometria inferior ao obtido anteriormente. Os dois resíduos foram analisados, onde apresentaram praticamente os mesmos constituintes, com percentuais semelhantes. Dessa forma, optou-se por trabalhar com o resíduo produzido atualmente na mina. Como a amostragem é umas das operações mais complexas e passíveis de introduzir erros ao processo de caracterização, todas as matérias-primas utilizadas foram obtidas pelo método do quarteamento.



Figura 19: Matérias-primas: Argila Caulinítica – Boa Saúde/RN.
Fonte: Arquivo pessoal.



a) b)
 Figura 20: Matérias-primas: Resíduo de Scheelita-Mina Brejuí: a) Resíduo rochoso; b) Resíduo fino.

Fonte: Arquivo Pessoal.

3.2 Procedimento Experimental das Formulações

Na formulação de massas cerâmicas é comum se utilizar do Planejamento Experimental e Estatístico, com o intuito de diminuir o número de experimentos necessários para a otimização das mesmas. A escolha do procedimento deve-se as características das matérias-primas utilizadas, bem como da aplicação das mesmas. (MACEDO, 2007)

Neste trabalho como foi utilizado apenas uma argila, com IP igual a 5,2%, ou seja, considerada pouco plástica, acrescida de resíduo de scheelita; optou-se pelo procedimento experimental prático para a montagem das formulações, produzindo-se 07 (sete) formulações distintas, conforme quadro 3.

Quadro 3: Composição das formulações.

FORMULAÇÕES	COMPOSIÇÕES
B	100% Argila + 0% Resíduo de Scheelita
Bb	95% Argila + 5% Resíduo de Scheelita
Bc	90% Argila + 10% Resíduo de Scheelita
Bd	80% Argila + 20% Resíduo de Scheelita
Be	70% Argila + 30% Resíduo de Scheelita
Bf	60% Argila + 40% Resíduo de Scheelita
Bg	50% Argila + 50% Resíduo de Scheelita

3.2.1 Destorroamento e Cominuição

O processo de destorroamento e cominuição da argila foi realizado á seco, manualmente num almofariz com pistilo. Neste processo teve-se o cuidado de eliminar todas as impurezas presentes (raízes, pedras e outros materiais), evitando-se também possíveis contaminações.

O resíduo de scheelita foi cominuído a seco em moinho de bolas (bolas de alumina) por um período de 24 horas. Em seguida foi processado no almofariz com pistilo para desaglomerar o material formado.

3.2.2 Peneiramento

O peneiramento da argila e do resíduo de scheelita foi realizado numa peneira com malha de 200 mesh, equivalendo à peneira ABNT n° 200, com abertura de 0,075 mm. Concluída essa etapa, a argila e o resíduo foi acondicionado em sacos plásticos para a etapa seguinte do processo: mistura e composição dos corpos de prova.

3.2.3 Mistura e Homogeinização

Na preparação das formulações, combinando-se percentuais de argila e resíduo de scheelita, a mistura foi realizada em moinho de bolas do tipo excêntrico, por um período de 15 minutos para cada composição. Após a finalização e completa homogeinização a seco, as formulações foram umedecidas com água destilada (percentual próximo de 10% em peso), adquirindo consistência plástica para o processo de conformação. Todas as composições, misturadas, homogeinizadas e umedecidas foram colocadas em sacos plásticos, preservando a sua umidade, pelo período de descanso de 24 horas.

3.2.4 Conformação por Prensagem

O processo de conformação da massa cerâmica foi realizado através de prensagem uniaxial com uma prensa hidráulica Marcon com capacidade para 15 toneladas, utilizando

Materiais e Métodos

uma matriz metálica. A pressão de compactação usada no processo foi de 25 MPA, sendo aplicada por 30 segundos.

Os corpos de prova produzidos no processo de compactação possuem as seguintes dimensões: 60 mm de comprimento, 20 mm de largura e 2 mm de altura, sendo utilizado para tanto 12 g de massa cerâmica para cada corpo de prova. Foram produzidos 35 (trinta e cinco) corpos de prova por formulação, totalizando 245 (duzentos e quarenta e cinco) corpos de prova.

3.2.5 Secagem

Após a compactação os corpos de prova foram colocados para secagem numa estufa elétrica por um período de 24 horas, numa temperatura de 110°C.

3.2.6 Queima

Os corpos de prova foram queimados num forno tipo mufla, modelo JUNG 0713. A taxa de aquecimento adotada foi de 10°C/min. A isoterma foi de 1 hora na temperatura máxima de trabalho (1200°C). O quadro 4 mostra a distribuição dos corpos de prova para cada queima.

Quadro 4: Distribuição dos corpos de prova por queima.

FORMULAÇÕES	COMPOSIÇÕES						
	850°C	900°C	1000°C	1050°C	1100°C	1150°C	1200°C
B	05	05	05	05	05	05	05
Bb	05	05	05	05	05	05	05
Bc	05	05	05	05	05	05	05
Bd	05	05	05	05	05	05	05
Be	05	05	05	05	05	05	05
Bf	05	05	05	05	05	05	05
Bg	05	05	05	05	05	05	05

Após a queima os corpos de prova foram resfriando naturalmente no interior do forno até a temperatura ambiente.

3.3 Caracterização das Matérias-primas

O objetivo da caracterização das matérias-primas, tanto da argila como do resíduo de scheelita, é determinar suas características físico-químicas, mineralógicas e tecnológicas; em conformidades com as análises apresentadas na sequência.

3.3.1 – Análise Granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras (presumivelmente representativas dos sedimentos) e no tratamento estatístico dessa informação. Basicamente, o que é necessário fazer, é determinar as dimensões das partículas individuais e estudar a sua distribuição, quer pelo peso de cada classe dimensional considerada, quer pelo seu volume, quer ainda pelo número de partículas integradas em cada classe.

Na análise granulométrica, o que se pretende analisar é o tamanho das partículas de uma determinada amostra e a forma como elas se distribuem nessa mesma amostra, considerando que nos materiais argilosos a granulometria influencia o processamento, principalmente quando as peças cerâmicas são produzidas via extrusão, além de influenciarem diretamente nas propriedades finais do material. (Dutra, 2007)

A análise granulométrica da argila caulínica e do resíduo de scheelita utilizado neste trabalho foi realizada através de um granulômetro a laser (CILAS - 920L). As amostras foram preparadas utilizando detergente neutro como agente dispersante, sendo adicionado na solução 2g da matéria-prima para análise; obtendo-se os diâmetros das partículas e as curvas de distribuição granulométrica.

3.3.2 – Análise de Plasticidade

A plasticidade é uma propriedade de grande importância para as argilas (solos de textura fina). Devido à forma lamelar dos grãos das argilas, pode ocorrer um deslocamento

das partículas sem variação do volume. No caso das argilas caulínicas, devido à forma hexagonal de suas partículas, apresentam menor plasticidade. Basicamente as propriedades plásticas dependem do teor de umidade, da forma das partículas, granulometria e composição química e mineralógica.

O índice de plasticidade é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. De acordo com LODI (2000), alguns intervalos do IP para a classificação de argilas são:

IP = 0 Não Plástico

1 < IP < 7 Pouco Plástico

7 < IP < 15 Plasticidade Média

IP > 15 Muito Plástico

A análise de plasticidade (AP) da argila em estudo foi obtida através do método de Atterberg (CAMPOS, L. F. A. et al, 1999). Foram usadas as normas NBR 6457, para preparação das amostras, NBR 6459 para determinação do limite de liquidez (LL) e NBR 7180, para determinação do limite de plasticidade.

3.3.3 – Análise Química por Fluorescência de Raios-X

A fluorescência de raios X é uma técnica não destrutiva que permite não só uma análise qualitativa (identificação dos elementos presentes numa amostra) mais também quantitativa, permitindo estabelecer a proporção em que cada elemento se encontra presente.

A composição química das amostras de argila e resíduo de scheelita é expressa em porcentagens de óxidos. Na realização dessa análise foi utilizado um equipamento do tipo EDX-720 da marca Shimadzu.

As amostras apresentadas para a realização desta análise foram classificadas por peneiramento contendo tamanhos de partículas inferiores a 200 mesh (ABNT n^o 200), ou seja, granulometria inferior a 0,075 mm.

3.3.4 – Análise Mineralógica por Difração de Raios-X – DRX

A difração de raios X (DRX) é uma técnica de caracterização mineralógica de materiais muito utilizada para identificação das espécies minerais presentes e também permite estudar as características cristalográficas destes minerais (BARBA, 1997), onde cada espécie mineral apresenta um modelo de difração específico; contudo, apresentando limitações para sua utilização em materiais amorfos e não cristalinos.

Neste trabalho a argila e o resíduo de scheelita foram realizadas com amostras contendo granulometria inferior a 200 mesh (ABNT n° 200, com abertura de malha de 0,075 mm), sendo utilizado um difratômetro de Raios-X do tipo (DRX -7000) da SHIMADZU com radiação de Cu-K α , tensão de 40KV, com corrente de 30mA com faixa de varredura (2θ) de 10° a 80°. Após a etapa de sinterização os corpos de prova foram cominuídos e peneirados, apresentando granulometria final inferior a 200 mesh (ABNT n° 200); sendo realizado a análise de DRX no mesmo equipamento das amostras anteriores para análise de possíveis transformações de fase.

3.3.5 – Análise Termogravimétrica – TGA

A análise por termogravimetria é técnica na qual a mudança da massa de uma substância é medida em função da temperatura enquanto esta é submetida a uma programação controlada. Tais modificações de massa que ocorrem nos corpos de prova durante a etapa de queima, geralmente ocorrem devido aos processos de decomposição ou oxidação. (DUTRA, 2007)

Neste trabalho, as TGA's da argila, do resíduo de scheelita e da massa cerâmica (argila + resíduo) foram realizadas em analisador termodiferencial (SDT-Q600 de marca TA Instruments), com amostras com granulometria inferior a 200 mesh (ABNT n° 200), sob fluxo de ar sintético (vazão de gás de 50 ml/min), num cadinho de alumina e quantidade de matéria-prima equivalendo a, aproximadamente, 10 mg. A taxa de aquecimento na análise foi de 10°C/min, partindo da temperatura ambiente até a temperatura final de 1200°C.

3.3.6 – Análise Térmica Diferencial – DTA

É a técnica na qual a diferença de temperatura entre uma substância e um material de referência é medida em função da temperatura enquanto a substância e o material de referência são submetidos a uma programação controlada de temperatura.

De acordo com Dutra (2007), a DTA revela mudanças de energia que ocorrem num material durante seu aquecimento ou arrefecimento, resultantes de quatro causas principais: transições de fase, decomposição no estado sólido, reações com gás ativo como oxigênio e transições de 2ª ordem (mudança de entropia sem mudança de entalpia).

Neste trabalho, as DTA's da argila, do resíduo de scheelita e das massas cerâmicas (argila + resíduo) foram realizadas com equipamento, e nas mesmas condições, utilizadas para a análise Termogravimétrica.

3.3.7 – Ensaio Tecnológicos

As propriedades tecnológicas da argila e das formulações com rejeito de scheelita, na forma de corpos de prova, foram determinadas através das análises dos resultados dos ensaios de Absorção de Água (AA%), Retração Linear de Queima (RLq%), Porosidade Aparente (PA%), Massa Específica Aparente (MEA%), Perda de Massa ao Fogo (PF%) e Tensão de Ruptura à Flexão em Três Pontos (TRF).

3.3.7.1 – Ensaio de Perda de Massa ao Fogo – PF

A Perda de Massa ao Fogo de um corpo cerâmico é quantificada através do cálculo de Perda de Massa ao Fogo (PF), sendo os resultados obtidos através da média aritmética dos 05 (cinco) corpos de prova, através da expressão 1.

$$PF = \frac{M_s - M_q}{M_q} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

PF – Perda de Massa ao Fogo [%];

Ms – Massa do Corpo de Prova Após Secagem [g];

Mq – Massa do Corpo de Prova Após a Queima [g].

3.3.7.2 – Ensaio de Retração Linear – RL

A Retração Linear é a variação da dimensão linear do corpo-de-prova, em porcentagem, depois de submetido às condições específicas de temperatura. Nesse caso, foram determinadas as dimensões dos corpos de prova a verde e a seco, após secagem a 110°C, durante 24 horas. A equação (2) expressa os parâmetros para determinação desse ensaio:

$$RLq = \frac{C_s - C_q}{C_q} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

RLq – Retração Linear de Queima [%];

Cs – Comprimento do Corpo de Prova Após Secagem [cm];

Cq – Comprimento do Corpo de Prova Após a Queima [cm].

3.3.7.3 – Ensaio de Absorção de Água – AA

O ensaio de absorção de água é normatizado pela NBR 13818, sendo seu resultado obtido através da equação:

$$AA (\%) = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

AA – Absorção de Água (%);

Mu – Massa do Corpo de Prova Saturado de Água (g);

Ms – Massa do Corpo de Prova Seco (g).

3.3.7.4 – Ensaio de Porosidade Aparente – PA

É a relação entre o volume de poros abertos do corpo de prova em relação ao seu volume total. Esse ensaio foi determinado através da equação:

$$PA (\%) = \frac{(M_u - M_q)}{M_u - M_i} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

PA – Porosidade Aparente (%);

M_u – Massa do Corpo de Prova Úmido (g);

M_q – Massa do Corpo de Prova Sinterizado (g);

M_i – Massa do Corpo de Prova Imerso em Água (g).

3.3.7.5 – Massa Específica Aparente – MEA

O ensaio de massa específica aparente é o valor da massa por unidade de volume, dos corpos de prova. O resultado dessa técnica foi obtido através da equação:

$$MEA (\%) = \frac{M_q}{M_u - M_i} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

MEA – Massa Específica Aparente (%);

M_q – Massa do Corpo de Prova Sinterizado (g);

M_u – Massa do Corpo de Prova Úmido (g);

M_i – Massa do Corpo de Prova Imerso em Água (g).

3.3.7.6 – Tensão de Ruptura à Flexão – TRF

É definida como a máxima tensão de tração, localizado em uma imperfeição do material, também conhecido como módulo de ruptura. O ensaio foi realizado utilizando uma

máquina de ensaios universal do tipo Autograph AG-X 300KN. Como a seção reta do corpo de prova é retangular, a tensão de ruptura determinada pela expressão:

$$\text{TRF (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (6)$$

Onde:

TRF – Tensão de Ruptura à Flexão (kgf/cm²);

P – Carga obtida no momento da ruptura do corpo de prova (kgf);

L – Distância entre os pontos de apoio dos corpos de prova (cm);

b – Largura do corpo de prova no local da ruptura (cm);

h – Altura do corpo de prova no local da ruptura (cm).

3.3.8 – Análise de Microscopia de Varredura – MEV

O microscópio eletrônico de varredura é um tipo de microscópio eletrônico capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra. Devido à maneira com que as imagens são criadas, as mesmas apresentam uma aparência tridimensional característica e são úteis para avaliar a estrutura superficial de uma determinada amostra; permitindo a observação e caracterização de materiais orgânicos e inorgânicos heterogêneos.

Nesse trabalho às amostras foram analisadas em um microscópio de varredura (MEV) de bancada, modelo TM-3000; procurando-se avaliar a interação entre o resíduo de scheelita e a argila utilizada, a formação da microestrutura formada, a formação de novas fases, de acordo com a temperatura de queima, bem a como sua relação direta com as propriedades físico-mecânicas. Foi realizado, também, em certas amostras a microanálise química por energia dispersiva (EDS).

3.3.9 – Análise da Coloração dos Corpos de Prova Após a Queima

Nesta análise os corpos de prova foram agrupados, de acordo com a temperatura de queima, perfazendo 07 (sete) grupos e, em seguida, foram escaneados; percebendo-se a variação de tonalidade das peças com o aumento de temperatura e teor de rejeito de scheelita.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados experimentais obtidos e suas respectivas discussões e análise.

4.1 Caracterização das Matérias-primas

4.1.1 – Avaliação da Plasticidade

O Quadro 5 mostra os resultados obtidos para os limites de Atterberg (LL, LP e IP) da argila utilizada no trabalho (argila de Boa Saúde – RN).

Quadro 5: Limites de Atterberg das matérias-primas.

MATÉRIAS-PRIMAS	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CLASSIFICAÇÃO (ABNT)
Argila	43,6	38,4	5,2	Pouco Plástica
Rejeito de Scheelita	*	*	*	Não Plástica

* Não determinado.

A argila utilizada apresentou IP maior que 5, sendo caracterizada como material de pouca plasticidade. Como o LL é inferior a 50%, a argila é considerada pouco compressível.

4.1.2 – Análise Granulométrica

Os gráficos relativos à granulometria da argila e do resíduo de scheelita são mostrados nas figuras 21 e 22, respectivamente.

A argila apresenta distribuição modal, enquanto o resíduo apresenta distribuição granulométrica considerada bimodal. Observa-se que a argila apresenta um percentual de partículas (em torno de 90%) com diâmetro de até 22,02 μm ; enquanto o resíduo um percentual em torno de 90%, com partículas com diâmetro de até 46,65 μm . O diâmetro

Resultados e Discussão

médio apresentado pela argila foi de 10,69 μm , enquanto o diâmetro médio do resíduo de scheelita foi de 21,07 μm .

A curva da argila apresentou partículas com diâmetro de até 9,02 μm em 50% de sua população e diâmetro de até 1,79 μm em 10%. O resíduo por sua vez, apresenta tamanho de partícula com diâmetro de até 16,65 μm em 50% de sua população, indicando a presença de elevada quantidade de quartzo e, portanto, indicando ser um material de pouca plasticidade, e diâmetro de até 1,44 μm em 10%.

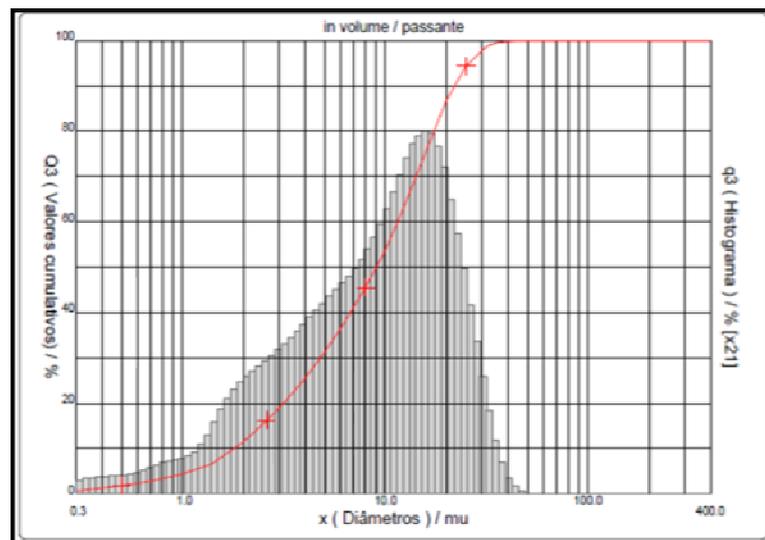


Figura 21: Granulometria da Argila de Boa Saúde-RN.

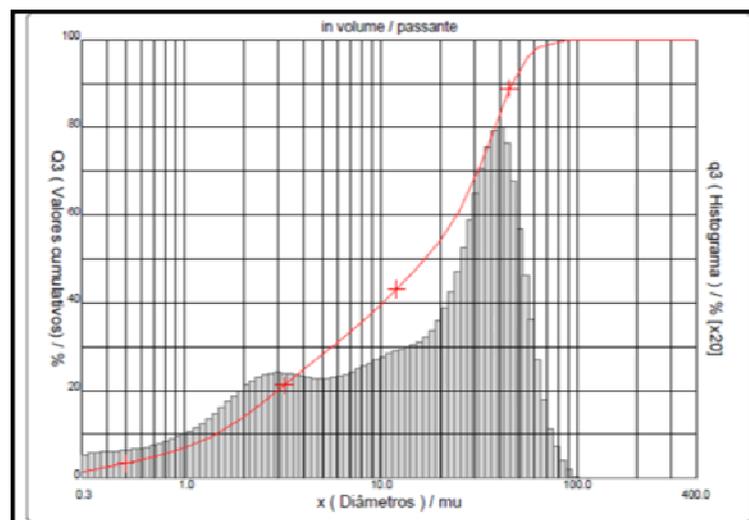


Figura 22: Granulometria do Resíduo de Scheelita.

4.1.3 – Análise por Fluorescência de Raios-X

O Quadro 6 mostra o resultado de fluorescência de raios-X realizado na argila de Boa Saúde-RN. O Quadro 7 mostra o resultado de fluorescência de raios-X realizado no resíduo de scheelita.

Quadro 6: Análise semi-quantitativa da argila de Boa Saúde/RN – FRX.

ÓXIDOS	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	SO ₃	BaO	ZrO ₂	MnO	SrO	Outros
%	74,30	16,71	1,07	0,61	0,17	0,14	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	6,87

Quadro 7: Análise semi-quantitativa do resíduo de scheelita (Mina Brejuí/RN) – FRX.

ÓXIDOS	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	MnO	TiO ₂	SrO	SO ₃
%	41,34	19,05	13,39	4,46	4,27	0,64	0,37	0,16	0,12	0,10

ÓXIDOS	WO ₃	V ₂ O ₅	CuO	Cr ₂ O ₃	ZnO	ZrO ₂	NiO	Rb ₂ O	MoO ₃	Outros
%	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	15,92

Na argila observa-se que o principal óxido presente é o SiO₂ (sílica), com teor de 74,30%. Isto indica a presença de silicatos e sílica livre. Os silicatos são os argilominerais, as micas e os feldspatos. A sílica livre corresponde ao quartzo; o que propicia uma redução na plasticidade da argila. Tal resultado está em conformidade com o ensaio de plasticidade (MÁS, 2002). O outro óxido em maior proporção na argila é o Al₂O₃ com um teor de 16,71%. Em geral esse óxido encontra-se combinado formando os argilominerais. O óxido de potássio - K₂O, com teor de 1,07%, encontra-se presente geralmente na forma de feldspatos. É considerado um fundente e confere resistência mecânica quando sinterizado entre 950 e 1000°C. Percebe-se nesse ensaio o baixo teor de óxido de ferro Fe₂O₃. Em função disso a argila apresenta coloração clara após a queima. Os demais óxidos com teor abaixo de 1,5% são considerados impurezas.

No resíduo de scheelita o óxido em maior porcentagem é o óxido de cálcio – CaO, com 41,34%. O CaO e MgO são agentes fundentes e tendem a diminuir a refratariedade das peças, indicam a presença de calcita, dolomita e massas calcárias que requerem moagem e temperaturas de sinterização aproximadamente a 1100°C (MÁS, 2002).

A sílica encontra-se presente com 19,05%, seguida do óxido de alumínio – Al₂O₃, com 13,39%; constituindo os argilominerais. O óxido de ferro – Fe₂O₃ encontra-se num percentual

Resultados e Discussão

de 4,46%, propiciando no produto final uma alteração na coloração das peças com o aumento de temperatura de queima; sendo responsável pela coloração vermelha ou amarelada. Ele Reduz também a plasticidade, mas também diminui a retração e facilita a secagem. Propicia a diminuição na resistência mecânica, mas, o pouco que funde durante a queima, proporciona dureza ao vidro (MÁS, 2002). Os demais óxidos representam pouco mais de 1,2%, podendo ser considerados impurezas.

4.1.4 – Análise Mineralógica por Difração de Raios-X

As figuras 23 e 24 mostram os difratogramas da argila e do resíduo de scheelita, respectivamente; apresentando a análise mineralógica dessas matérias-primas.

Percebe-se na argila a presença de quartzo (SiO_2) e caulinita [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$], estando em conformidade com resultados obtidos na análise por fluorescência de raios-X.

No difratograma realizado no resíduo de scheelita verifica-se a presença dos minerais calcita (CaCO_3), quartzo (SiO_2), Diopísidio [$\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$], geralmente associada a calcita, e Flogopita [$\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}\text{F}_2$], mineral da classe dos silicatos e do grupo das micas; estando de acordo com a análise por fluorescência de raios-X.

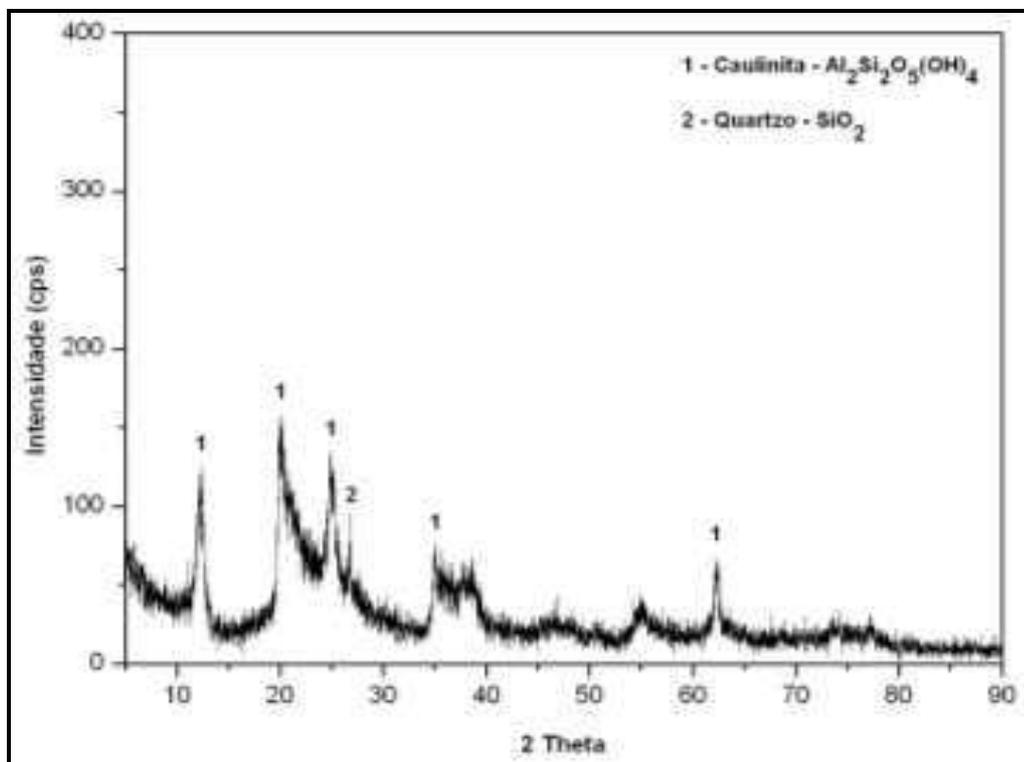


Figura 23: Difratograma da Argila de Boa Saúde-RN.

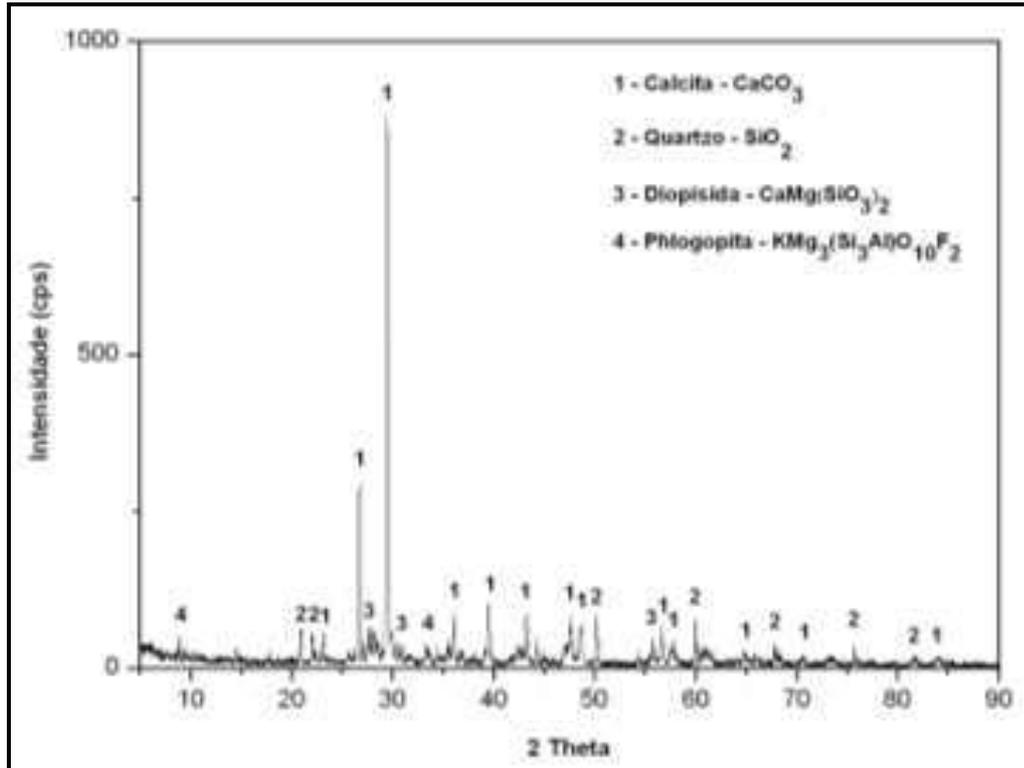


Figura 24: Difratoograma do Resíduo de Scheelita.

4.1.5 – Análise Térmica

4.1.5.1 – Análise Térmica Diferencial – DTA

As figuras 25 e 26 apresentam as curvas da análise térmica diferencial (DTA) da argila e do rejeito de scheelita, respectivamente, utilizado neste trabalho.

Na figura 25, correspondente ao DTA da argila de Boa Saúde, percebe-se a presença de dois picos endotérmicos.

O primeiro pico endotérmico (\downarrow) ocorre em torno de $65,17^{\circ}\text{C}$. Isto se deve a eliminação de água livre, que se encontra sobre a superfície das partículas da argila. (CHAVES, 2009)

O segundo pico endotérmico encontra-se na faixa de $427,98^{\circ}\text{C}$, numa faixa que corresponde a eliminação dos íons OH^- da estrutura cristalina. (CHAVES, 2009)

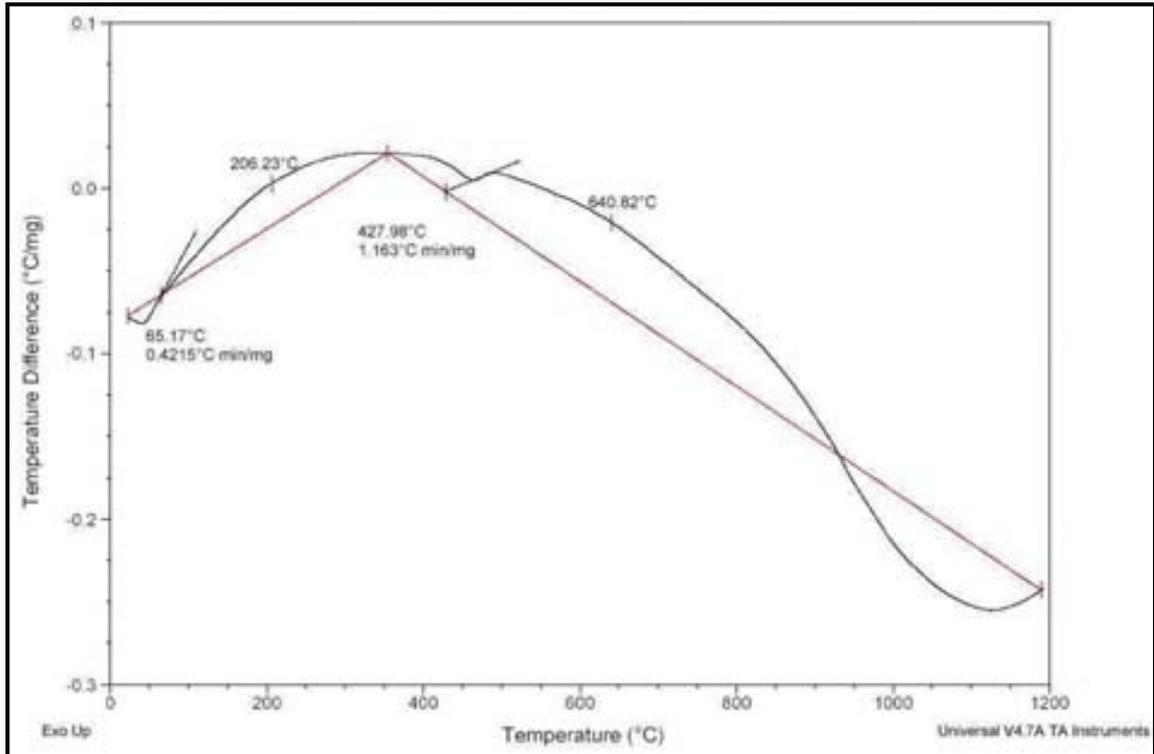


Figura 25: DTA da argila de Boa Saúde-RN.

A figura 26 mostra o DTA do resíduo de scheelita. Nesta figura percebe-se a presença de dois picos endotérmicos (\downarrow) e dois picos exotérmicos (\uparrow).

O primeiro pico endotérmico encontra-se na faixa de 47,82°C, correspondendo a eliminação de água livre, que se encontra sobre a superfície das partículas do resíduo.

O segundo pico endotérmico encontra-se na faixa de 703,92°C, correspondendo as reações de desidroxilação, ou seja, eliminação dos radicais OH⁻ dos hidróxidos presentes. Como o resíduo de scheelita é constituído por vários óxidos, conforme análise de FRX, há a formação de hidróxidos devido a umidade presente.

O primeiro pico exotérmico encontra-se na faixa de 781°C, correspondendo a decomposição de óxidos presentes.

O pico exotérmico encontra-se na faixa de 1037,52°C, correspondendo a cristalização de fase amorfa ou formação de fases vítreas. (LEGLER, 2006)

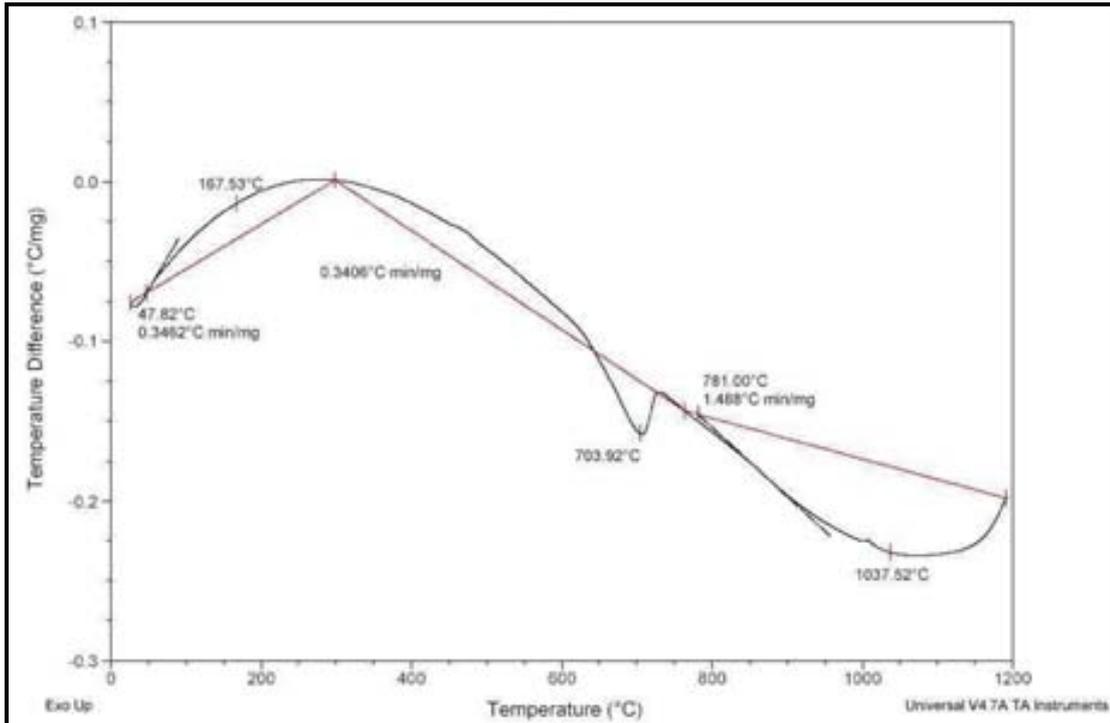


Figura 26: DTA do resíduo de scheelita.

4.1.5.2 – Análise Termogravimétrica – TGA

As figuras 27 e 28 representam as curvas da análise termogravimétrica (TG) da argila e do rejeito de scheelita, respectivamente, e suas respectivas derivadas.

Na figura 27, correspondente a argila, ocorreu uma perda de massa de aproximadamente 4,350% devido à eliminação de água adsorvida a sua superfície, que ocorre na faixa de 54,27°C a 300°C.

Percebe-se uma perda de massa de 3,138%, na faixa entre 300°C e 650°C, correspondendo a perda de massa molecular, que ocorre na faixa entre 400 e 600°C, e a eliminação de íons OH⁻ da estrutura cristalina. Na faixa de 650°C e 1200°C ocorre uma perda de massa de 1,476%, equivalendo a decomposição de matéria orgânica restante e dos óxidos presentes.

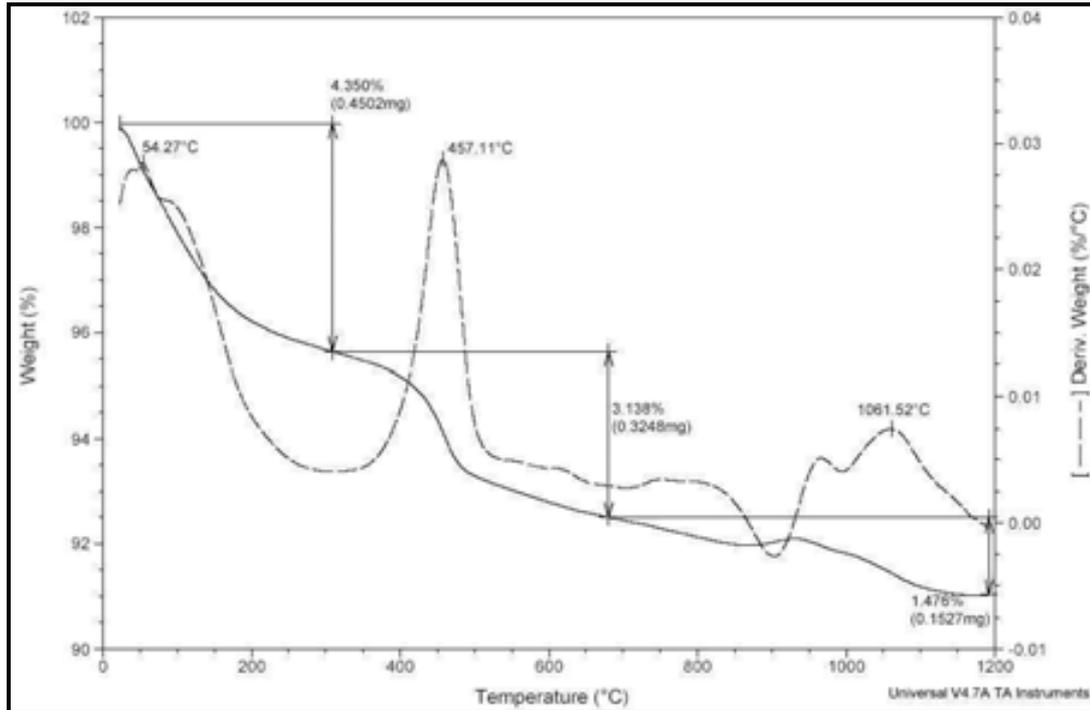


Figura 27: TGA da argila de Boa Saúde-RN.

Na figura 28, correspondente ao resíduo de scheelita, observa-se uma perda de massa de 16,08%, na faixa de 0°C a 1200°C. Inicialmente, essa perda correspondendo a perda de água, associada com a decomposição de matéria orgânica (como o resíduo é lançado no meio ambiente, com o passar dos anos há deposição de matéria orgânica no mesmo). Além disso, percebe-se que na constituição do resíduo de scheelita existem vários óxidos (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , dentre outros), o que propiciou a formação de hidróxidos na presença de umidade. A perda de massa mais acentuada se dá na faixa de 700°C, correspondendo a perda de hidroxilas, seguida da decomposição desses óxidos.

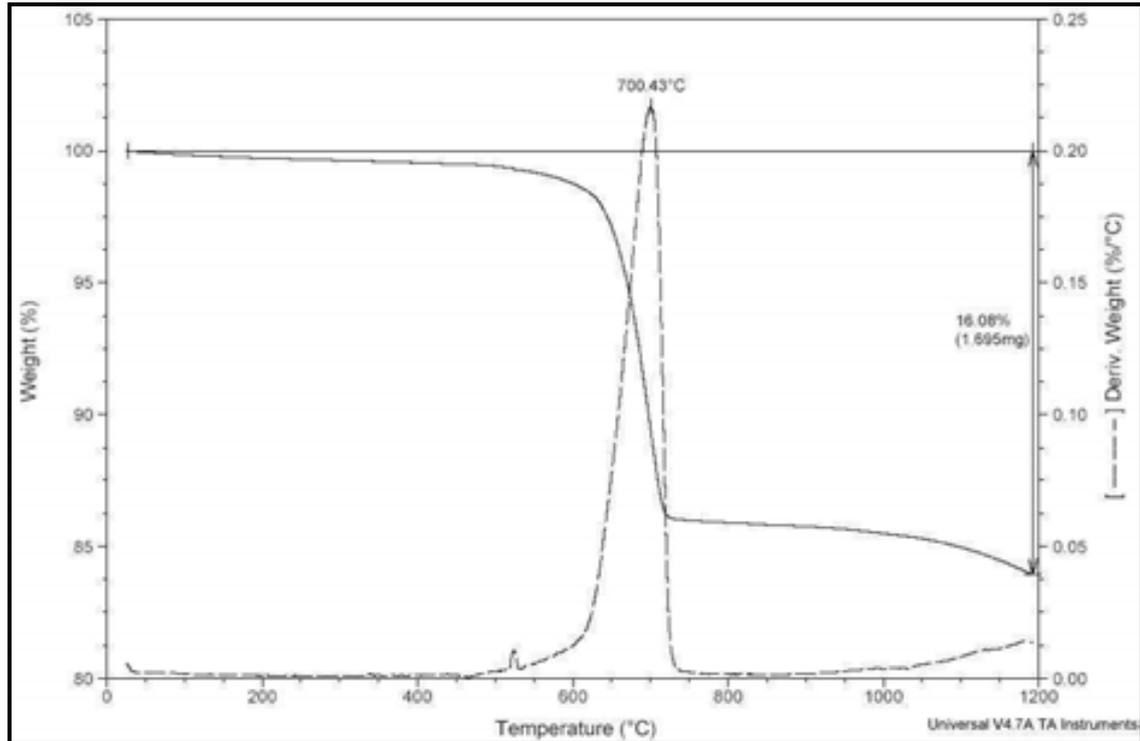


Figura 28: TGA do resíduo de scheelita.

4.2 Ensaio Tecnológicos da Argila e das Formulações

4.2.1 – Perda de Massa ao Fogo

A Tabela 2 mostra o resultado da perda de massa ao fogo realizado na argila e nas formulações, com os seus respectivos desvios padrões, nas diferentes temperaturas de queima. A figura 29 mostra representação gráfica desses valores obtidos.

Analisando os resultados percebe-se que a perda de massa na argila tende a crescer com o aumento da temperatura de queima. Contudo, a partir de 900°C essa perda permaneceu praticamente inalterada.

As formulações (Bb, Bc e Bd); ou seja, com 5, 10 e 20% de resíduo de scheelita a perda de massa permaneceu inalterada. A partir de 30, 40 e 50% de resíduo, formulações Be, Bf e Bg, respectivamente; percebe-se que quanto maior o teor de resíduo mineral maior foi à perda de massa. Tal fato é explicado devido o resíduo de scheelita apresentar uma perda de massa elevada (em torno de 16%), conforme análise térmica de TGA e de perda de massa obtida quando da análise de FRX.

Resultados e Discussão

Notadamente a maior perda de massa ocorreu na formulação Bg, que apresenta 50% de resíduo de scheelita, na faixa de temperatura entre 1100°C e 1150°C.

Tabela 2: Perda de Massa ao Fogo da Argila utilizada e das Formulações Após a Queima.

Temperaturas	Matéria-prima		
	Argila Caulinitica – Boa Saúde/RN		
	B		
850°C	12,402 ± 0,07		
900°C	12,817 ± 0,16		
1000°C	13,010 ± 0,70		
1050°C	13,843 ± 0,03		
1100°C	12,860 ± 0,18		
1150°C	13,316 ± 0,63		
1200°C	12,326 ± 0,06		
	Formulações:		
	Bb	Bc	Bd
850°C	12,157± 0,07	10,239±0,06	12,225±0,05
900°C	12,157± 0,07	9,882±0,10	10,948±0,27
1000°C	12,517± 0,02	10,456±0,06	10,799±0,25
1050°C	13,266± 0,03	10,870±0,05	11,892±0,25
1100°C	11,934± 0,04	9,986±0,09	10,537±0,38
1150°C	10,537±0,38	10,750±0,03	12,767±0,18
1200°C	10,713± 0,20	10,022±0,38	13,660±0,59
	Formulações:		
	Be	Bf	Bg
850°C	13,838±0,06	14,753±0,05	15,099±0,08
900°C	14,835±0,29	14,785±0,04	15,102±0,13
1000°C	16,043±0,10	15,483±0,10	15,665±0,02
1050°C	15,745±0,30	16,184±0,42	16,435±0,10
1100°C	15,697±0,25	15,103±0,24	16,041±0,22
1150°C	14,427±0,28	*	*
1200°C	*	*	*

* As amostras fundiram.

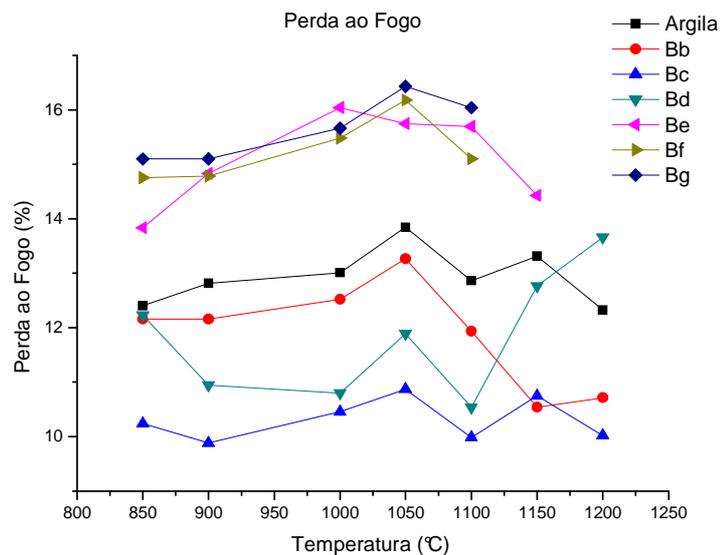


Figura 29: Gráfico de Perda ao Fogo da argila e das formulações.

4.2.2 – Retração Linear da Argila e das Formulações

A Tabela 3 mostra o resultado do ensaio de retração linear realizado na argila e nas formulações, com os seus respectivos desvios padrões e nas diferentes temperaturas de queima. A figura 30 mostra a representação gráfica desses valores obtidos.

Notadamente, a argila e as formulações apresentaram um aumento crescente na retração linear com o aumento de temperatura de queima; apresentando os menores valores na temperatura de 850°C e os maiores a 1200°C.

Na composição Bb, com 5% de resíduo de scheelita, houve uma redução acentuada na retração a partir da temperatura de 1100°C, comparando-se com o resultado obtido para as peças com 100% de argila.

Percebe-se que quanto maior o teor de resíduo de scheelita, menor será a taxa de retração linear nas amostras. A partir de 20% de resíduo esse fato fica bem acentuado e, com 50% de resíduo a retração atingiu seus menores valores, estabilizando-se praticamente em todas as temperaturas de queima. Nota-se também que, com o teor de resíduo entre 30 e 50%, nas temperaturas de queima entre 1100 e 1200°C ocorre pequeno aumento na retração, justificado provavelmente pela formação de fase vítrea que ocorre, em geral, nessa faixa de temperatura.

Tabela 3: Ensaio de Retração Linear da Argila e das Formulações Após a Queima.

Temperaturas	Matéria-prima Argila Caulinitica – Boa Saúde/RN B		
	B		
850°C	2,815 ± 0,16		
900°C	3,193 ± 0,12		
1000°C	6,398 ± 0,35		
1050°C	8,493 ± 0,27		
1100°C	11,830 ± 0,23		
1150°C	14,447 ± 0,02		
1200°C	14,980 ± 0,09		
	Formulações:		
	Bb	Bc	Bd
850°C	2,401±0,05	1,494±0,06	3,439±0,00
900°C	2,761±0,02	1,618±0,08	1,538±0,09
1000°C	5,816±0,43	3,678±0,11	2,295±0,08
1050°C	7,620±0,19	4,249±0,29	2,254±0,24
1100°C	8,540±0,16	5,471±0,05	2,619±0,06
1150°C	9,344±0,50	6,549±0,15	9,806±0,36
1200°C	9,500±0,07	7,724±0,11	6,162±0,14
	Formulações:		
	Be	Bf	Bg
850°C	1,080±0,07	1,662±0,37	1,031±0,18
900°C	2,998±0,07	2,074±0,20	1,150±0,06
1000°C	4,201±0,14	2,263±0,01	1,688±0,10
1050°C	4,529±0,13	2,131±0,05	1,629±0,06
1100°C	4,936±0,14	4,383±0,70	3,229±0,22
1150°C	5,006±0,03	*	*
1200°C	*	*	*

* As amostras fundiram.

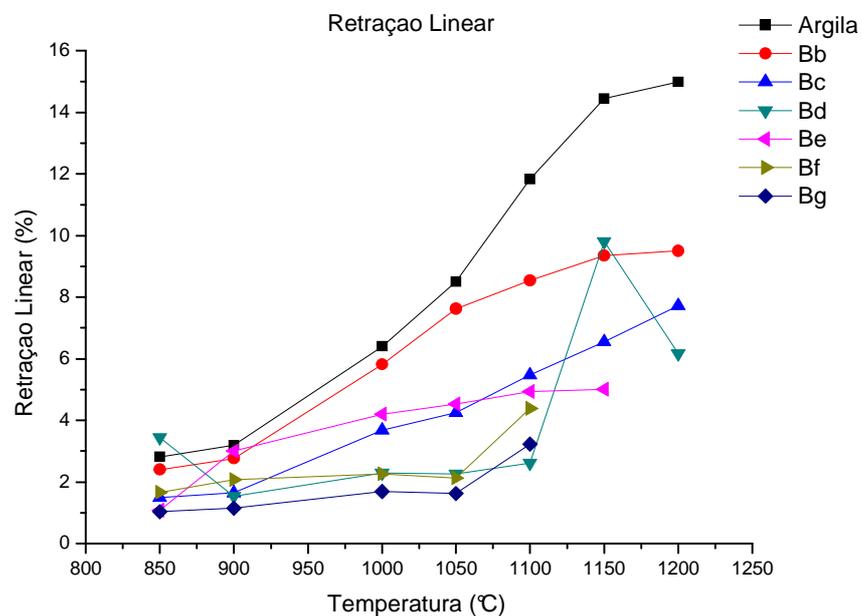


Figura 30: Gráfico de Retração Linear da Argila e das Formulações.

4.2.3 – Absorção de Água da Argila e das Formulações

A Tabela 4 mostra o resultado do ensaio de absorção de água realizado na argila e nas formulações, com os seus respectivos desvios padrões, nas diferentes temperaturas de queima. A figura 31 mostra a representação gráfica dos valores obtidos.

Observa-se que o resultado de absorção de água na argila, bem como nas formulações, estão coerentes com os resultados obtidos no ensaio de retração linear apresentados na figura 30. Uma redução na absorção de água com o aumento crescente da temperatura de queima das estruturas sinterizadas preparadas com argila e com pós compósitos cerâmicos (formulações Bb, Bc e Bd) também é observado.

Nas composições Be, Bf e Bg praticamente a absorção de água permaneceu inalterada na faixa de temperatura de 850°C a 1050°C. Na composição Bf e Bg, na temperatura de 1100°C ocorreu redução na absorção de água pela possível formação inicial de fase vítrea. Acima de 1100°C as composições Bf e Bg fundiram. Na temperatura de 1150°C a formulação Be apresentou uma redução drástica na absorção de água e na temperatura de 1200°C as composições Be, Bf e Bg fundiram.

Tabela 4: Ensaio de Absorção de Água da Argila e das Formulações após a queima.

Temperaturas	Matéria-prima		
	Argila Caulinitica – Boa Saúde/RN		
	B		
850°C	20,6026±0,52		
900°C	19,6738± 0,39		
1000°C	16,3212 ±0,78		
1050°C	13,0059± 0,55		
1100°C	8,3323 ± 0,43		
1150°C	6,0930 ± 0,97		
1200°C	3,5980 ± 0,36		
	Formulações:		
	Bb	Bc	Bd
850°C	22,4816± 1,47	23,4127±1,28	19,9979±0,41
900°C	20,6189± 0,68	22,2143±0,31	19,4858±0,27
1000°C	17,2174± 0,56	20,8733±1,50	18,4390±0,86
1050°C	13,5145± 1,07	17,5205±2,49	16,6491±2,26
1100°C	13,6779± 0,36	17,3174±1,11	17,0945±0,29
1150°C	11,5975± 0,77	13,3777±1,60	11,3144±0,83
1200°C	8,5903± 0,48	8,0355±1,17	8,0612±0,54
	Formulações:		
	Be	Bf	Bg
850°C	23,0255±0,16	21,4449±0,16	21,7275±0,52
900°C	22,2387±0,32	20,6330±0,23	20,5246±0,34
1000°C	22,6570±0,37	20,5623±0,45	21,3447±0,08
1050°C	22,9167±0,45	20,1801±0,36	20,8647±0,45
1100°C	21,2715±0,65	15,1263±2,02	15,1138±0,25
1150°C	2,5604±0,99	*	*
1200°C	*	*	*

* As amostras fundiram.

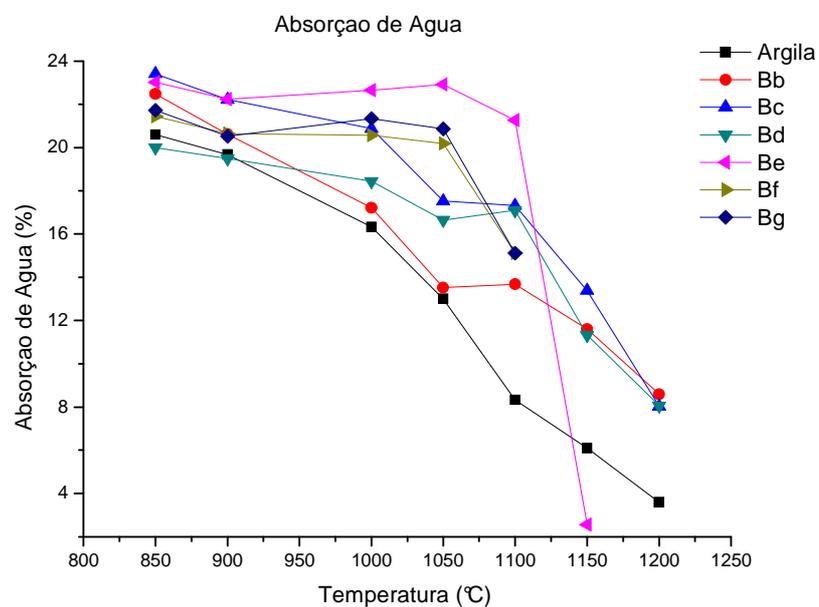


Figura 31: Gráfico de Absorção de Água dos corpos de prova (argila e formulações) após a queima.

4.2.4 – Porosidade Aparente da Argila e das Formulações

A Tabela 5 mostra o resultado do ensaio de Porosidade Aparente realizado nos corpos de prova feitos de argila e dos compósitos, com os seus respectivos desvios padrões, nas diferentes temperaturas de queima. A figura 32 mostra a representação gráfica desses valores obtidos.

Os resultados do ensaio de porosidade aparente nos corpos de prova de argila e dos pós compósitos estão coerentes com os resultados de absorção de água e retração linear de queima. Verifica-se, em geral, uma redução na porosidade aparente com o aumento na temperatura de queima.

Percebe-se que na faixa de temperatura de 850 a 1000°C uma variação em torno de 1 a 1,5% na porosidade aparente, independente do teor de resíduo. A partir de 1150°C ocorre uma redução acentuada na porosidade, naturalmente pelo início da formação de fase vítrea com redução da quantidade de poros; atingindo seus menores valores nas temperaturas mais elevadas. A composição Be apresentou o menor resultado para a porosidade, na temperatura de 1150°C. A formulação Bf e Bg fundiu nessa mesma temperatura.

O comportamento das curvas de porosidade aparente para as temperaturas de 850°C a 1200°C estão em perfeita concordância com os resultados obtidos para as curvas de absorção de água apresentados anteriormente, com os valores de porosidade aparente aumento ou diminuindo, juntamente com os valores da absorção de água.

Tabela 5: Ensaio de Porosidade Aparente da Argila e das Formulações.

Temperaturas	Matéria-prima		
	Argila Caulinitica – Boa Saúde/RN		
	B		
850 ^o C	32,4128± 0,49		
900 ^o C	31,3636±0,37		
1000 ^o C	25,3014± 1,06		
1050 ^o C	20,3241± 1,07		
1100 ^o C	13,6709± 0,67		
1150 ^o C	10,3568± 1,54		
1200 ^o C	6,3111± 0,63		
	Formulações:		
	Bb	Bc	Bd
850 ^o C	31,1072±1,56	32,4808±1,36	28,2516±0,12
900 ^o C	28,7354±1,06	31,4709±0,26	26,8269±0,32
1000 ^o C	24,6025±0,51	28,5290±0,57	25,2309±0,96
1050 ^o C	20,0913± 1,32	27,5138±0,29	23,3356±2,60
1100 ^o C	20,1584±0,51	25,3553±1,48	24,6445±0,23
1150 ^o C	18,9863± 1,33	21,7043±2,72	18,7507±2,38
1200 ^o C	14,7896± 0,95	15,0970±1,54	14,0017±1,03
	Formulações:		
	Be	Bf	Bg
850 ^o C	31,5936±0,55	28,7353±0,53	27,5312±0,62
900 ^o C	29,6038±0,30	28,3641±1,36	26,5929±0,24
1000 ^o C	29,7197±0,38	26,7142±0,39	27,6225±0,09
1050 ^o C	29,3271±0,60	25,0646±2,26	25,0076±2,25
1100 ^o C	27,9444±0,38	20,8937±1,76	21,3942±0,26
1150 ^o C	4,7109±1,70	*	*
1200 ^o C	*	*	*

* As amostras fundiram.

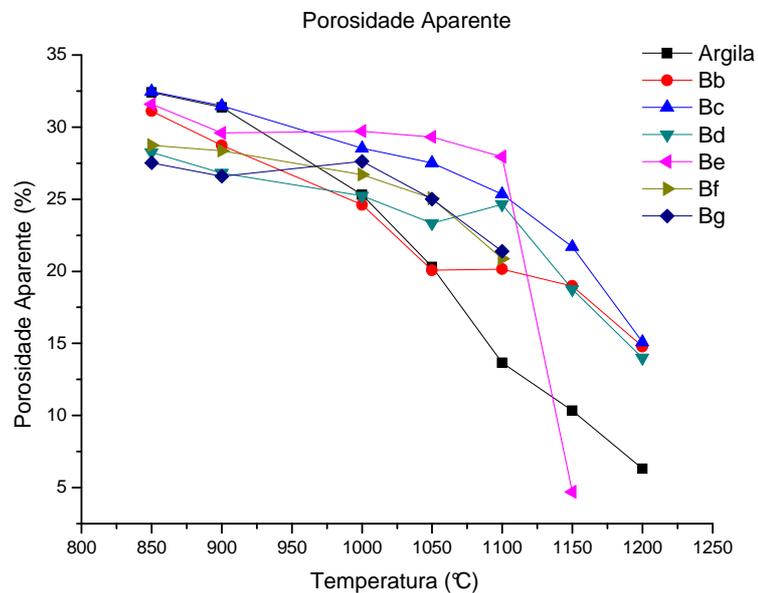


Figura 32: Gráfico da Porosidade Aparente da Argila e das Formulações.

4.2.5 – Massa Específica Aparente dos Corpos de Prova Sinterizados

A tabela 6 mostra o resultado do ensaio de Massa Específica Aparente da argila e das formulações, com os seus respectivos desvios padrões, nas diferentes temperaturas de queima. A figura 33 mostra a representação gráfica dos valores obtidos.

Percebe-se que a argila apresentou os maiores valores para a massa específica aparente, estando coerentes com os resultados de maior retração linear, menor absorção de água e menor porosidade aparente, por possuir maior plasticidade comparada com a das formulações com teor de até 20% de resíduo. Notadamente há uma pequena variação na massa específica com o aumento de temperatura, fator característico de uma argila pouco plástica.

As formulações apresentaram menor massa específica aparente, na faixa de temperatura entre 850°C e 1100°C, para as composições Bb, Bc e Bd. A partir da temperatura de 1150° esses valores apresentaram um aumento mais significativo, atingindo seus maiores valores na temperatura de 1200°C. Notadamente, temperaturas acima de 1150°C, com o incremento de resíduo de scheelita, as massas específicas aparentes apresentaram os maiores resultados.

Tabela 6: Massa específica Aparente da Argila e das Formulações.

Temperaturas	Matéria-prima		
	Argila Caulinitica – Boa Saúde/RN		
	B		
850°C	1,57±0,02		
900°C	1,59±0,01		
1000°C	1,55±0,02		
1050°C	1,56±0,04		
1100°C	1,64±0,02		
1150°C	1,70±0,02		
1200°C	1,75±0,01		
	Formulações:		
	Bb	Bc	Bd
850°C	1,39±0,03	1,39±0,02	1,41±0,03
900°C	1,39±0,02	1,41±0,01	1,37±0,02
1000°C	1,43±0,02	1,42±0,02	1,37±0,01
1050°C	1,49±0,02	1,48±0,08	1,40±0,04
1100°C	1,47±0,04	1,46±0,03	1,44±0,01
1150°C	1,64±0,03	1,62±0,05	1,57±0,04
1200°C	1,72±0,04	1,89±0,09	1,74±0,01
	Formulações:		
	Be	Bf	Bg
850°C	1,37±0,02	1,34±0,03	1,26±0,00
900°C	1,33±0,03	1,46±0,20	1,30±0,01
1000°C	1,31±0,01	1,30±0,01	1,29±0,01
1050°C	1,28±0,01	1,34±0,04	1,32±0,06
1100°C	1,31±0,03	1,39±0,07	1,46±0,05
1150°C	1,86±0,06	*	*
1200°C	*	*	*

* As amostras fundiram

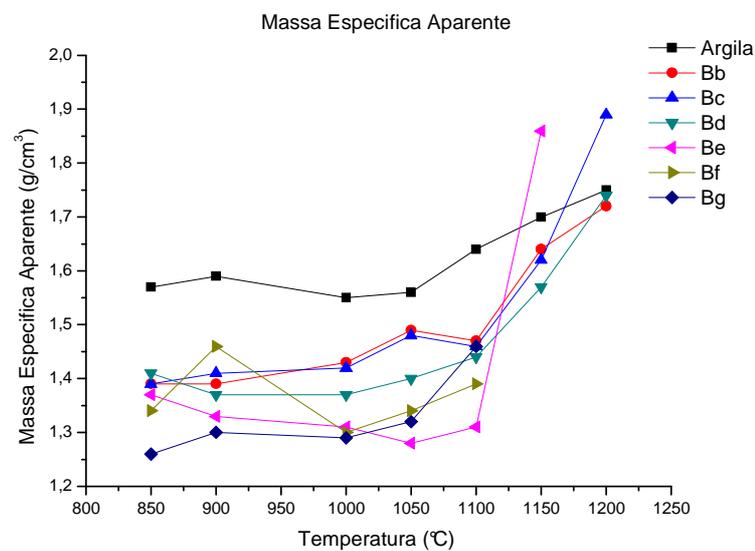


Figura 33: Gráfico da Massa Específica Aparente da Argila e das Formulações.

4.2.6 – Resistência à Flexão em Três pontos

A Tabela 7 mostra o resultado do ensaio de resistência à flexão realizado na argila e nas formulações, com os seus respectivos desvios padrões, nas diferentes temperaturas de queima. A figura 34 mostra a representação gráfica desses valores obtidos.

Percebe-se que a argila apresentou os maiores valores de resistência à flexão, estando coerentes com os resultados tecnológicos anteriores. Notadamente, quanto maior a temperatura de queima, maior a resistência à flexão. Os menores valores são obtidos entre 850 e 900°C e as maiores resistências à flexão nas temperaturas 1150 e 1200°C. Pequenas discrepâncias ocorridas encontram-se dentro da faixa de erro.

Nas formulações nota-se que com o incremento de resíduo de scheelita na massa cerâmica propiciou uma redução na resistência das peças, devido possivelmente a perda de massa que o resíduo proporciona. Notadamente, em geral, quanto maior o teor de resíduo, menor será a resistência à flexão. Percebe-se, também, que quanto maior a temperatura de queima, maior é a resistência à flexão, visto que ocorrerá diminuição da quantidade de poros, com provável formação de fase líquida e uma maior interação entre as partículas constituintes. Temperaturas superiores a 1150°C propiciaram as maiores resistências para todas as formulações. No geral, a formulação Bd apresentou os melhores resultados.

Tabela 7: Ensaio de resistência à Flexão da Argila e das Formulações Após a Queima.

Temperaturas	Matéria-prima		
	Argila Caulinítica – Boa Saúde/RN		
	B		
850°C	15,3516±0,01		
900°C	13,1049±0,33		
1000°C	21,3410±0,64		
1050°C	23,6975±1,94		
1100°C	24,5824±1,24		
1150°C	20,6717±1,41		
1200°C	30,5288±1,79		
	Formulações:		
	Bb	Bc	Bd
850°C	9,0541±1,26	5,5527±0,06	11,3969±0,54
900°C	9,6432±0,75	5,5806±0,46	11,4751±0,35
1000°C	10,2122±1,26	6,0032±0,15	11,2971±1,15
1050°C	11,5910±0,53	6,7459±0,31	12,3614±0,60
1100°C	10,9373±0,76	7,5094±0,71	13,7081±2,13
1150°C	12,8412±1,03	7,4256±0,69	12,1820±0,45
1200°C	11,6758±1,10	9,9154±0,37	14,4454±2,16
	Formulações:		
	Be	Bf	Bg
850°C	7,0281±0,25	7,7581±0,62	4,2239±0,29
900°C	6,5638±0,30	6,9254±0,30	3,5351±0,23
1000°C	6,4089±0,23	8,7426±0,58	4,3227±0,42
1050°C	6,2071±0,21	7,4765±0,40	5,3397±0,48
1100°C	8,1970±0,22	11,9845±0,60	9,3097±1,04
1150°C	18,5035±0,70	*	*
1200°C	*	*	*

* As amostras fundiram.

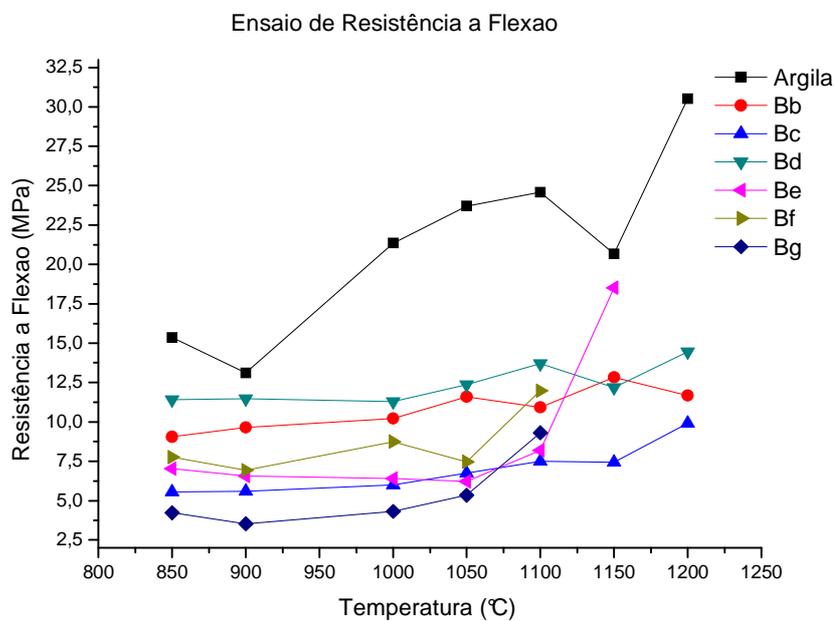


Figura 34: Gráfico de Resistência à Flexão da Argila e das Formulações.

4.3 Coloração dos Corpos de Prova Após a Sinterização: Fotografia via Scanner

A figura 35 mostra as fotos dos corpos de prova com 100% de argila caulínica, em todas as faixas de temperatura de queima utilizadas. Na faixa de 850 a 1050°C a cor permanece praticamente constante, tendendo a cor bege claro, característica de argila caulínica; conforme análise química de FRX. De 1000 a 1200°C a cor das peças tendem a cor alaranjado, devido aos óxidos presentes (K_2O , Fe_2O_3 , MnO).

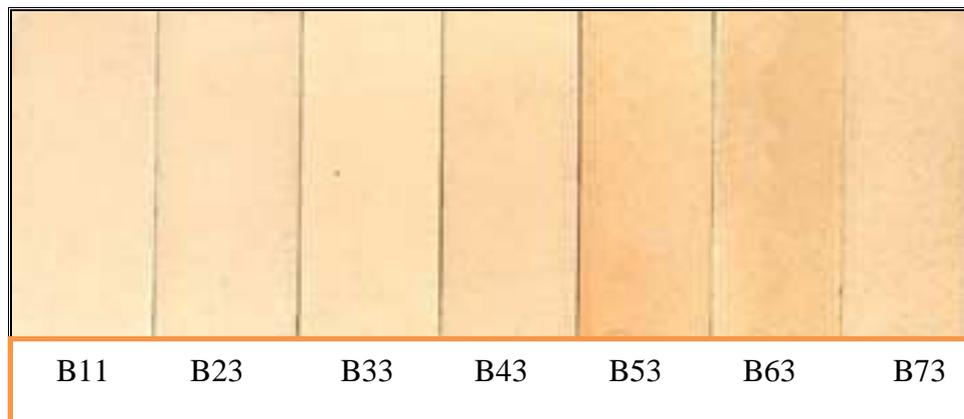


Figura 35: Foto dos corpos de prova com 100% de argila caulínica (Boa Saúde-RN).

As figuras de 36 a 39 mostram as fotos dos corpos de prova das formulações Bb, Bc, Bd e Be (5, 10, 20 e 30% de resíduo de scheelita), queimados em todas as faixas de temperatura, com isoterma de 1 hora. Percebe-se que existe uma ampla faixa de tonalidades obtidas com a utilização do resíduo de scheelita, indo desde o bege claro até cor marrom, passando pelo laranja claro e laranja escuro. Tal possibilidade de obtenção dessa faixa deve-se a presença dos óxidos que, em conjunto com os óxidos presentes na argila, acentuaram a tonalidade das peças e propiciaram tal fato. Esses óxidos estão em conformidade com a análise química por fluorescência de raios-X realizada no rejeito de scheelita (Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO e outros).

Notadamente, quanto maior a quantidade de rejeito presente mais intensa é a tonalidade obtida na peça.

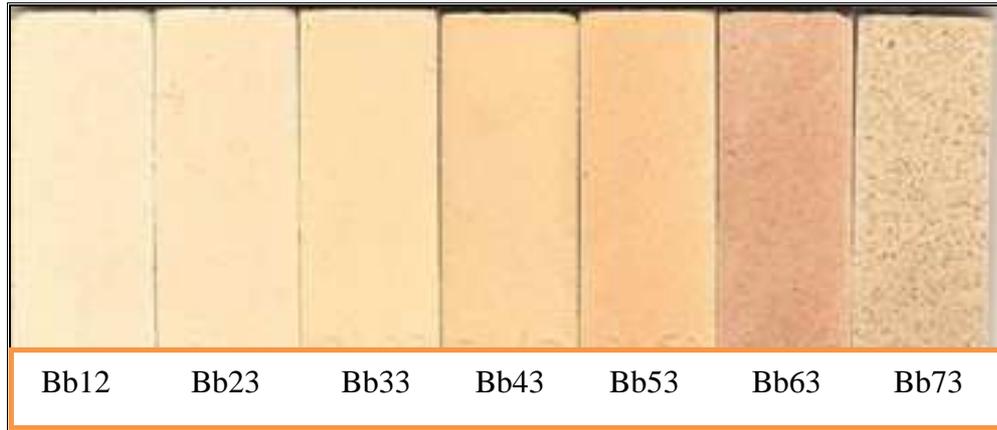


Figura 36: Foto dos corpos de prova Série Bb.



Figura 37: Foto dos corpos de prova Série Bc.

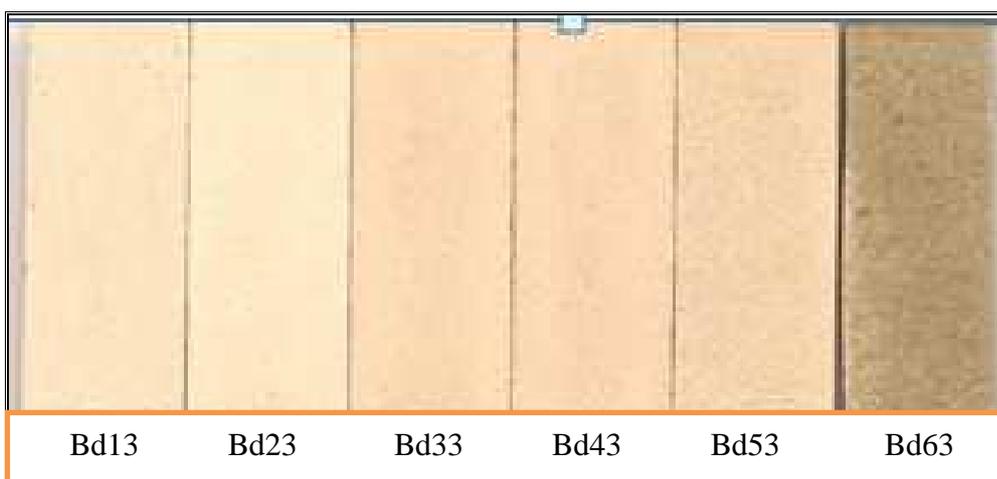


Figura 38: Foto dos corpos de prova Série Bd.

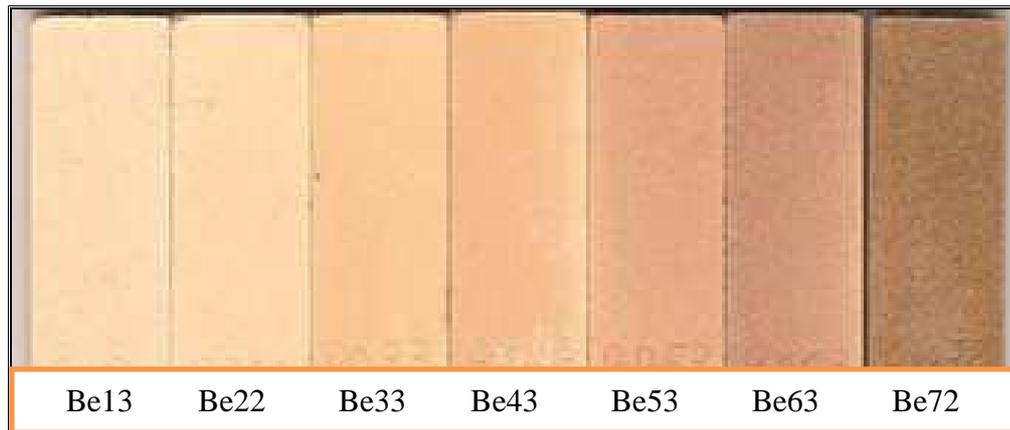


Figura 39: Foto dos corpos de prova Série Be.

As figuras 40 e 41 mostram os corpos de prova das séries Bf e Bg, com 40 e 50% de resíduo de scheelita, respectivamente. A variação de tonalidade permanece a mesma, sendo que nas peças da série Bg as peças apresentaram machas na superfície, devido possivelmente à formação de fases distintas e pontos de formação dos sítios de sílica vítrea.

Os corpos de prova dessas séries nas temperaturas de 1150°C e 1200°C fundiram, apresentando-se como uma pasta vidrada, conforme figuras 42 e 43.



Figura 40: Foto dos corpos de prova Série Bf.

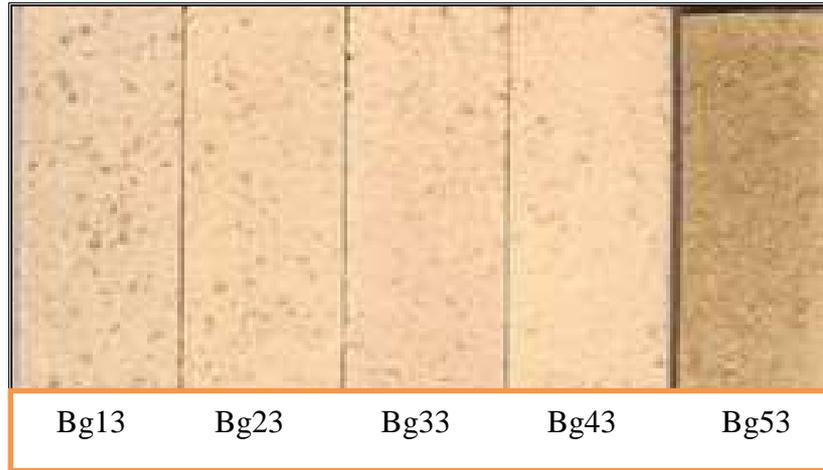


Figura 41: Foto dos corpos de prova Série Bg.



Figura 42: Foto de Corpo de prova da Série Bf fundido, sinterizado a 1150°C.



Figura 43: Foto do corpo de prova da Série Bg fundido, sinterizado a 1200°C.

4.4 Análise Mineralógica por Difração de Raios-X das formulações

Os difratogramas da série Bd, apresentando 20% de resíduo de scheelita, relativos a todas as faixas de temperaturas de queima utilizadas estão representados nas figuras de 44 a 47. Neles é possível perceber as mudanças de fase que aconteceram durante o processo de queima.

Conforme apresentado na análise de FRX da argila e do resíduo de scheelita, as formulações são ricas em quartzo. Dessa forma pode-se perceber a sua presença em todos os difratogramas relativos às formulações com resíduo de scheelita.

Na temperatura de 850°C, figura 44: estão presentes, além do quartzo, SiO₂, indicando a presença de sílica livre e silicatos, augita, que é um silicato de alumínio; além de picos discretos de ZrO₂ e Ti₂O₃.

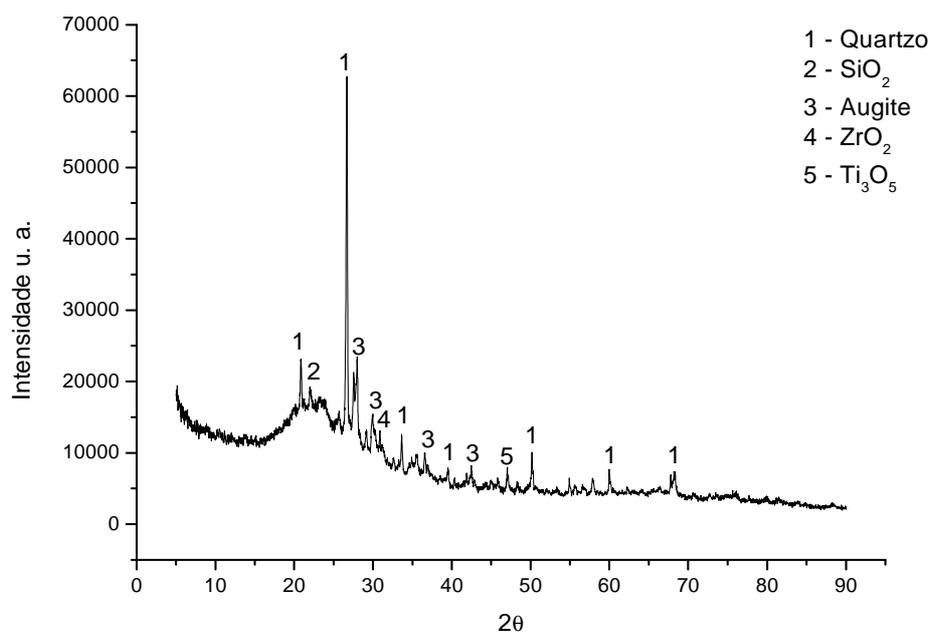


Figura 44: Difratograma da Série Bd: Bd12; queimada a 850°C.

Na temperatura de 900°C, figura 45: aparecem os mesmos constituintes, com exceção dos óxidos ZrO₂ e Ti₂O₃ que devem ter reagido totalmente no corpo cerâmico. Surgem nessa faixa de temperatura picos de cianita que é um silicato que tende a se decompor a 1100°C em mulita e sílica vítrea. Aparecem transições de fase de AlFeO₃ e Al₂(WO₄)₃.

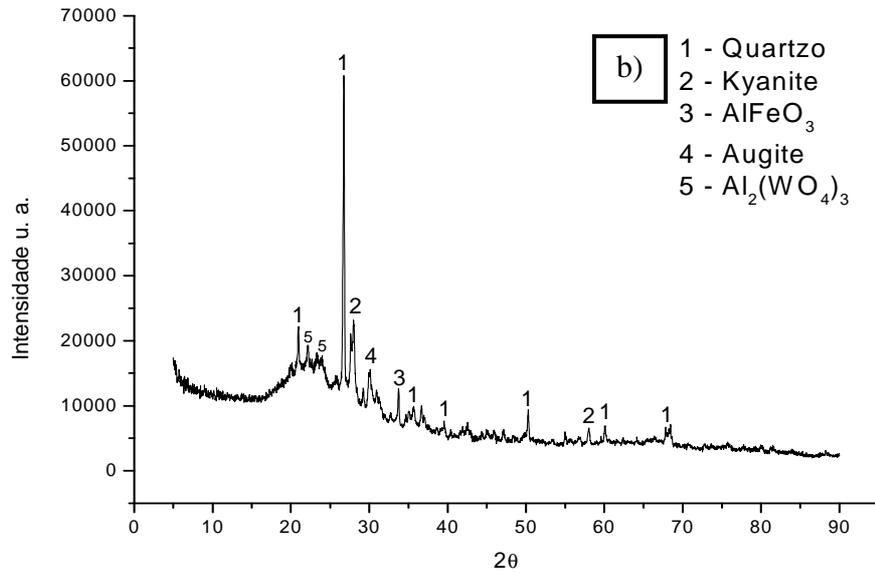


Figura 45: Difratoograma da Série Bd: Bd 23, queimada 900°C

Na temperatura de 1000°C, figura 46: além dos constituintes anteriormente citados surgem picos de albita - $(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$, que é um mineral pertencente a família dos feldspatos, e óxido de alumínio (Al_2O_3).

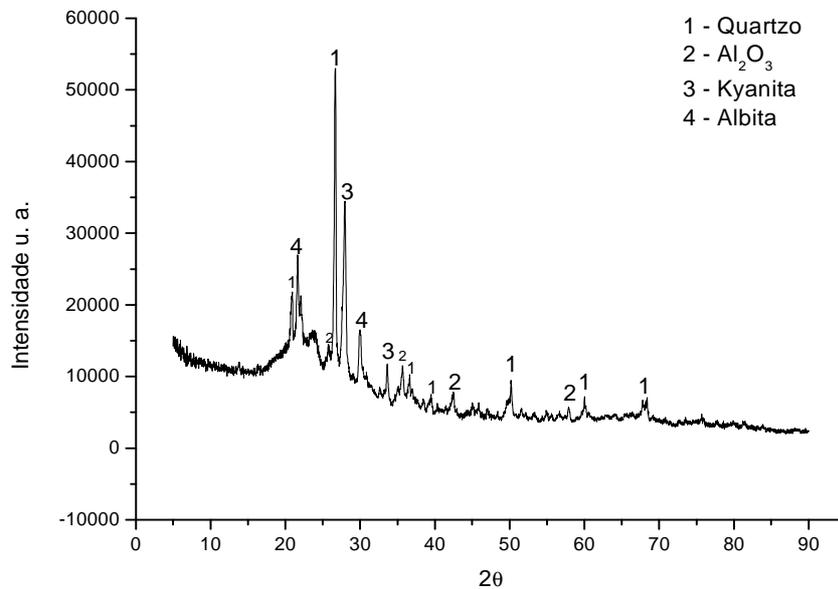


Figura 46: Difratoograma da Série Bd: Bd32, queimada a 1000°C.

Resultados e Discussão

Na temperatura de 1050°C, figura 47, essas desaparecem, demonstrando que são fases transitórias e que reagiram totalmente com o corpo cerâmico. Na temperatura de 1050°C, aparece um pico intenso de cristobalita, que é um polimorfismo do quartzo geralmente formado em altas temperaturas.

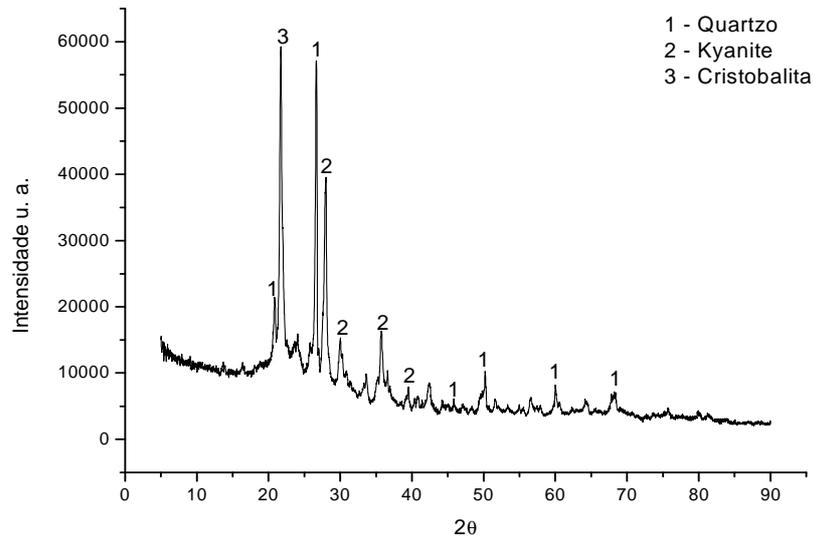


Figura 47: Difratograma da Série Bd: Bd 42, queimada a 1050°C.

Na temperatura de 1100°C, figura 48: os picos de cristobalita apresentam-se em maior intensidade, comparados com os da figura 47: denotando cristalização, picos discretos de Fe_2O , fase de transição, e na figura 46, a albita presente a 1000°C transforma-se em anortita.

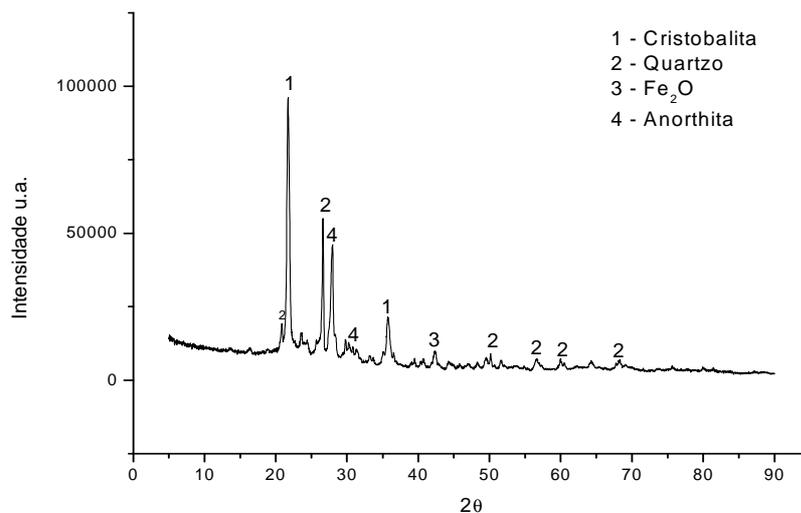


Figura 48: Difratograma da Série Bd: Bd52, queimada a 1100°C.

Resultados e Discussão

Na temperatura de 1100°C, figura 49: surge pico discreto de dmisteinbergite, que é uma fase transitória de aluminossilicato, o óxido de ferro FeO, fase transitória, e os picos de cristobalita e anortita permanecem intensos, com maior intensidade; denotando cristalização. O quartzo permanece presente.

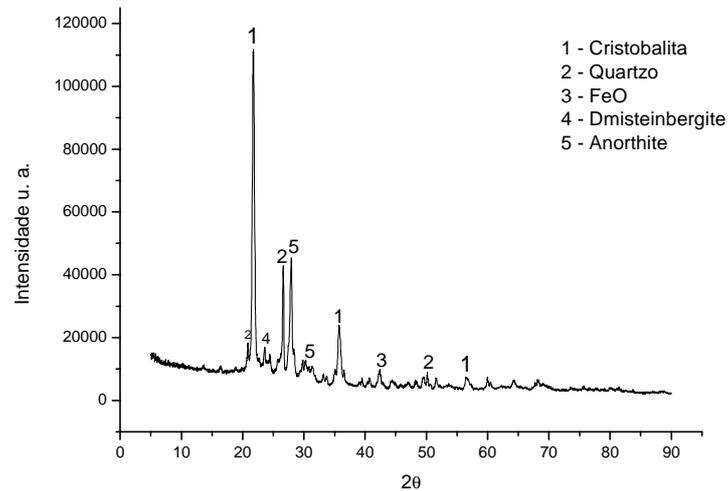


Figura 49: Difratograma da Série Bd: Bd 63, queimada a 1150°C.

Na temperatura de 1200°C, Figura 50, tem-se o quartzo ainda presente, picos intensos de cristobalita que intensificaram-se que o aumento de temperatura e a cianita na forma de sílica vítrea.

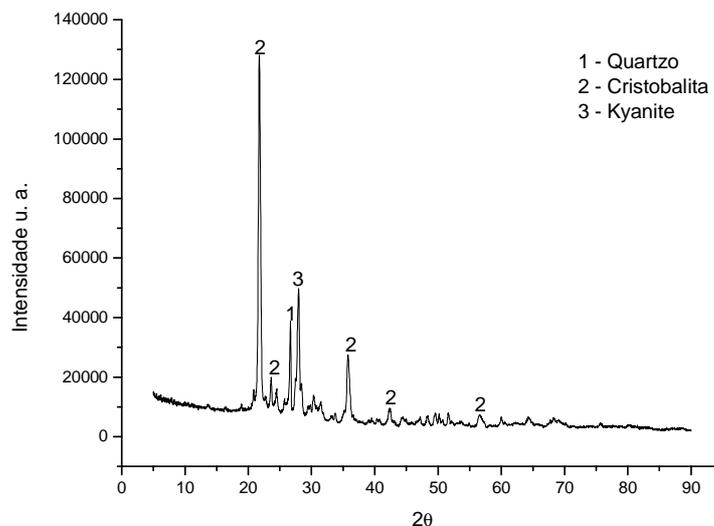


Figura 50: Difratograma da Série Bd, amostra Bd 73, sinterizada a 1200°C.

4.5 Micrografias

Na análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), optou-se pela série Bd, analisando todas as faixas de temperatura estudada. Optou-se por essa série por representar de forma mais incisiva o efeito do rejeito de scheelita na massa cerâmica.

A figura 51 mostra a micrografia do corpo de prova constituído exclusivamente de argila (amostra B12), sinterizado na temperatura de 850°C. Percebe-se claramente uma uniformidade na matriz cerâmica do corpo de prova, sem nenhum elemento em destaque.

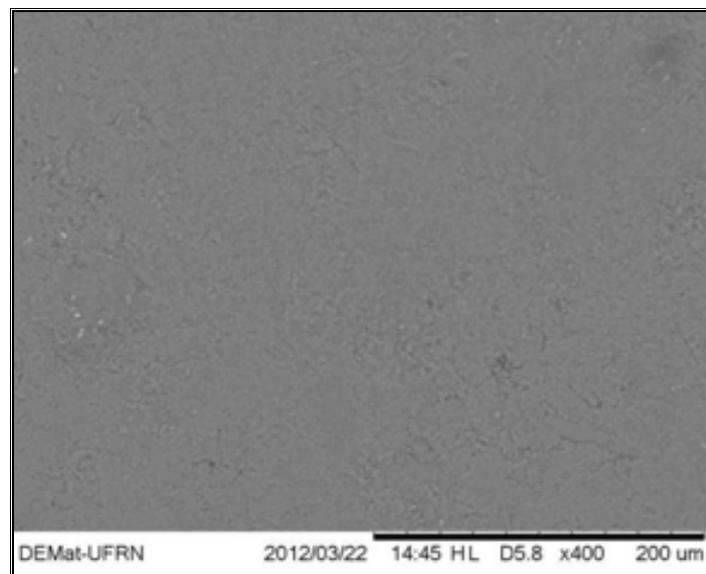


Figura 51: Micrografia do corpo de prova B12, queimado a 850°C com isoterma de 1 hora, aumento de 400x.

A figura 52 mostra a micrografia do corpo de prova Bd12 – Série Bd, com 20% de resíduo de scheelita, queimado a 850°C, durante 1 hora. Por análise com EDS é possível perceber uniformidade na matriz cerâmica, onde partículas maiores de quartzo estão envoltas nesses constituintes; além da presença de poros e pequenas trincas.

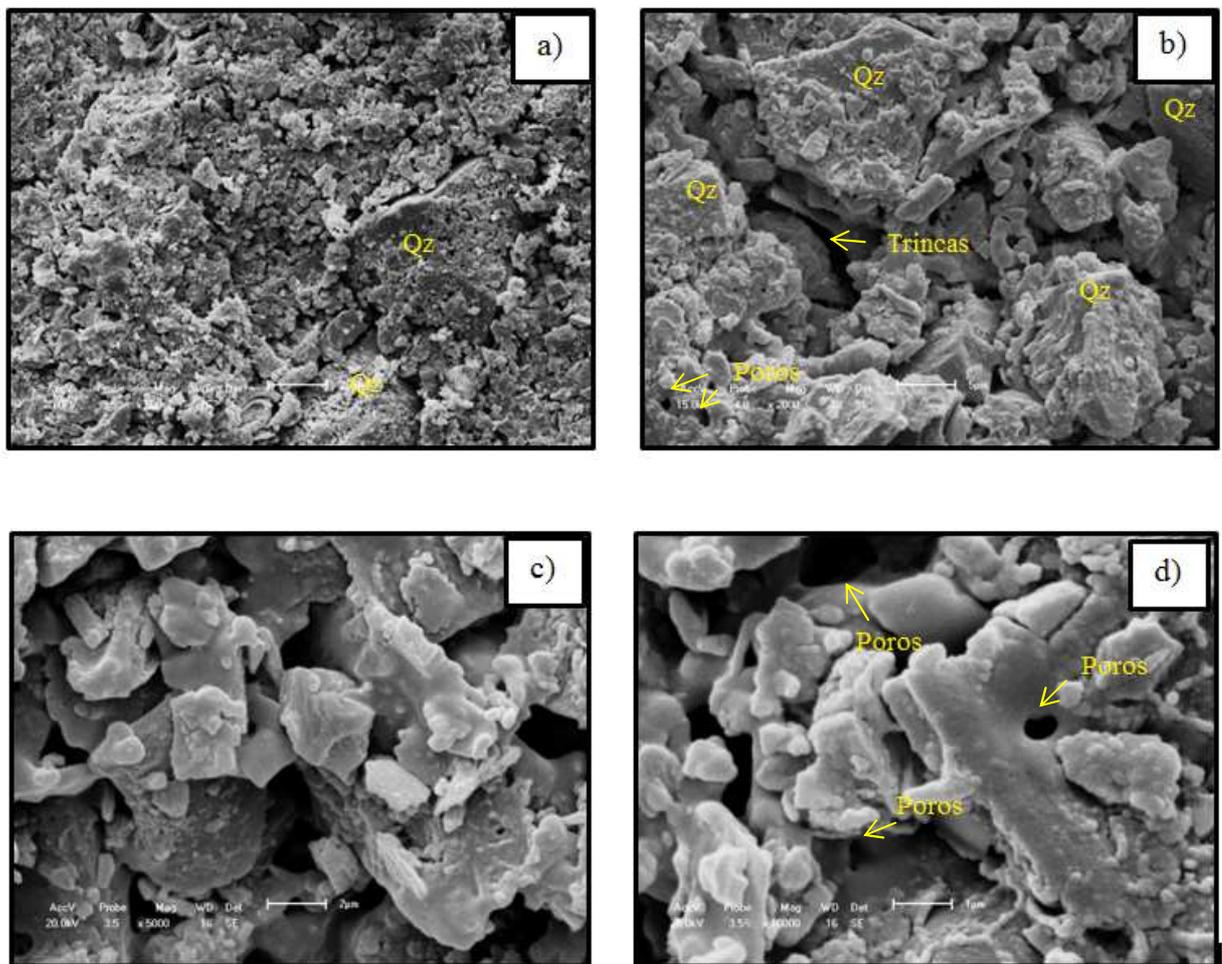


Figura 52: Micrografia do corpo de prova Bd12 – Série Bd, queimado a 850°C, durante 1 hora, com aumento de: a) 500x; b) 2000x, c) 5000x e d) 10000x.

A figura 53 mostra a micrografia do corpo de prova Bd22 – Série Bd, com 20% de resíduo de scheelita, queimado a 900°C, durante 1 hora. Percebe-se uniformidade na matriz cerâmica, onde por análise via EDS se constata o quartzo com a sua estrutura lamelar envolto nos constituintes da matriz cerâmica. Notadamente percebe-se a fusão parcial dos constituintes presentes.

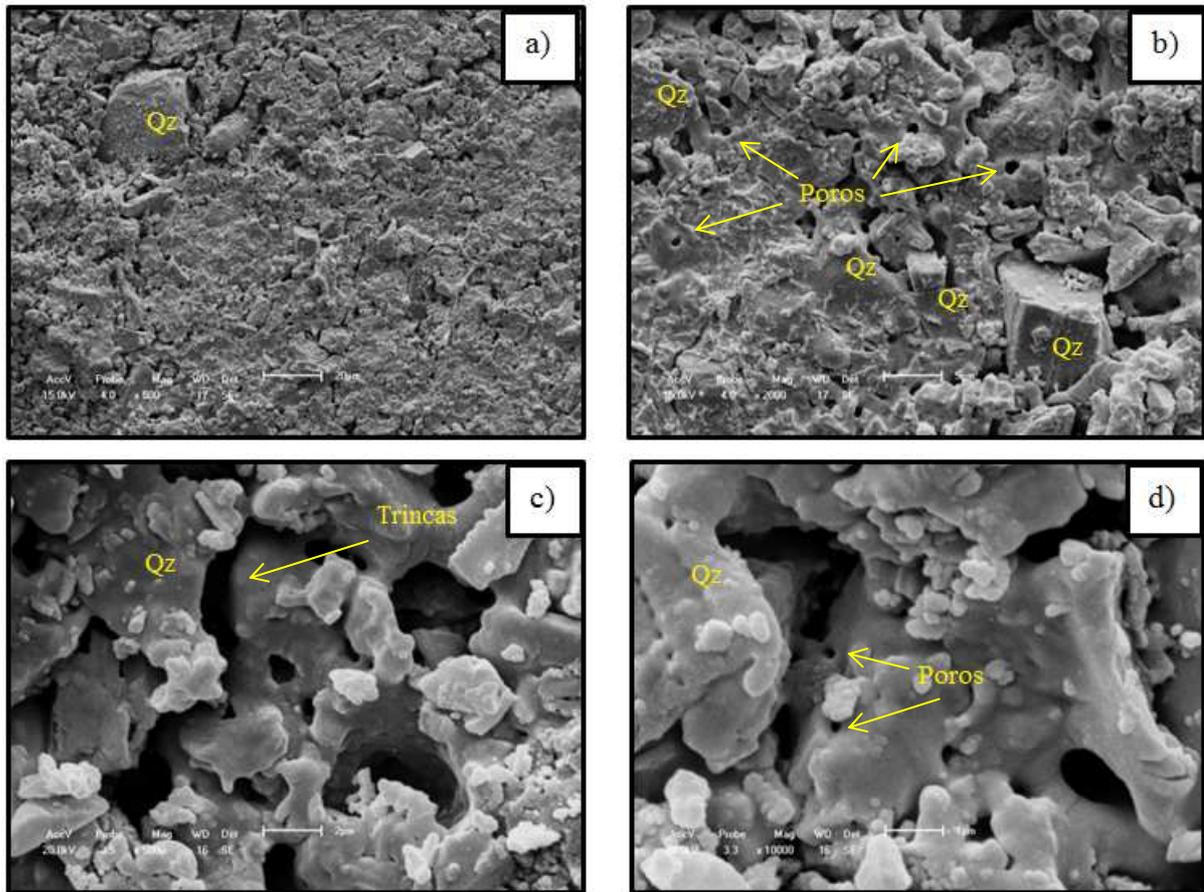


Figura 53: Micrografia do corpo de prova Bd22 – Série Bd, sinterizado a 900°C, durante 1 hora, com aumento de: a) 500x; b) 2000x, c) 5000x e d) 10000x.

A figura 54 mostra a micrografia do corpo de prova Bd32 – Série Bd, com 20% de rejeito de scheelita, queimado a 1000°C, com isoterma de 1 hora. Percebe-se uniformidade na matriz cerâmica, a presença constante de poros e fusão parcial dos constituintes presentes.

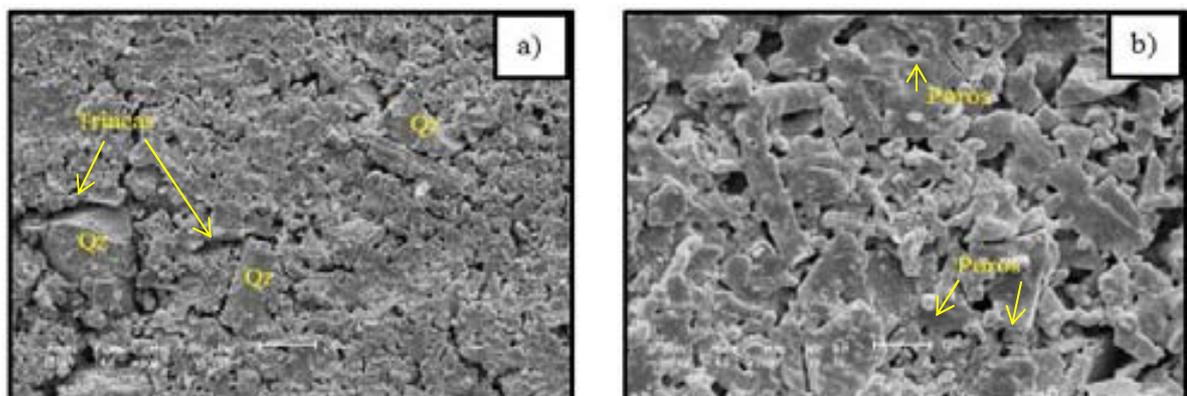


Figura 54: Micrografia do corpo de prova Bd32 – Série Bd, queimado a 1000°C, durante 1 hora, com aumento de: a) 500x e b) 2000x.

Resultados e Discussão

A figura 55 mostra a micrografia do corpo de prova Bd42 – Série Bd, com 20% de resíduo de scheelita, queimado a 1050°C, durante 1 hora. Percebe-se uniformidade na matriz cerâmica, redução na presença de poros, devido ao aumento na fusão parcial dos constituintes da massa cerâmica.

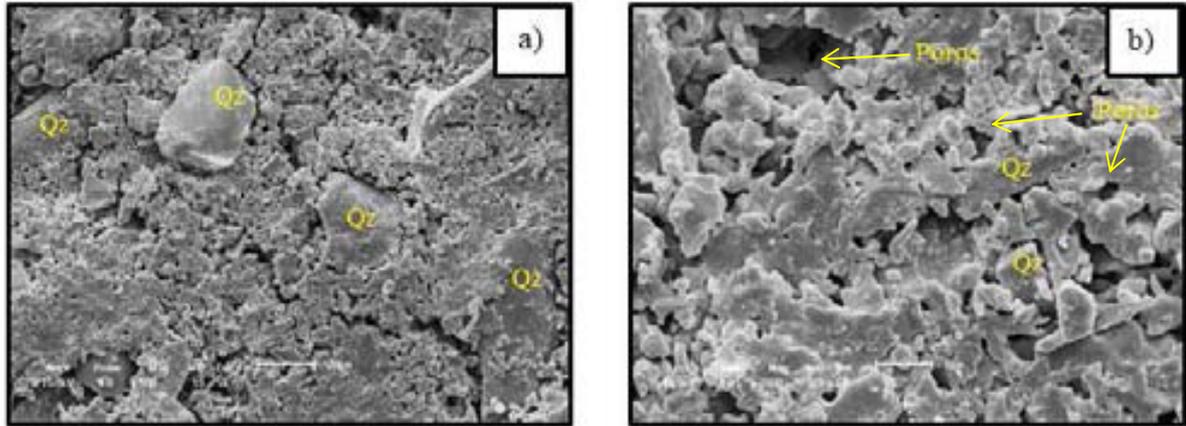


Figura 55: Micrografia do corpo de prova Bd42 – Série Bd, queimado a 1050°C, durante 1 hora, com aumento de: a) 500x e b) 2000x.

A Figura 56 mostra a micrografia do corpo de prova Bd52 – Série Bd, com 20% de resíduo de scheelita, queimado a 1100°C, durante 1 hora. Percebe-se uniformidade na matriz cerâmica, redução cada vez maior na quantidade de poros e que não se encontram interligados entre si e fusão parcial dos constituintes da massa cerâmica. Os poros nos contatos do quartzo são menores e alongados, enquanto que os dispersos na fase vítrea são maiores e esféricos.

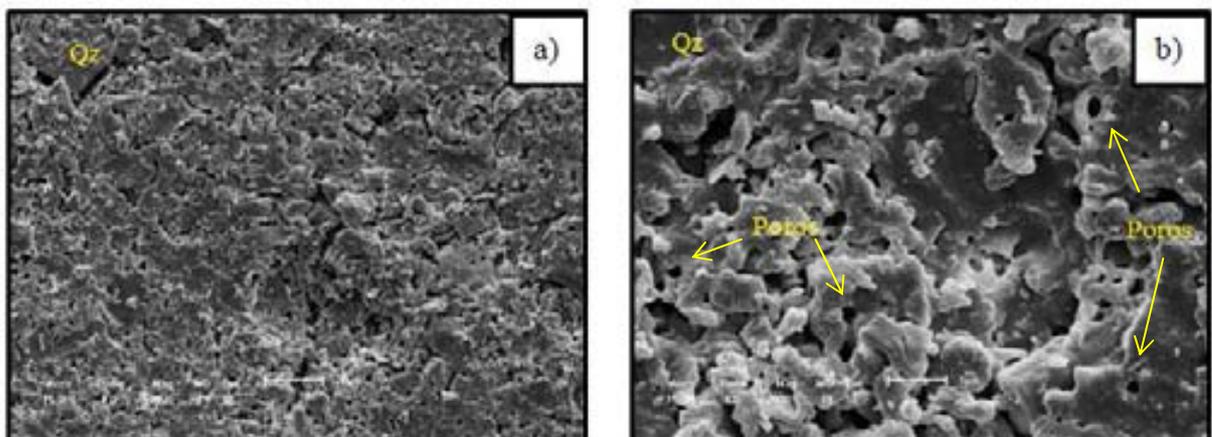


Figura 56: Micrografia do corpo de prova Bd52 – Série Bd, queimado a 1100°C, isoterma de 1 hora, com aumento de: a) 500x e b) 2000x

Resultados e Discussão

A Figura 57 mostra a micrografia do corpo de prova Bd63 – Série Bd, com 20% de resíduo de scheelita, queimado a 1150°C, durante 1 hora. Percebe-se uniformidade na matriz cerâmica. Percebe-se a maior quantidade de partículas de quartzo, devido a elevada temperatura de sinterização com início da formação de fase vítrea e consequente redução da quantidade de poros. O alto grau de arredondamento da porosidade é justificada pela baixa viscosidade da fase vítrea formada.

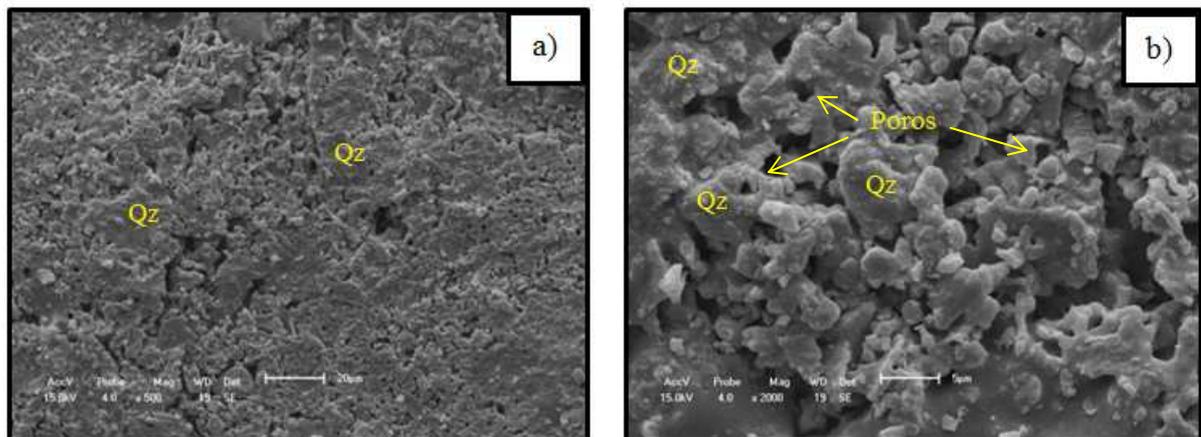


Figura 57: Micrografia do corpo de prova Bd63 – Série Bd, queimado a 1150°C, durante 1 hora, com aumento de: a) 500x e b) 2000x.

Na Figura 58 tem-se a micrografia do corpo de prova Bd72 – Série Bd, com 20% de resíduo de scheelita, queimado a 1200°C. Percebe-se uniformidade na matriz cerâmica, com densificação do material com formação de sítios com quartzo e sílica vítrea. A quantidade de poros presentes é baixa, alterando significativamente a absorção de água e favorecendo a resistência final das peças; conforme ensaios tecnológicos.

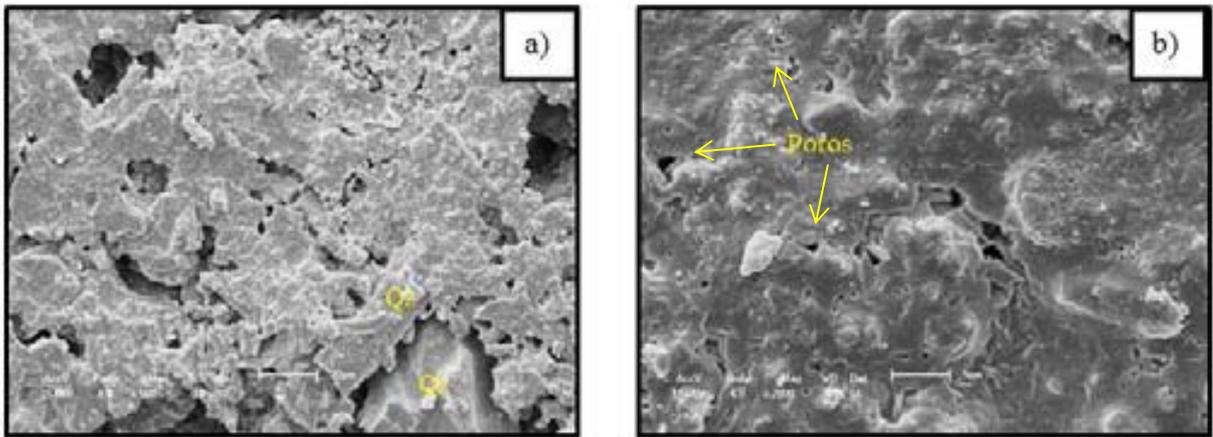


Figura 58: Micrografia do corpo de prova Bd72 – Série Bd, queimada a 1200°C, com aumento de: a) 400x; b) 2000x.

CAPÍTULO 05 – CONCLUSÕES e SUGESTÕES

5.1 Conclusões:

Com os resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir:

- . Os resultados dos ensaios tecnológicos demonstram que o acréscimo de resíduo de scheelita na argila caulínica de Boa Saúde, em geral, tendem a melhorar as propriedades tecnológicas do produto final. Os melhores resultados foram alcançados com no máximo 20% de resíduo de scheelita;
- . Com a incorporação de resíduo de scheelita na cerâmica caulínica houve um aumento na Perda ao Fogo e redução na Retração Linear das peças. Ocorreu um aumento, em torno de 10%, na Absorção de Água e Porosidade Aparente. Notadamente, há uma redução acentuada na resistência à flexão das peças (40 a 50%); proporcionalmente a quantidade de resíduo utilizado, devendo-se isto a maior porosidade presente nessas peças.
- . Com a utilização do resíduo de scheelita pode-se obter uma gama maior de tonalidades para a utilização em peças cerâmicas. Teores de rejeito da ordem de 20 a 30% proporcionam peças com tons indo do bege ao marrom, passando pelo laranja claro e escuro, o que é muito interessante para aplicação em peças decorativas;
- . Os resultados obtidos demonstram que se pode utilizar a matriz cerâmica com resíduo de scheelita (percentual não superior a 30%) para a produção de blocos cerâmicos, pois as propriedades tecnológicas obtidas no produto final estão em conformidade com a norma técnica específica - NBR 7.171, principalmente para tijolos da classe 10, 15 e 25;
- . A adição do resíduo de scheelita favoreceu a estabilidade dimensional e uma elevada resistência mecânica no produto final até 30% de resíduo. Dessa forma, controlando-se o teor de absorção de água de no máximo 20% (NBR – 15310), além da impermeabilidade que não

aceitará desprendimento de gota na face inferior das telhas, pode-se utilizar a massa cerâmica com resíduo de scheelita (no máximo 20%) para a produção das mesmas.

. Teores elevados de resíduo (> 40%) propiciaram uma redução drástica nas propriedades mecânicas das peças, não sendo seu uso aconselhável para uso em peças estruturais. Além disso, no caso de peças cerâmicas extrudadas (telhas, blocos, dentre outros), poderão propiciar um desgaste de partes/componentes, reduzindo-se o tempo de vida útil das mesmas.

. Devido ao excesso de fundentes na argila caulinítica utilizada e no resíduo de scheelita, temperaturas acima de 1000°C tendem a provocar empenamentos e distorções nas peças, e devem ser evitadas.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros:

Durante a realização deste trabalho de pesquisa e de outros trabalhos complementares e de relevância para uma melhor formação geral foram discutidos alguns pontos, nos quais listamos e sugerimos para futuros trabalhos:

- ✓ Estudar a utilização do resíduo de scheelita na produção de peças ecológicas, ou seja, produção de peças resíduo-cimento-argila. Em estudos preliminares os resultados apresentados foram interessantes;
- ✓ Estudar a viabilidade técnica de produção de Concreto Armado, substituindo a porção de areia do mesmo por resíduo de scheelita;
- ✓ Realizar um estudo detalhado sobre a influência da granulometria do resíduo mineral nas propriedades tecnológicas dos corpos cerâmicos;
- ✓ Utilizar os resultados obtidos na fabricação de produtos da indústria cerâmica, incorporando resíduos minerais diversos e avaliar sua influência direta no produto final;
- ✓ Utilizar o resíduo de scheelita, devido a sua composição mineralógica, com outros tipos de argilas do RN e avaliar seus efeitos.

REFERÊNCIAS

ABC (Associação Brasileira de Cerâmica) apud IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). Imprensa: notícia – qualidade na cerâmica vermelha. São Paulo, 15 maio 2008. Disponível em: < <http://www.ipt.br/institucional/imprensa/noticias/?ID=885>>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2012.

ANGELIM, L. A. de A., NESI, J. de R. et al. Geologia e Recursos Minerais do Rio Grande do Norte – Programa Mapeamento Geológico e Interações Geológicas Regionais. CPRM, 2006.

ANICER (Org.). Dados oficiais. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional.asp&secao=3&categoria=60&selMenu=3>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2012.

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. Tungstênio. Brasília: DNPM, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006.

ARRUDA, R. L. S., MARIBONDO, R. do N.. **O processo produtivo e a qualidade do produto cerâmico Estrutural**. II CONNEPI, João Pessoa, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6459, “**Determinação do limite de liquidez - método de ensaio**”, Rio de Janeiro, RJ (1984).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7180, “**Determinação do limite de plasticidade - método de ensaio**”, Rio de Janeiro, RJ (1984).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15270-3, “**Componentes cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio**”, Rio de Janeiro, RJ (2005).

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15310, “**Componentes Cerâmicos – Telhas**”, Rio de Janeiro, RJ (2005).

BARBA, A., FELIU, C. et al.. **Materias primas para La fabricación de Soportes de Baldosas Cerámicas**. 1 ed. Castellón: Instituto de Tecnologia Cerâmica – AICE, 1997, 290p.

BOHM, Distribuidora.

Disponível em: http://site.grupobohm.com.br/produtos?categoria_id=24. Acesso em: 18 de fevereiro de 2012.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2^a Edição, 2005.

CAMPOS, L. F. A. et al . **Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural**. Cerâmica, São Paulo, v. 45, n. 295, May 1999.

CANO, T. M.. **Sumário Mineral - Tungstênio 2011 (Sumário Mineral Anual)**. Brasília: DNPM, 2011.

CHAVES, L. F. M. **Estudo da Adição do Resíduo Proveniente da Extração de Minério de Ferro em Argilas do Rio Grande do Norte**. Tese de Doutorado n^o 78/PPGCEM, Natal, 2009.

DANA, J. D. **Manual de Mineralogia**. Livros Técnicos e Científicos Editora, vol. 2, Rio de Janeiro, 1974, p. 421-422.

DANTAS, J. R. A. **Distritos Mineiros do Nordeste Oriental**. DNPM – Brasil, Pernambuco, 2002. p. 17-97.

DIAS, J. F.; TOFFOLI, S. M. **Cerâmica vermelha – a qualidade necessária é possível**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44, 2000. São Pedro. Anais... São Pedro, 2000.

Referências

DUAILIBI FILHO, J. & CARVALHO, O. O. **Os números da Cerâmica Vermelha**. Revista Mundo Cerâmico, São Paulo, n. 83, p. 34-38, set. 2002.

DUTRA, R.P.S.. **Efeito da Taxa de Aquecimento nas Propriedades de Produtos da Cerâmica Estrutural**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

FERNANDES, B. R. B. **Aproveitamento dos Finos de Scheelita Utilizando Concentração Centrífuga e Lixiviação Ácida**. Dissertação de Mestrado, UFPE/PPGEMinas, Recife-PE, 2011.

GOMES, C.F.. **Argilas – O que são e para que servem**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1986.

GRIM, R.E. **Clay Mineralogy**. 1^a ed. McGraw-Hill Book Co, New York, 1953, 2^a ed., 1968.

JOSÉ MÁRIO COELHO (Brasil). J. Mendo - Consultoria. **Projeto ESTAL: Perfil de Argilas para Cerâmica Vermelha**. Brasília, 2009.

LENGLER, H. C. de M. **Controle da Porosidade em Fases Vítreas Formadas Pela Ação de Fundentes em Cerâmicas Gresificadas**. Tese de Doutorado, UFRS/PPGEM, Porto Alegre – RS, 2006, pp. 17 – 21.

LODI, P. C.. **Mecânica dos Solos – Vol I**. São Paulo, 2000. pp. 03 - 46.

LUARAMA, Distribuidora. Disponível em: <http://www.luarama.com.br/ceramica.htm>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2012.

LUCENA, M. M. **Efeito da Introdução de Resíduo de Cinza de Forno Cerâmico em Massa para Cerâmica Estrutural**. 2007. 85 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

Referências

MACEDO, R. M. P. R. **Aplicação da Metodologia de Planejamento de Experimentos para Formulação de Massas Cerâmicas para Telhas**. 2007. 103f.. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2007.

MÁS, E. **Qualidade e Tecnologia em Cerâmica Vermelha**. Editora Pólo Produções Ltda, São Paulo, 2002.

MEIRA, J. M. L. **Argilas: O que são, suas propriedades e classificações**. Comunicações Técnicas – VISA Consultores. Janeiro de 2001.

MORAES, M. L. V. N. **Aproveitamento de Resíduo de Beneficiamento do Caulim na Produção de Porcelanato Cerâmico**. Tese de Doutorado, UFRN/PPGCEM, 2007.

MORAIS, D. M.; SPOSTO, R. M. **Propriedades Tecnológicas e Mineralógicas das argilas e suas influências na qualidade de blocos cerâmicos de vedação que abastecem o mercado do Distrito Federal**. Cerâmica Industrial, v. 11, p. 35-38, 2006.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL JÚNIOR, M. **As matérias-primas cerâmicas: parte I - O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos**. Cerâmica Industrial, São Carlos, v.6, n.2, mar./abr., 2001.

OLIVEIRA, C. N.; RIBEIRO, R. C. da C.. **Aplicação de Resíduos de Mármore na Produção de Cosméticos**. Série Tecnologia Ambiental. ISSN 0103-7374, ISBN 978-85-61121-58-7. CETEM/MCT, 2010.

POTYGUAR

Disponível em: http://www.potyguar.com.br/riograndedonorte/index_arquivos/scheelita.htm

Acesso em: 28/03/2011

PETRUCI, E.G.R.. **Materiais de Construção**. 10^a Ed. São Paulo: Globo, 435p., 1985.

Referências

PRADICELLI, S.; MELCHIADES, Fábio Gomes. **Importância da Composição Granulometria de massas para a cerâmica vermelha**. Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 2, n 1/2, 1997.

REED, J. S. **Principles of ceramics processing**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1995. 658p.

SANTOS, M. L. L. de O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a Construção Civil**. Tese de Doutorado, UFRN/PPGCEM, Natal-RN, 2008.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas**, v. 1, 2 ed., São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1989. 408 p.

SILVA, J. B.; HOTZA, D.; SEGADÃES, A. M.; ACCHAR, W. **Incorporação de Lama de Mármore e Granito em Massas Argilosas**. Revista Cerâmica 51, 325-330, 2005.

SOUZA et al. **Resíduos Adensados para Disposição em Superfície – Nova Tecnologia em Minério de Ferro**. XXXIII Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias, 2005.

SEBRAE/ESPM. **Panorama Atual sobre Mercado de Produtos em Cerâmica Vermelha para Construção (CVPC): Telhas, tijolos e tubos**. Cerâmica Vermelha – Estudos de Mercado. Sumário Executivo, setembro, 2008.

SILVA, M. R. **Materiais de Construção**. 2. Ed. rev. São Paulo: Pini, 267 p., 1991.

TAVARES, E. C. S.; Paulino, A. A. D.; Nascimento, I. P.; GONGIM, P. C. A. [CD- ROM] **Caracterização de produtos cerâmicos do Rio Grande do Norte**. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 46, 2002, São Paulo – SP. Anais.São Paulo, 2002.

TOMAZETTI, R.R. **Análise da Produção de Cerâmica Vermelha da Região Central do Estado do RS**. 2003. 190f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) -

Referências

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

VARELA, M. L.. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Análise Mineralógica Racional de Argilomineral**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2004.

ANEXOS

Todas as tabelas utilizadas para a determinação do desvio padrão para cada ensaio tecnológico encontram-se neste anexo.

PERDA DE MASSA AO FOGO

1. PERDA AO FOGO: $PF = \frac{Ms - Mq}{Mq} \times 100$ Temp.: **850°C**

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	10,316	9,170	12,4973		0,0958		
B	12	10,136	9,020	12,3725	12,4015	-0,0290	0,0048	0,07
-	13	10,200	9,080	12,3348		-0,0667		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	12,4015 ± 0,07	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	10,315	9,20	12,1196		-0,0371		
Bb	12	10,305	9,18	12,2549	12,1567	0,0982	0,0049	0,07
-	13	10,324	9,21	12,0955		-0,0612		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	12,1567 ± 0,07	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,782	8,88	10,1576		-0,0814		
Bc	12	10,418	9,45	10,2439	10,2390	0,0049	0,0041	0,06
-	13	9,796	8,88	10,3153		0,0763		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	10,2390 ± 0,06	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	10,521	9,37	12,2839		0,0589		
Bd	12	10,505	9,36	12,2330	12,2250	0,0080	0,0027	0,05
-	13	10,498	9,36	12,1581		-0,0669		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	12,2250 ± 0,05	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	10,409	9,15	13,7595		-0,0788		
Be	12	10,422	9,15	13,9016	13,8383	0,0633	0,0035	0,06
-	13	10,429	9,16	13,8537		0,0154		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	13,8383 ± 0,06	-

Anexos

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	10,544	9,19	14,7334		-0,0197		
Bf	12	10,518	9,16	14,8253	14,7531	0,0722	0,0028	0,05
-	13	10,541	9,19	14,7007		-0,0524		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	14,7531±0,05	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	10,664	9,26	15,1620		0,0633		
Bg	12	10,624	9,24	14,9783	15,0987	-0,1204	0,0072	0,08
-	13	10,721	9,31	15,1557		0,0570		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	15,0987±0,08	-

2. PERDA AO FOGO: $PF = \frac{Ms - Mq}{Mq} \times 100$ Temp.: 900°C

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	10,250	9,07	13,010		0,193		
B	22	10,225	9,08	12,610	12,817	-0,207	0,027	0,16
-	23	10,200	9,04	12,832		0,015		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	12,817±0,16	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	10,335	9,19	12,459		0,099		
Bb	22	10,242	9,12	12,303	12,360	-0,057	0,005	0,07
-	23	10,322	9,19	12,318		-0,042		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	12,1567± 0,07	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	10,434	9,49	9,947		0,065		
Bc	22	9,756	8,89	9,741	9,882	-0,141	0,010	0,10
-	23	10,424	9,48	9,958		0,076		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	9,882±0,10	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	10,438	9,39	11,161		0,213		
Bd	22	10,393	9,40	10,564	10,948	-0,384	0,074	0,27
-	23	10,434	9,39	11,118		0,170		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	10,948±0,27	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	10,530	9,19	14,581		-0,254		
Be	22	10,521	9,13	15,235	14,835	0,400	0,082	0,29
-	23	10,517	9,17	14,689		-0,146		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	14,835±0,29	-

Anexos

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	10,596	9,23	14,799		0,014		
Bf	22	10,644	9,27	14,822	14,785	0,037	0,001	0,04
-	23	10,567	9,21	14,734		-0,051		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	14,7851±0,04	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	10,664	9,28	14,914		-0,188		
Bg	22	10,680	9,27	15,210	15,102	0,108	0,018	0,13
-	23	10,666	9,26	15,183		0,081		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	15,102±0,13	-

3. PERDA AO FOGO: $PF = \frac{Ms - Mq}{Mq} \times 100$ Temp.: **1000°C**

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	10,151	9,05	12,166		-0,849		
B	32	10,215	8,97	13,879	13,015	0,864	0,489	0,70
-	33	10,396	9,20	13,000		-0,015		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	13,015 ± 0,70	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	10,307	9,16	12,521		0,004		
Bb	32	10,315	9,17	12,486	12,517	-0,031	0,0006	0,02
-	33	10,219	9,08	12,544		0,027		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	12,517± 0,02	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,737	8,81	10,522		0,066		
Bc	32	10,398	9,42	10,382	10,456	-0,074	0,003	0,06
-	33	9,732	8,81	10,465		0,009		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	10,456±0,06	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	10,402	9,36	11,132		0,333		
Bd	32	10,313	9,33	10,536	10,799	-0,263	0,062	0,25
-	33	10,342	9,34	10,728		-0,071		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	10,799±0,25	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	10,545	9,09	16,007		-0,036		
Be	32	10,503	9,04	16,184	16,043	0,141	0,018	0,10
-	33	10,504	9,06	15,938		-0,105		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	16,043±0,10	-

Anexos

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	10,474	9,08	15,352		-0,131		
Bf	32	10,534	9,12	15,504	15,483	0,021	0,010	0,10
-	33	10,519	9,10	15,593		0,110		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	15,483±0,10	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	10,597	9,16	15,688		0,023		
Bg	32	10,640	9,20	15,652	15,665	-0,013	0,0002	0,02
-	33	10,594	9,16	15,655		-0,01		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	15,665±0,02	-

4. PERDA AO FOGO: $PF = \frac{Ms - Mq}{Mq} \times 100$ Temp.: **1050°C**

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	10,369	9,11	13,812		-0,031		
B	42	10,324	9,07	13,826	13,843	-0,017	0,001	0,03
-	43	10,330	9,07	13,892		0,049		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	13,843 ± 0,03	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	10,327	9,12	13,236		-0,03		
Bb	42	10,266	9,06	13,311	13,266	0,045	0,001	0,03
-	43	10,272	9,07	13,252		-0,014		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	13,266± 0,03	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	10,366	9,35	10,866		-0,004		
Bc	42	10,383	9,36	10,929	10,870	0,059	0,002	0,05
-	43	9,796	8,84	10,814		-0,056		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	10,870±0,05	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	10,448	9,33	11,983		0,091		
Bd	42	10,396	9,27	12,147	11,892	0,255	0,065	0,25
-	43	10,396	9,32	11,545		-0,347		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	11,892±0,25	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	10,550	9,12	15,680		-0,065		
Be	42	10,480	9,08	15,418	15,745	-0,327	0,0883	0,30
-	43	10,522	9,06	16,137		0,392		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	15,745±0,30	-

Anexos

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	10,615	9,09	16,777		0,593		
Bf	42	10,529	9,08	15,958	16,184	-0,226	0,1789	0,42
-	43	10,551	9,11	15,818		-0,366		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	16,184±0,42	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	10,624	9,13	16,364		-0,071		
Bg	42	10,659	9,16	16,365	16,435	-0,070	0,010	0,10
-	43	10,655	9,14	16,575		0,140		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	16,435±0,10	-

5. PERDA AO FOGO: $PF = \frac{Ms - Mq}{Mq} \times 100$ Temp.: **1100°C**

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	10,175	9,01	12,930		0,07		
B	52	10,146	9,01	12,608	12,860	-0,252	0,034	0,18
-	53	10,140	8,97	13,043		0,183		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	12,860 ± 0,18	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	10,132	9,05	11,956		0,022		
Bb	52	10,125	9,05	11,878	11,934	-0,056	0,0016	0,04
-	53	10,122	9,04	11,969		0,035		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	11,934± 0,04	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	10,289	9,36	9,925		-0,061		
Bc	52	10,332	9,40	9,915	9,986	-0,071	0,0087	0,09
-	53	10,285	9,34	10,118		0,132		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	9,986±0,09	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	10,329	9,30	11,064		0,527		
Bd	52	10,275	9,31	10,365	10,537	-0,172	0,1442	0,38
-	53	10,247	9,30	10,183		-0,354		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	10,537±0,38	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	10,458	9,06	15,430		-0,267		
Be	52	10,455	9,03	15,780	15,697	0,083	0,063	0,25
-	53	10,441	9,01	15,882		0,185		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	15,697±0,25	-

Anexos

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	10,488	9,10	15,253		0,150		
Bf	52	10,448	9,11	14,764	15,103	-0,339	0,058	0,24
-	53	10,480	9,09	15,292		0,189		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	15,103±0,24	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	10,587	9,11	16,213		0,172		
Bg	52	10,595	9,14	15,919	16,041	-0,122	0,047	0,22
-	53	10,590	9,13	15,991		-0,05		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	16,041±0,22	-

6. PERDA AO FOGO: $PF = \frac{Ms - Mq}{Mq} \times 100$ Temp.: **1150°C**

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,174	9,02	12,794		-0,522		
B	62	10,426	9,13	14,195	13,316	0,879	0,3911	0,63
-	63	10,234	9,06	12,958		-0,358		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	13,316 ± 0,63	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,173	8,96	13,538		0,348		
Bb	62	10,310	9,17	12,432	13,190	-0,758	0,2879	0,54
-	63	10,224	9,00	13,600		0,410		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	13,190± 0,54	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,369	9,36	10,780		0,030		
Bc	62	9,709	8,77	10,707	10,750	-0,043	0,00097	0,03
-	63	9,725	8,78	10,763		0,013		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	10,750±0,03	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,452	9,29	12,508		-0,259		
Bd	62	10,455	9,26	12,905	12,767	0,138	0,034	0,18
-	63	10,476	9,28	12,888		0,121		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	12,767±0,18	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,375	9,08	14,262		-0,165		
Be	62	10,381	9,09	14,202	14,427	-0,225	0,0769	0,28
-	63	10,437	9,09	14,818		0,391		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	14,427±0,28	-

Anexos

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,528						
Bf	62	10,547		FUNDIU!				
-	63	10,480						
-	-	-	-	-	-	PFmédio	-	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,652						
Bg	62	10,615		FUNDIU!				
-	63	10,666						
-	-	-	-	-	-	PFmédio	-	-

7. PERDA AO FOGO: $PF = \frac{Ms - Mq}{Mq} \times 100$ Temp.: **1200°C**

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	9,975	8,88	12,332		0,06		
B	72	10,216	9,09	12,387	12,326	0,061	0,0034	0,06
-	73	10,092	8,99	12,258		-0,068		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	12,326 ± 0,06	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	9,985	9,03	10,576		-0,137		
Bb	72	10,006	9,05	10,564	10,713	-0,149	0,04073	0,20
-	73	10,012	9,02	10,998		0,285		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	10,713± 0,20	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	9,644	8,78	9,840		-0,182		
Bc	72	10,310	9,40	9,680	10,022	-0,342	0,1412	0,38
-	73	10,336	9,35	10,545		0,523		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	10,022±0,38	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,403	9,11	14,193		0,533		
Bd	72	10,313	9,05	13,956	13,660	0,296	0,3524	0,59
-	73	10,200	9,04	12,832		-0,828		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	13,660±0,59	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,402						
Be	72	10,393		FUNDIU!				
-	73	10,421						
-	-	-	-	-	-	PFmédio	-	-

Anexos

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,508						
Bf	72	10,521		FUNDIU!				
-	73	10,542						
-	-	-	-	-	-	PFmédio	-	-

-	-	Ms	Mq	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,547						
Bg	72	10,602		FUNDIU!				
-	73	10,586						
-	-	-	-	-	-	PFmédio	-	-

RETRAÇÃO LINEAR

1. RETRAÇÃO LINEAR: $RL = \frac{Cs - Cq}{Cq} \times 100$ Temp.: **850°C**

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	60,17	58,46	2,9251		0,1102		
B	12	60,12	58,41	2,9276	2,8149	0,1127	0,0249	0,16
-	13	60,16	58,64	2,5920		-0,2229		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	2,815 ± 0,16	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	60,30	58,87	2,4290		0,0285		
Bb	12	60,30	58,93	2,3248	2,4005	-0,0757	0,0029	0,05
-	13	60,27	58,83	2,4477		0,0472		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	2,4005 ± 0,05	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	60,23	59,34	1,4998		0,0057		
Bc	12	60,22	59,38	1,4146	1,4941	-0,0795	0,0039	0,06
-	13	60,24	59,31	1,5680		0,0739		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	1,4941 ± 0,06	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	60,35	58,35	3,4276		-0,0120		
Bd	12	60,39	58,38	3,4447	3,4396	0,0051	0,000073	0,001
-	13	60,33	58,32	3,4465		0,0069		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	3,4396 ± 0,001	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	60,22	59,56	1,1081		0,0285		
Be	12	60,26	59,58	1,1413	1,0796	0,0617	0,0043	0,07

Anexos

-	13	60,23	59,64	0,9893		-0,0903		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	1,0796±0,07	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	60,28	59,09	1,1919		-0,4698		
Bf	12	60,29	59,05	2,0999	1,6617	0,4382	0,1379	0,37
-	13	60,06	59,06	1,6932		0,0315		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	1,6617±0,37	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	60,03	59,57	0,7722		-0,2592		
Bg	12	60,08	59,38	1,1788	1,0314	0,1474	0,03380	0,18
-	13	60,16	59,48	1,1432		0,1118		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	1,0314±0,18	-

2. RETRAÇÃO LINEAR: $RL = \frac{Cs - Cq}{Cq} \times 100$ Temp.: 900°C

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	60,24	58,44	3,0801		-0,1133		
B	22	60,10	58,27	3,1406	3,1934	-0,0528	0,0144	0,12
-	23	60,30	58,34	3,3596		0,1662		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	3,1934 ± 0,12	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	60,30	58,69	2,7432		-0,0182		
Bb	22	60,31	58,67	2,7953	2,7614	0,0339	0,0006	0,02
-	23	60,25	58,64	2,7456		-0,0158		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	2,7614± 0,02	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	60,20	59,29	1,5348		-0,1131		
Bc	22	60,29	59,30	1,6695	1,6479	0,0216	0,0072	0,08
-	23	60,25	59,22	1,7393		0,0914		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	1,6479±0,08	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	60,29	59,30	1,6695		0,1319		
Bd	22	60,30	59,41	1,4981	1,5376	-0,0395	0,00917	0,09
-	23	60,37	59,51	1,4451		-0,0925		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	1,5376±0,09	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	60,26	58,55	2,9206		-0,0771		
Be	22	60,26	58,52	2,9733	2,9977	-0,0244	0,0056	0,07

Anexos

-	23	60,21	58,40	3,0993		0,1016		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	2,9977±0,07	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	60,28	58,98	2,2041		0,1302		
Bf	22	60,29	58,99	2,2037	2,0739	0,1298	0,03897	0,20
-	23	60,06	58,99	1,8139		-0,2600		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	2,0739±0,20	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	60,03	59,39	1,0776		-0,0726		
Bg	22	60,08	59,35	1,2299	1,1502	0,0797	0,0039	0,06
-	23	60,16	59,48	1,1432		-0,0070		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	1,1502±0,06	-

3. RETRAÇÃO LINEAR: $RL = \frac{Cs - Cq}{Cq} \times 100$ Temp.: **1000°C**

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	60,21	56,64	6,3030		-0,0948		
B	32	60,20	56,33	6,8702	6,3978	0,4724	0,1249	0,35
-	33	60,23	56,81	6,0201		-0,3777		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	6,3978± 0,35	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	60,22	57,20	5,2797		-0,5363		
Bb	32	60,34	57,01	5,8411	5,8160	0,0251	0,1831	0,43
-	33	60,33	56,74	6,3271		0,5111		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	5,8160± 0,43	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	60,35	58,13	3,8190		0,1413		
Bc	32	60,39	58,32	3,5494	3,6777	-0,1283	0,01219	0,11
-	33	60,25	58,12	3,6648		-0,0129		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	3,6777±0,11	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	60,33	59,00	2,2542		-0,0407		
Bd	32	60,32	59,01	2,2199	2,2949	-0,0750	0,0068	0,08
-	33	60,33	58,91	2,4105		0,1156		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	2,2949±0,08	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	60,31	57,77	4,3967		0,1961		
Be	32	60,26	57,91	4,0580	4,2006	-0,1426	0,0205	0,14

Anexos

-	33	60,27	57,87	4,1472		-0,0534		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	4,2006±0,14	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	60,22	58,89	2,2584		-0,0050		
Bf	32	60,19	58,86	2,2559	2,2634	-0,0075	0,000078	0,01
-	33	60,22	58,88	2,2758		0,0124		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	2,2634±0,01	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	60,22	59,14	1,8262		0,1384		
Bg	32	60,25	59,30	1,6020	1,6878	-0,0858	0,00976	0,09
-	33	60,29	59,32	1,6352		-0,0526		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	1,6878±0,10	-

4. RETRAÇÃO LINEAR: $RL = \frac{Cs - Cq}{Cq} \times 100$ Temp.: **1050°C**

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	60,29	55,77	8,1047		-0,3885		
B	42	60,25	55,43	8,6957	8,4932	0,2025	0,0755	0,27
-	43	60,23	55,42	8,6792		0,1860		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	8,4932 ± 0,27	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	60,32	56,09	7,5415		-0,0789		
Bb	42	60,36	55,95	7,8820	7,6204	0,2616	0,03601	0,19
-	43	60,38	56,20	7,4377		-0,1827		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	7,6204± 0,19	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	60,23	57,55	4,6568		0,4077		
Bc	42	60,19	57,85	4,0450	4,2491	-0,2041	0,0831	0,29
-	43	60,18	57,84	4,0456		-0,2035		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	4,2491±0,29	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	60,34	58,95	2,3579		0,1038		
Bd	42	60,39	59,25	1,9240	2,2541	-0,3301	0,05699	0,24
-	43	60,32	58,86	2,4805		0,2264		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	2,2541±0,24	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	60,21	57,67	4,4044		-0,1247		
Be	42	60,26	57,68	4,4730	4,5291	-0,0561	0,01711	0,13

Anexos

-	43	60,25	57,54	4,7098		0,1807		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	4,5291±0,13	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	60,00	58,72	2,1798		0,0485		
Bf	42	60,09	58,82	2,1591	2,1313	0,0278	0,00298	0,05
-	43	60,09	58,88	2,0550		-0,0763		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	2,1313±0,05	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	60,10	59,13	1,6405		0,0113		
Bg	42	60,07	59,07	1,6930	1,6292	0,0638	0,003279	0,06
-	43	60,12	59,20	1,5541		-0,0751		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	1,6292±0,06	-

5. RETRAÇÃO LINEAR: $RL = \frac{Cs - Cq}{Cq} \times 100$ Temp.: 1100°C

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	60,18	53,92	11,6098		-0,2202		
B	52	60,20	53,88	11,7298	11,8300	-0,1002	0,05377	0,23
-	53	60,18	53,66	12,1506		0,3206		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	11,8300± 0,23	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	60,32	55,46	8,7631		0,2231		
Bb	52	60,37	55,65	8,4816	8,5400	-0,0584	0,02677	0,16
-	53	60,30	55,64	8,3753		-0,1647		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	8,5400± 0,16	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	60,26	57,10	5,5342		0,0632		
Bc	52	60,28	57,15	5,4768	5,4710	0,0058	0,00293	0,05
-	53	60,29	57,20	5,4021		-0,0689		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	5,4710±0,05	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	60,35	58,77	2,6884		0,0695		
Bd	52	60,32	58,82	2,5502	2,6189	-0,0687	0,00318	0,06
-	53	60,36	58,82	2,6182		-0,0007		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	2,6189±0,06	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	60,24	57,50	4,7652		-0,1711		
Be	52	60,26	57,42	4,9460	4,9363	0,0097	0,01848	0,14

Anexos

-	53	60,20	57,28	5,0978		0,1615		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	4,9363±0,14	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	60,20	57,62	4,4776		0,0944		
Bf	52	60,28	57,31	5,1823	4,3832	0,7991	0,481878	0,70
-	53	60,20	58,17	3,4898		-0,8934		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	4,3832±0,70	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	60,23	58,38	3,1689		-0,0605		
Bg	52	60,20	58,45	2,9940	3,2294	-0,2354	0,048896	0,22
-	53	60,20	58,15	3,5254		0,2960		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	3,2294±0,22	-

6. RETRAÇÃO LINEAR: $RL = \frac{Cs - Cq}{Cq} \times 100$ Temp.: 1150°C

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	60,33	52,60	14,696		0,0249		
B	62	60,33	52,80	14,261	14,447	-0,0186	0,0003356	0,02
-	63	60,20	52,63	14,383		-0,0064		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	14,447± 0,02	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	60,35	55,17	9,3892		0,0451		
Bb	62	60,24	55,39	8,7561	9,3441	-0,5880	0,21417	0,5
-	63	60,24	54,82	9,8870		0,5429		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	9,3441± 0,50	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	60,28	56,51	6,6714		0,1225		
Bc	62	60,20	56,61	6,3416	6,5489	-0,2073	0,021712	0,15
-	63	60,28	56,53	6,6336		0,0847		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	6,5489±0,15	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	60,30	55,09	9,4573		-0,3490		
Bd	62	60,38	55,06	9,6622	9,8063	-0,1441	0,12860	0,36
-	63	60,40	54,76	10,2995		0,4932		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	9,8063±0,36	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	60,18	57,30	5,0262		0,0201		
Be	62	60,20	57,32	5,0244	5,0061	0,0183	0,000735	0,03

Anexos

-	63	60,22	57,37	4,9678		-0,0383		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	5,0061±0,03	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	60,21						
Bf	62	60,25		FUNDIU!				
-	63	60,22						
-	-	-	-	-	-	RLmédio	-	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	60,21						
Bg	62	60,18		FUNDIU!				
-	63	60,20						
-	-	-	-	-	-	RLmédio	-	-

7. RETRAÇÃO LINEAR: $RL = \frac{Cs - Cq}{Cq} \times 100$ Temp.: **1200°C**

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	60,32	52,44	15,0267		0,0471		
B	72	60,36	52,56	14,8402	14,9796	-0,1394	0,008638	0,09
-	73	60,18	52,31	15,0449		0,0653		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	14,9796± 0,09	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	60,36	55,10	9,5462		0,0466		
Bb	72	60,31	55,05	9,5549	9,4996	0,0553	0,005204	0,07
-	73	60,30	55,12	9,3977		-0,1019		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	9,4996± 0,07	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	60,28	55,89	7,8547		0,1312		
Bc	72	60,20	55,96	7,5768	7,7235	-0,1467	0,012992	0,11
-	73	60,28	55,95	7,7391		0,0156		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	7,7235±0,11	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	60,34	56,90	6,0457		-0,1161		
Bd	72	60,40	56,79	6,3568	6,1618	0,195	0,0192378	0,14
-	73	60,34	56,88	6,0830		-0,0788		
-	-	-	-	-	-	RLmédio	6,1618±0,14	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	60,28						
Be	72	60,29		FUNDIU!				

Anexos

-	73	60,20						
-	-	-	-	-	-	RLmédio	-	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	60,16						
Bf	72	60,23		FUNDIU!				
-	73	60,15						
-	-	-	-	-	-	RLmédio	-	-

-	-	Cs	Cq	RL %	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	60,15						
Bg	72	60,18		FUNDIU!				
-	73	60,16						
-	-	-	-	-	-	RLmédio	-	-

ABSORÇÃO DE ÁGUA**1. ABSORÇÃO DE ÁGUA: $AA = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100$ Temp.: **850°C****

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,17	11,0182	20,1548		-0,4478		
B	12	9,02	10,8528	20,3193	20,6026	-0,2833	0,27176	0,52
-	13	9,08	11,0171	21,3337		0,7311		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	20,6026±0,52	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,20	11,1397	21,0837		-1,3979		
Bb	12	9,18	11,4310	24,5207	22,4816	2,0391	2,17439	1,47
-	13	9,21	11,2215	21,8404		-0,6412		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	22,4816± 1,47	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	8,88	10,8481	22,1633		-1,2494		
Bc	12	9,45	11,8283	25,1672	23,4127	1,7545	1,63143	1,28
-	13	8,88	10,9142	22,9077		-0,5050		
-	-	-	-	-	-	PFmédio	23,4127±1,28	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,15	10,9411	19,5748		-0,4231		
Bd	12	9,15	10,9680	19,8688	19,9979	-0,1291	0,166905	0,41
-	13	9,16	11,0424	20,5502		0,5523		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	19,9979±0,41	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
---	---	----	----	----	-------	--------	-----------	----

Anexos

-	11	9,37	11,5366	23,1227		0,0972		
Be	12	9,36	11,5278	23,1602	23,0255	0,1347	0,027092	0,16
-	13	9,36	11,4935	22,7938		-0,2317		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	23,0255±0,16	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,19	11,1636	21,4755		0,0306		
Bf	12	9,16	11,1049	21,2325	21,4449	-0,2124	0,026379	0,16
-	13	9,19	11,1775	21,6268		0,1819		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	21,4449±0,16	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,26	11,3396	22,4579		0,7304		
Bg	12	9,24	11,2147	21,3712	21,7275	-0,3563	0,27460	0,52
-	13	9,31	11,2952	21,3233		-0,4042		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	21,7275±0,52	-

2. ABSORÇÃO DE ÁGUA: $AA = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100$ Temp.: 900°C

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,07	10,8462	19,5832		-0,0906		
B	22	9,08	10,8280	19,2511	19,6738	-0,4227	0,150085	0,39
-	23	9,04	10,8649	20,1870		0,5132		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	19,6738± 0,39	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,19	11,0013	19,7095		-0,9094		
Bb	22	9,12	11,0658	21,3355	20,6189	0,7166	0,45923	0,68
-	23	9,19	11,1026	20,8117		0,1928		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	20,6189± 0,68	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,49	11,6330	22,5816		0,3673		
Bc	22	8,89	10,8310	21,8335	22,2143	-0,3808	0,093366	0,31
-	23	9,48	11,5872	22,2278		0,0135		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	22,2143±0,31	-

-	-	Os	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,19	10,9785	19,4613		-0,0245		
Bd	22	9,13	10,9407	19,8324	19,4858	0,3466	0,074848	0,27
-	23	9,17	10,9273	19,1636		-0,3222		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	19,4858±0,27	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
---	---	----	----	----	-------	--------	-----------	----

Anexos

-	21	9,39	11,4993	22,4633		0,2246		
Be	22	9,40	11,4479	21,7862	22,2387	-0,4525	0,1023647	0,32
-	23	9,39	11,4996	22,4665		0,2278		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	22,2387±0,32	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,23	11,1078	20,3445		-0,2885		
Bf	22	9,27	11,1841	20,6483	20,6330	0,0153	0,0521761	0,23
-	23	9,21	11,1352	20,9033		0,2703		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	20,6330±0,23	-

-	-	Os	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,28	11,1510	20,1616		-0,3630		
Bg	22	9,27	11,1636	20,4272	20,5246	-0,0974	0,117710	0,34
-	23	9,26	11,2032	20,9849		0,4603		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	20,5246±0,34	-

3. ABSORÇÃO DE ÁGUA: $AA = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100$ Temp.: **1000°C**

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,05	10,4672	15,6597		-0,6615		
B	32	8,97	10,3956	15,8930	16,3212	-0,4282	0,60279	0,78
-	33	9,20	10,8018	17,4109		1,0897		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	16,3212 ±0,78	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,16	10,7028	16,8428		-0,3746		
Bb	32	9,17	10,8219	18,0142	17,2174	0,7968	0,317822	0,56
-	33	9,08	10,6050	16,7952		-0,4222		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	17,2174± 0,56	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	8,81	10,5070	19,2622		-1,6111		
Bc	32	9,42	11,3500	20,4883	20,8733	-0,3850	2,242894	1,50
-	33	8,81	10,8248	22,8695		1,9962		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	20,8733±1,50	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,09	10,6960	17,6678		-0,7712		
Bd	32	9,04	10,8152	19,6372	18,4390	1,1982	0,737558	0,86
-	33	9,06	10,6919	18,0121		-0,4269		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	18,4390±0,86	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
---	---	----	----	----	-------	--------	-----------	----

Anexos

-	31	9,36	11,5143	23,0160		0,3590		
Be	32	9,33	11,4583	22,8114	22,6570	0,1544	0,138800	0,37
-	33	9,34	11,4082	22,1435		-0,5135		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	22,6570±0,37	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,08	10,9882	21,0154		0,4531		
Bf	32	9,12	10,9396	19,9518	20,5623	-0,6105	0,200938	0,45
-	33	9,10	10,9855	20,7198		0,1575		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	20,5623±0,45	-

-	-	Os	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,16	11,1062	21,2467		-0,0980		
Bg	32	9,20	11,1729	21,4446	21,3447	0,0999	0,0065292	0,08
-	33	9,16	11,1150	21,3428		-0,0019		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	21,3447±0,08	-

4. ABSORÇÃO DE ÁGUA: $AA = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100$ Temp.: **1050°C**

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,11	10,269	12,7223		-0,2836		
B	42	9,07	10,319	13,7707	13,0059	0,7648	0,298935	0,55
-	43	9,07	10,206	12,5248		-0,4811		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	13,0059± 0,55	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,12	10,227	12,1382		-1,3763		
Bb	42	9,06	10,297	13,6534	13,5145	0,1389	1,1482178	1,07
-	43	9,07	10,408	14,7519		1,2374		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	13,5145± 1,07	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,35	10,660	14,0107		-3,5098		
Bc	42	9,36	11,144	19,0599	17,5205	1,5394	6,190439	2,49
-	43	8,84	10,563	19,4910		1,9705		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	17,5205±2,49	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,12	10,348	13,4649		-3,1842		
Bd	42	9,08	10,754	18,4361	16,6491	1,7870	5,094981	2,26
-	43	9,06	10,695	18,0464		1,3973		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	16,6491±2,26	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
---	---	----	----	----	-------	--------	-----------	----

Anexos

-	41	9,33	11,450	22,7224		-0,1943		
Be	42	9,27	11,452	23,5383	22,9167	0,6216	0,2022699	0,45
-	43	9,32	11,416	22,4893		-0,4274		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	22,9167±0,45	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,09	10,915	20,0770		-0,1031		
Bf	42	9,08	10,956	20,6608	20,1801	0,4807	0,12811979	0,36
-	43	9,11	10,914	19,8024		-0,3777		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	20,1801±0,36	-

-	-	Os	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,13	11,081	21,3691		0,5044		
Bg	42	9,16	11,017	20,2730	20,8647	-0,5917	0,2040440	0,45
-	43	9,14	11,055	20,9519		0,0872		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	20,8647±0,45	-

5. ABSORÇÃO DE ÁGUA: $AA = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100$ Temp.: 1100°C

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,01	9,7722	8,4595		0,1272		
B	52	9,01	9,7083	7,7503	8,3323	-0,5820	0,18725	0,43
-	53	8,97	9,7582	8,7871		0,4548		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	8,3323 ± 0,43	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,05	10,2492	13,2508		-0,4271		
Bb	52	9,05	10,3297	14,1403	13,6779	0,4624	0,132489	0,36
-	53	9,04	10,2733	13,6427		-0,0352		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	13,6779± 0,36	-

-	-	Os	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,36	10,8786	16,2244		-1,0930		
Bc	52	9,40	10,9876	16,8894	17,3174	-0,4280	1,230323	1,11
-	53	9,34	11,0995	18,8383		1,5209		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	17,3174±1,11	-

-	-	Os	Pu	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,06	10,6429	17,4713		0,3768		
Bd	52	9,03	10,5696	17,0498	17,0945	-0,0447	0,0847334	0,29
-	53	9,01	10,5203	16,7625		-0,3320		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	17,0945±0,29	-

-	-	Ps	Pu	PF	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
---	---	----	----	----	-------	--------	-----------	----

Anexos

-	51	9,30	11,1987	20,4161		-0,8554		
Be	52	9,31	11,3043	21,4211	21,2715	0,1496	0,4174613	0,65
-	53	9,30	11,3439	21,9774		0,7059		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	21,2715±0,65	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,10	10,4388	14,7121		-0,4142		
Bf	52	9,11	10,2833	12,8793	15,1263	-2,2470	4,1012068	2,02
-	53	9,09	10,7069	17,7877		2,6614		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	15,1263±2,02	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,11	10,5162	15,4358		0,3220		
Bg	52	9,14	10,5178	15,0744	15,1138	-0,0394	0,0616808	0,25
-	53	9,13	10,4841	14,8313		-0,2825		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	15,1138±0,25	-

6. ABSORÇÃO DE ÁGUA: $AA = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100$ Temp.: 1150°C

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	9,02	9,640	6,8736		0,7806		
B	62	9,13	9,740	6,6813	6,0930	0,5883	0,9431068	0,97
-	63	9,06	9,488	4,7241		-1,3689		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	6,0930 ± 0,97	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	8,96	10,00	11,6071		0,0096		
Bb	62	9,17	10,320	12,5409	11,5975	0,9434	0,599498	0,77
-	63	9,00	9,958	10,6444		-0,9531		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	11,5975± 0,77	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	9,36	10,420	11,3248		-2,0529		
Bc	62	8,77	9,968	13,6602	13,3777	0,2825	2,4761736	1,6
-	63	8,78	10,110	15,1481		1,7704		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	13,3777±1,6	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	9,07	10,003	10,2867		-1,0277		
Bd	62	9,08	10,110	11,3436	11,3144	0,0292	0,6846074	0,83
-	63	9,08	10,198	12,3128		0,9984		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	11,3144±0,83	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
---	---	----	----	----	-------	--------	-----------	----

Anexos

-	61	9,29	9,419	1,3886		-1,1718		
Be	62	9,27	9,500	2,4811	2,5604	-0,0793	0,9815561	0,99
-	63	9,28	9,634	3,8115		1,2511		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	2,5604±0,99	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,528						
Bf	62	10,547		FUNDIU!				
-	63	10,480						
-	-	-	-	-	-	AAmédio	-	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,652						
Bg	62	10,615		FUNDIU!				
-	63	10,666						
-	-	-	-	-	-	AAmédio	-	-

7. ABSORÇÃO DE ÁGUA: $AA = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100$ Temp.: 1200°C

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	8,88	9,1683	3,2466		-0,3514		
B	72	9,09	9,4621	4,0935	3,5980	0,4955	0,1299319	0,36
-	73	8,99	9,3005	3,4538		0,1442		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	3,5980 ± 0,36	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	9,03	9,8050	8,5825		-0,0078		
Bb	72	9,05	9,7742	8,0022	8,5903	-0,5881	0,2337128	0,48
-	73	9,02	9,8486	9,1863		0,59600		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	8,5903± 0,48	-

-	-	Ps	PU	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	8,78	9,3419	6,3998		-1,6357		
Bc	72	9,40	10,2560	9,1064	8,0355	1,0709	1,380409	1,17
-	73	9,35	10,1543	8,6002		0,5647		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	8,0355±1,17	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	9,11	9,7768	7,3194		-0,7418		
Bd	72	9,05	9,8294	8,6121	8,0612	0,5509	0,296746	0,54
-	73	9,04	9,7860	8,2522		0,1910		
-	-	-	-	-	-	AAmédio	8,0612±0,54	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
---	---	----	----	----	-------	--------	-----------	----

Anexos

-	71	10,402						
Be	72	10,393		FUNDIU!				
-	73	10,421						
-	-	-	-	-	-	AAmédio	-	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,508						
Bf	72	10,521		FUNDIU!				
-	73	10,542						
-	-	-	-	-	-	AAmédio	-	-

-	-	Ps	Pu	AA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,547						
Bg	72	10,602		FUNDIU!				
-	73	10,586						
-	-	-	-	-	-	AAmédio	-	-

POROSIDADE APARENTE

1. POROSIDADE APARENTE: $P_{Ap} = \frac{\mu_u - \mu_q}{\mu_u - \mu_i} \times 100$ Temp.: 850°C

-	-	Mq	Mu	Mi	P _{Ap}	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,17	11,0182	5,194	31,7331		-0,6797		
B	12	9,02	10,8528	5,224	32,6570	32,4128	0,2440	0,2370627	0,49
-	13	9,08	11,0171	5,120	32,8483		0,4355		
-	-	-	-	-	-	-	P _{Ap} médio	32,4128±0,49	-

-	-	Mq	Mu	Mi	P _{Ap}	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,20	11,1397	4,500	29,2137		-1,8935		
Bb	12	9,18	11,4310	4,618	33,0398	31,1072	1,9326	2,440672	1,56
-	13	9,21	11,2215	4,747	31,0680		-0,0392		
-	-	-	-	-	-	-	P _{Ap} médio	31,1072±1,56	-

-	-	Mq	Mu	Mi	P _{Ap}	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	8,88	10,8481	4,462	30,8185		-1,6623		
Bc	12	9,45	11,8283	4,862	34,1401	32,4808	1,6593	1,83884226	1,36
-	13	8,88	10,9142	4,652	32,4838		0,0030		
-	-	-	-	-	-	-	P _{Ap} médio	32,4808±1,36	-

-	-	Mq	Mu	Mi	P _{Ap}	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,15	10,9411	4,565	28,0908		-0,1608		
Bd	12	9,15	10,9680	4,565	28,3929	28,2516	0,1413	0,0154008	0,12
-	13	9,16	11,0424	4,384	28,2711		0,0195		

Anexos

-	-	-	-	-	-	-	PApmédio	28,2516±0,12	-
---	---	---	---	---	---	---	-----------------	---------------------	---

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,37	11,5366	4,843	32,3682		0,7746		
Be	12	9,36	11,5278	4,596	31,2733	31,5936	-0,3203	0,303025536	0,55
-	13	9,36	11,4935	4,642	31,1392		-0,4544		
-	-	-	-	-	-	-	PApmédio	31,5936±0,55	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,19	11,1636	4,112	27,9880		-0,7473		
Bf	12	9,16	11,1049	4,431	29,1419	28,7353	0,4066	0,27997516	0,53
-	13	9,19	11,1775	4,342	29,0761		0,3408		
-	-	-	-	-	-	-	PApmédio	28,7353±0,53	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,26	11,3396	4,019	28,4075		0,8763		
Bg	12	9,24	11,2147	3,906	27,0185	27,5312	-0,5127	0,38763174	0,62
-	13	9,31	11,2952	3,988	27,1677		-0,3635		
-	-	-	-	-	-	-	PApmédio	27,5312±0,62	-

2. POROSIDADE APARENTE: $PAp = \frac{Mu - Mq}{Mu - Mi} \times 100$ Temp.: 900°C

-	-	Mq	Mu	MI	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,07	10,8462	5,200	31,4583		0,0947		
B	22	9,08	10,8280	5,165	30,8670	31,3636	-0,4966	0,1390612	0,37
-	23	9,04	10,8649	5,120	31,7656		0,4020		
-	-	-	-	-	-	-	PApmédio	31,3636±0,37	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,19	11,0013	4,350	27,2323		-1,5031		
Bb	22	9,12	11,0658	4,454	29,4292	28,7354	0,6938	1,1318242	1,06
-	23	9,19	11,1026	4,629	29,5446		0,8092		
-	-	-	-	-	-	-	PApmédio	28,7354±1,06	-

-	-	MQ	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,49	11,6330	4,880	31,7340		0,2631		
Bc	22	8,89	10,8310	4,594	31,1207	31,4709	-0,3502	0,06648849	0,26
-	23	9,48	11,5872	4,910	31,5581		0,0872		
-	-	-	-	-	-	-	PApmédio	31,4709±0,26	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,19	10,9785	4,200	26,3849		-0,4420		
Bd	22	9,13	10,9407	4,264	27,1197	26,8269	0,2928	0,10110888	0,32
-	23	9,17	10,9273	4,413	26,9760		0,1491		
-	-	-	-	-	-	-	PApmédio	26,8269±0,32	-

Anexos

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,39	11,4993	4,270	29,1771		-0,4267		
Be	22	9,40	11,4479	4,586	29,8445	29,6038	0,2407	0,0915475	0,30
-	23	9,39	11,4996	4,418	29,7899		0,1861		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	29,6038±0,30	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,23	11,1078	4,362	27,8366		-0,5275		
Bf	22	9,27	11,1841	4,852	30,2285	28,3641	1,8644	1,8471817	1,36
-	23	9,21	11,1352	4,012	27,0272		-1,3369		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	28,3641±1,36	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,28	11,1510	4,010	26,2008		-0,3921		
Bg	22	9,27	11,1636	4,030	26,5448	26,5929	-0,0481	0,05607403	0,24
-	23	9,26	11,2032	4,015	27,0332		0,4403		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	26,5929±0,24	-

3. POROSIDADE APARENTE: $PAp = \frac{Mu - Mq}{Mu - Mi} \times 100$ Temp.: 1000°C

-	-	Mq	Mu	MI	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,05	10,4672	4,600	24,1546		-1,1468		
B	32	8,97	10,3956	4,700	25,0298	25,3014	-0,2716	1,13359178	1,06
-	33	9,20	10,8018	4,807	26,7198		1,4184		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	25,3014± 1,06	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,16	10,7028	4,310	24,1334		-0,4691		
Bb	32	9,17	10,8219	4,296	25,3130	24,6025	0,7105	0,26106243	0,51
-	33	9,08	10,6050	4,345	24,3610		-0,2415		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	24,6025±0,51	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	8,81	10,5070	4,400	27,7878		-0,7412		
Bc	32	9,42	11,3500	4,737	29,1849	28,5290	0,6559	0,3289527	0,57
-	33	8,81	10,5248	4,532	28,6143		0,0853		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	28,5290±0,57	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,09	10,6960	4,100	24,3480		-0,8829		
Bd	32	9,04	10,8152	4,133	26,5661	25,2309	1,3352	0,92225209	0,96
-	33	9,06	10,6919	4,106	24,7787		-0,4522		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	25,2309±0,96	-

Anexos

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,36	11,5143	4,280	29,7790		0,0593		
Be	32	9,33	11,4583	4,400	30,1531	29,7197	0,4334	0,1445376	0,38
-	33	9,34	11,4082	4,332	29,2275		-0,4922		
-	-	-	-		-	-	PAPmédio	29,7197±0,38	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,08	10,9882	3,984	27,2436		0,4294		
Bf	32	9,12	10,9396	3,994	26,1979	26,7142	-0,5163	0,15037388	0,39
-	33	9,10	10,9855	3,924	26,7011		-0,0131		
-	-	-	-		-	-	PAPmédio	26,7142±0,39	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,16	11,1062	4,056	27,6049		-0,0176		
Bg	32	9,20	11,1729	4,005	27,5241	27,6225	-0,0984	0,00780837	0,09
-	33	9,16	11,1150	4,067	27,7384		0,1159		
-	-	-	-		-	-	PAPmédio	27,6225±0,09	-

4. POROSIDADE APARENTE: $PAP = \frac{Mu - Mq}{Mu - Mi} \times 100$ Temp.: 1050°C

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,11	10,269	4,600	20,4445		0,1204		
B	42	9,07	10,319	4,530	21,5754	20,3241	1,2513	1,15402769	1,07
-	43	9,07	10,206	4,212	18,9523		-1,3718		
-	-	-	-		-	-	PAPmédio	20,3241± 1,07	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,12	10,227	4,200	18,3673		-1,7240		
Bb	42	9,06	10,297	4,207	20,3120	20,0913	0,2207	1,76026512	1,32
-	43	9,07	10,408	4,212	21,5946		1,5033		
-	-	-	-		-	-	PAPmédio	20,0913± 1,32	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,35	11,266	4,400	27,9056		0,3918		
Bc	42	9,36	11,144	4,639	27,4250	27,5138	-0,0888	0,098436017	0,29
-	43	8,84	10,563	4,231	27,2110		-0,3028		
-	-	-	-		-	-	PAPmédio	27,5138±0,29	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,12	10,348	4,100	19,6543		-3,6813		
Bd	42	9,08	10,754	4,126	25,2565	23,3356	1,9209	6,78016086	2,6
-	43	9,06	10,695	4,163	25,0959		1,7603		
-	-	-	-		-	-	PAPmédio	23,3356±2,60	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
---	---	----	----	----	-----	-------	--------	-----------	----

Anexos

-	41	9,33	11,450	4,100	28,8435		-0,4836		
Be	42	9,27	11,452	4,220	30,1715	29,3271	0,8444	0,35901898	0,60
-	43	9,32	11,416	4,180	28,9663		-0,3608		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	29,3271±0,60	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,09	10,515	4,000	21,8726		-3,1920		
Bf	42	9,08	10,956	3,965	26,8345	25,0646	1,7699	5,11449800	2,26
-	43	9,11	10,914	4,103	26,4866		1,4220		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	25,0646±2,26	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,13	11,081	3,900	27,1689		2,1613		
Bg	42	9,16	11,017	3,860	25,9466	25,0076	0,9390	5,05472624	2,25
-	43	9,14	10,555	4,096	21,9074		-3,1002		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	25,0076±2,25	-

5. POROSIDADE APARENTE: $PAP = \frac{Mu - Mq}{Mu - Mi} \times 100$ Temp.: 1100°C

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,01	9,7722	4,200	13,6786		0,0077		
B	52	9,01	9,7083	4,270	12,8404	13,6709	-0,8305	.455651316	0,67
-	53	8,97	9,7582	4,320	14,4938		0,8229		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	13,6709±0,67	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,05	10,2492	4,100	19,5017		-0,6567		
Bb	52	9,05	10,3297	4,007	20,2398	20,1584	0,0814	0,25624529	0,51
-	53	9,04	10,2733	4,325	20,7336		0,5752		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	20,1584±0,51	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,36	10,8786	4,400	23,4402		-1,9151		
Bc	52	9,40	10,9876	4,778	25,5669	25,3553	0,2116	2,20476494	1,48
-	53	9,34	11,0995	4,597	27,0588		1,7035		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	25,3553±1,48	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,06	10,6429	4,300	24,9555		0,3110		
Bd	52	9,03	10,5696	4,305	24,5762	24,6445	-0,0683	0,05342972	0,23
-	53	9,01	10,5203	4,331	24,4018		-0,2427		
-	-	-	-		-	-	PApmédio	24,6445±0,23	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,30	11,1987	4,296	27,5066		-0,4378		

Anexos

Be	52	9,31	11,3043	4,152	27,8833	27,9444	-0,0611	0,1480678	0,38
-	53	9,30	11,3439	4,158	28,4432		0,4988		
-	-	-	-	-	-	-	PAPmédio	27,9444±0,38	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,10	10,4388	3,900	20,4747		-0,4190		
Bf	52	9,11	10,2833	4,101	18,9783	20,8937	-1,9154	3,09822510	1,76
-	53	9,09	10,7069	3,746	23,2283		2,3346		
-	-	-	-	-	-	-	PAPmédio	20,8937±1,76	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,11	10,5162	3,990	21,5470		0,1528		
Bg	52	9,14	10,5178	3,967	21,0325	21,3942	-0,3617	0,06592405	0,26
-	53	9,13	10,4841	4,216	21,6030		0,2088		
-	-	-	-	-	-	-	PAPmédio	21,3942±0,26	-

6. POROSIDADE APARENTE: $PAP = \frac{Mu - Mq}{Mu - Mi} \times 100$ Temp.: 1150°C

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	9,02	9,640	4,300	11,6105		1,2537		
B	62	9,13	9,740	4,332	11,2796	10,3568	0,9228	2,38668016	1,54
-	63	9,06	9,488	4,256	8,1804		-2,1764		
-	-	-	-	-	-	-	PAPmédio	10,3568± 1,54	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	8,96	10,00	4,400	18,5714		-0,4149		
Bb	62	9,17	10,320	4,786	20,7806	18,9863	1,7943	1,76470766	1,33
-	63	9,00	9,958	4,517	17,6070		-1,3793		
-	-	-	-	-	-	-	PAPmédio	18,9863± 1,33	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	9,36	10,420	4,500	17,9054		-3,7989		
Bc	62	8,77	9,968	4,778	23,0828	21,7043	1,3785	7,39690790	2,72
-	63	8,78	10,110	4,597	24,1248		2,4205		
-	-	-	-	-	-	-	PAPmédio	21,7043±2,72	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	9,07	10,003	4,280	16,3026		-2,4481		
Bd	62	9,08	10,110	4,380	17,9756	18,7507	-0,7751	5,66121217	2,38
-	63	9,08	10,398	4,400	21,9740		3,2233		
-	-	-	-	-	-	-	PAPmédio	18,7507±2,38	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAP	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	9,29	9,419	4,625	2,6909		-2,0200		
Be	62	9,27	9,500	4,500	4,6000	4,7109	-0,1109	2,87795327	1,70

Anexos

-	63	9,28	9,634	4,460	6,8419		2,1310		
-	-	-	-		-	-	PApmédico	4,7109±1,70	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,528							
Bf	62	10,547			FUNDIU!				
-	63	10,480							
-	-	-	-		-	-	PApmédico	-	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,652							
Bg	62	10,615			FUNDIU!				
-	63	10,666							
-	-	-	-		-	-	PApmédico	-	-

7. POROSIDADE APARENTE: $PAp = \frac{Mu - Mq}{Mu - Mi} \times 100$ Temp.: 1200°C

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	8,88	9,1683	4,150	5,7450		-0,5661		
B	72	9,09	9,4621	4,282	7,1832	6,3111	0,8721	0,39153414	0,63
-	73	8,99	9,3005	4,130	6,0052		-0,3059		
-	-	-	-		-	-	PApmédico	6,3111± 0,63	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	9,03	9,8050	4,400	14,3386		-0,4510		
Bb	72	9,05	9,7742	4,572	13,9210	14,7896	-0,8686	0,89982501	0,95
-	73	9,02	9,8486	4,705	16,1093		1,3197		
-	-	-	-		-	-	PApmédico	14,7896± 0,95	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	8,78	9,3419	5,000	12,9413		-2,1557		
Bc	72	9,40	10,2560	5,061	16,4774	15,0970	1,3804	2,3845972	1,54
-	73	9,35	10,1543	5,087	15,8724		0,7754		
-	-	-	-		-	-	PApmédico	15,0970±1,54	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	9,11	9,7768	4,500	12,6364		-1,3653		
Bd	72	9,05	9,8294	4,675	15,1211	14,0017	1,1194	1,05917269	1,03
-	73	9,04	9,7860	4,550	14,2475		0,2458		
-	-	-	-		-	-	PApmédico	14,0017±1,03	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,402							
Be	72	10,393			FUNDIU!				
-	73	10,421							

Anexos

-	-	-	-		-	-	PApmédico	-	-
---	---	---	---	--	---	---	------------------	---	---

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,508							
Bf	72	10,521			FUNDIU!				
-	73	10,542							
-	-	-	-	-		-		PApmédico	-

-	-	Mq	Mu	Mi	PAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,547							
Bg	72	10,602			FUNDIU!				
-	73	10,586							
-	-	-	-	-		-		PApmédico	-

MASSA ESPECÍFICA APARENTE

1. MASSA ESPECÍFICA APARENTE: $ME_{Ap} = \frac{M_q}{\mu - M_i}$ Temp.: **850°C**

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,17	11,0182	5,194	1,57		0,00		
B	12	9,02	10,8528	5,224	1,60	1,57	0,03	0,0006	0,02
-	13	9,08	11,0171	5,120	1,54		-0,03		
-	-	-	-	-		-		MEAp médio	1,57±0,02

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,20	11,1397	4,500	1,39		0,00		
Bb	12	9,18	11,4310	4,618	1,35	1,39	-0,04	0,00083	0,03
-	13	9,21	11,2215	4,747	1,42		0,03		
-	-	-	-	-	-	-		MEAp médio	1,39±0,03

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	8,88	10,8481	4,462	1,39		0,00		
Bc	12	9,45	11,8283	4,862	1,36	1,39	-0,03	0,0006	0,02
-	13	8,88	10,9142	4,652	1,42		0,03		
-	-	-	-	-	-	-		MEAp médio	1,39±0,02

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,15	10,9411	4,565	1,43		0,02		
Bd	12	9,15	10,9680	4,565	1,43	1,41	0,02	0,0008	0,03
-	13	9,16	11,0424	4,384	1,38		-0,04		
-	-	-	-	-	-	-		MEAp médio	1,41±0,03

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
---	---	----	----	----	------	-------	--------	-----------	----

Anexos

-	11	9,37	11,5366	4,843	1,40		0,03		
Be	12	9,36	11,5278	4,596	1,35	1,37	-0,02	0,00043	0,02
-	13	9,36	11,4935	4,642	1,37		0,00		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,37±0,02	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,19	11,1636	4,112	1,30		-0,04		
Bf	12	9,16	11,1049	4,431	1,37	1,34	0,03	0,00083	0,03
-	13	9,19	11,1775	4,342	1,34		0,00		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,34±0,03	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	9,26	11,3396	4,019	1,26		0,00		
Bg	12	9,24	11,2147	3,906	1,26	1,26	0,00	0,000033	0,00
-	13	9,31	11,2952	3,988	1,27		0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,26±0,00	-

2. MASSA ESPECÍFICA APARENTE: $MEAp = \frac{Mq}{Mu - Mi}$ Temp.: 900°C

-	-	Mq	Mu	MI	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,07	10,8462	5,200	1,60		0,01		
B	22	9,08	10,8280	5,165	1,60	1,59	0,01	0,0002	0,01
-	23	9,04	10,8649	5,120	1,57		-0,02		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,59±0,01	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,19	11,0013	4,350	1,38		-0,01		
Bb	22	9,12	11,0658	4,454	1,38	1,39	-0,01	0,00036	0,02
-	23	9,19	11,1026	4,629	1,42		0,03		
-	-	-	-		-	-	PAP_{médio}	1,39± 0,02	-

-	-	MQ	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,49	11,6330	4,880	1,40		-0,01		
Bc	22	8,89	10,8310	4,594	1,42	1,41	0,01	0,0001	0,01
-	23	9,48	11,5872	4,910	1,42		0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,41±0,01	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,19	10,9785	4,200	1,36		-0,01		
Bd	22	9,13	10,9407	4,264	1,37	1,37	0,00	0,0003333	0,02
-	23	9,17	10,9273	4,413	1,40		0,03		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,37±0,02	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,39	11,4993	4,270	1,30		-0,03		
Be	22	9,40	11,4479	4,586	1,37	1,33	0,04	0,00086	0,03

Anexos

-	23	9,39	11,4996	4,418	1,32		-0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,33±0,03	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,23	11,1078	4,362	1,37		-0,09		
Bf	22	9,27	11,1841	5,852	1,74	1,46	0,28	0,0384666	0,20
-	23	9,21	11,1352	4,012	1,29		-0,17		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,46±0,20	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,28	11,1510	4,010	1,30		0,00		
Bg	22	9,27	11,1636	4,030	1,30	1,30	0,00	0,00003333	0,01
-	23	9,26	11,2032	4,015	1,29		-0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,30±0,01	-

3. MASSA ESPECÍFICA APARENTE: MEAp= $\frac{Mq}{Mu - Mi}$ Temp.: 1000°C

-	-	Mq	Mu	MI	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,05	10,4672	4,600	1,54		-0,01		
B	32	8,97	10,3956	4,700	1,57	1,55	0,02	0,0003	0,02
-	33	9,20	10,8018	4,807	1,53		-0,02		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,55± 0,02	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,16	10,7028	4,310	1,43		0,00		
Bb	32	9,17	10,8219	4,296	1,40	1,43	-0,03	0,00043333	0,02
-	33	9,08	10,6050	4,345	1,45		0,02		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,43± 0,02	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	8,81	10,5070	4,400	1,44		0,02		
Bc	32	9,42	11,3500	4,737	1,42	1,42	0,00	0,00026666	0,02
-	33	8,81	10,8248	4,532	1,40		-0,02		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,42±0,02	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,09	10,6960	4,100	1,38		0,01		
Bd	32	9,04	10,8152	4,133	1,35	1,37	-0,02	0,0002	0,01
-	33	9,06	10,6919	4,106	1,38		0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp_{médio}	1,37±0,01	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,36	11,5143	4,280	1,29		-0,02		

Anexos

Be	32	9,33	11,4583	4,400	1,32	1,31	0,01	0,0002	0,01
-	33	9,34	11,4082	4,332	1,32		0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,31±0,01	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,08	10,9882	3,984	1,30		0,00		
Bf	32	9,12	10,9396	3,994	1,31	1,30	0,01	0,00006666	0,01
-	33	9,10	10,9855	3,924	1,29		-0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,30±0,01	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	9,16	11,1062	4,056	1,30		0,01		
Bg	32	9,20	11,1729	4,005	1,28	1,29	-0,01	0,0001	0,01
-	33	9,16	11,1150	4,067	1,30		0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,29±0,01	-

4. MASSA ESPECÍFICA APARENTE: $MEAp = \frac{Mq}{\mu - Mi}$ Temp.: 1050°C

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,11	10,269	4,600	1,61		0,05		
B	42	9,07	10,319	4,530	1,57	1,56	0,01	0,0017	0,04
-	43	9,07	10,206	4,212	1,51		-0,05		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,56 ± 0,04	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,12	10,227	4,200	1,51		0,02		
Bb	42	9,06	10,297	4,207	1,49	1,49	0,00	0,00043333	0,02
-	43	9,07	10,408	4,212	1,46		-0,03		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,49± 0,02	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,35	10,266	4,400	1,59		0,11		
Bc	42	9,36	11,144	4,639	1,44	1,48	-0,04	0,0067	0,08
-	43	8,84	10,563	4,231	1,40		-0,08		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,48±0,08	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,12	10,348	4,100	1,46		0,06		
Bd	42	9,08	10,754	4,126	1,37	1,40	-0,03	0,00153333	0,04
-	43	9,06	10,695	4,163	1,39		-0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,40±0,04	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,33	11,450	4,100	1,27		-0,01		

Anexos

Be	42	9,27	11,452	4,220	1,28	1,28	0,00	0,0000666	0,01
-	43	9,32	11,416	4,180	1,29		0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,28±0,01	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,09	10,515	4,000	1,39		0,05		
Bf	42	9,08	10,956	3,965	1,30	1,34	-0,04	0,00136666	0,04
-	43	9,11	10,914	4,103	1,34		0,00		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,34±0,04	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	9,13	11,081	3,900	1,27		-0,05		
Bg	42	9,16	11,017	3,860	1,28	1,32	-0,04	0,0040666	0,06
-	43	9,14	10,555	4,096	1,41		0,09		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,32±0,06	-

5. MASSA ESPECÍFICA APARENTE: MEAp= Mq Temp.: 1100°C
Mu -- Mi

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,01	9,7722	4,200	1,62		-0,02		
B	52	9,01	9,7083	4,270	1,66	1,64	0,02	0,0003	0,02
-	53	8,97	9,7582	4,320	1,65		0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,64± 0,02	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,05	10,2492	4,100	1,47		0,00		
Bb	52	9,05	10,3297	4,007	1,43	1,47	-0,04	0,00136666	0,04
-	53	9,04	10,2733	4,325	1,52		0,05		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,47± 0,04	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,36	10,8786	4,400	1,44		-0,02		
Bc	52	9,40	10,9876	4,778	1,51	1,46	0,05	0,0011	0,03
-	53	9,34	11,0995	4,597	1,44		-0,02		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,46±0,03	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,06	10,6429	4,300	1,43		-0,01		
Bd	52	9,03	10,5696	4,305	1,44	1,44	0,00	0,00016666	0,01
-	53	9,01	10,5203	4,331	1,46		0,02		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,44±0,01	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,30	11,1987	4,296	1,35		0,04		

Anexos

Be	52	9,31	11,3043	4,152	1,30	1,31	-0,01	0,0007	0,03
-	53	9,30	11,3439	4,158	1,29		-0,02		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,31±0,03	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,10	10,4388	3,900	1,39		0,00		
Bf	52	9,11	10,2833	4,101	1,47	1,39	0,08	0,00483333	0,07
-	53	9,09	10,7069	3,746	1,30		-0,09		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,39±0,07	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	9,11	10,5162	3,990	1,40		-0,06		
Bg	52	9,14	10,0178	3,967	1,51	1,46	0,05	0,00203333	0,05
-	53	9,13	10,4841	4,216	1,46		0,00		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,46±0,05	-

6. MASSA ESPECÍFICA APARENTE: $MEAp = \frac{Mq}{\mu - Mi}$ Temp.: 1150°C

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	9,02	9,640	4,300	1,69		-0,01		
B	62	9,13	9,740	4,332	1,69	1,70	-0,01	0,00036666	0,02
-	63	9,06	9,488	4,256	1,73		0,03		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,70± 0,02	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	8,96	10,00	4,400	1,60		-0,04		
Bb	62	9,17	10,320	4,786	1,66	1,64	0,02	0,0007	0,03
-	63	9,00	9,958	4,517	1,65		0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,64± 0,03	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	9,36	10,420	4,500	1,58		-0,04		
Bc	62	8,77	9,968	4,778	1,69	1,62	0,07	0,00246666	0,05
-	63	8,78	10,110	4,597	1,59		-0,03		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,62±0,05	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	9,07	10,003	4,280	1,62		0,05		
Bd	62	9,08	10,110	4,380	1,58	1,57	0,01	0,00206666	0,04
-	63	9,08	10,398	4,400	1,51		-0,06		
-	-	-	-		-	-	MEAp	1,57±0,04	-

Anexos

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	9,29	9,419	4,625	1,94		0,08		
Be	62	9,27	9,500	4,500	1,85	1,86	-0,01	0,0038	0,06
-	63	9,28	9,634	4,460	1,79		-0,07		
-	-	-	-		-	-	MEAp médio	1,86±0,06	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,528							
Bf	62	10,547			FUNDIU!				
-	63	10,480							
-	-	-	-		-	-	MEAp médio	-	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	10,652							
Bg	62	10,615			FUNDIU!				
-	63	10,666							
-	-	-	-		-	-	MEAp médio	-	-

7. MASSA ESPECÍFICA APARENTE: $MEAp = \frac{Mq}{Mu - Mi}$ Temp.: 1200°C

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	8,88	9,1683	4,150	1,77		0,02		
B	72	9,09	9,4621	4,282	1,75	1,75	0,00	0,00016666	0,01
-	73	8,99	9,3005	4,130	1,74		-0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp médio	1,75 ± 0,01	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	9,03	9,8050	4,400	1,67		-0,05		
Bb	72	9,05	9,7742	4,572	1,74	1,72	0,02	0,00126666	0,04
-	73	9,02	9,8486	4,705	1,75		0,03		
-	-	-	-		-	-	MEAp médio	1,72± 0,04	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	8,78	9,3419	5,000	2,02		0,13		
Bc	72	9,40	10,2560	5,061	1,81	1,89	-0,08	0,0083	0,09
-	73	9,35	10,1543	5,087	1,85		-0,04		
-	-	-	-		-	-	MEAp médio	1,89±0,09	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	9,11	9,7768	4,500	1,73		-0,01		
Bd	72	9,05	9,8294	4,675	1,76	1,74	0,02	0,0002	0,01
-	73	9,04	9,7860	4,550	1,73		-0,01		
-	-	-	-		-	-	MEAp médio	1,74±0,01	-

Anexos

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,402							
Be	72	10,393			FUNDIU!				
-	73	10,421							
-	-	-	-	-	-	-	MEAp _{médio}	-	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,508							
Bf	72	10,521			FUNDIU!				
-	73	10,542							
-	-	-	-	-	-	-	MEAp _{médio}	-	-

-	-	Mq	Mu	Mi	MEAp	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	10,547							
Bg	72	10,602			FUNDIU!				
-	73	10,586							
-	-	-	-	-	-	-	MEAp _{médio}	-	-

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO

1. GRUPO B:

TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	15,3506		-0,001		
850°C	12	15,3436	15,3516	-0,008	0,00004807	0,01
-	13	15,3605		0,0089		
-	-	-	-	R_{média}	15,3516±0,01	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	13,5060		0,4011		
900°C	22	13,1000	13,1049	-0,0049	0,105986303	0,33
-	23	12,7086		-0,3963		
-	-	-	-	R_{média}	13,1049±0,33	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	22,0005		0,6595		
1000°C	32	21,5431	21,3410	0,2021	0,40610385	0,64
-	33	20,4793		-0,8617		
-	-	-	-	R_{média}	21,3410±0,64	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	25,6200		1,9225		

Anexos

1050°C	42	24,4282	23,6975	0,7307	3,75628945	1,94
-	43	21,0444		-2,6531		
-	-	-	-	Rmédia	23,6975±1,94	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	22,9200		-1,6624		
1100°C	52	25,9117	24,5824	1,3293	1,547211497	1,24
-	53	24,9156		0,3332		
-	-	-	-	Rmédia	24,5824±1,24	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	22,5401		1,8684		
1150°C	62	20,3451	20,6717	-0,3266	1,991475003	1,41
-	63	19,1300		-1,5417		
-	-	-	-	Rmédia	20,6717±1,41	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	32,8542		2,3254		
1200°C	72	30,2279	30,5288	-0,3009	3,198875407	1,79
-	73	28,5043		-2,0245		
-	-	-	-	Rmédia	30,5288±1,79	-

2. GRUPO Bb:

TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	10,2230		1,1689		
850°C	12	7,31098	9,05405	-1,7431	1,57810521	1,26
-	13	9,62817		0,5741		
-	-	-	-	Rmédia	9,0541±1,26	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	9,87650		0,2333		
900°C	22	10,42740	9,6432	0,7842	0,568302763	0,75
-	23	8,62563		-1,0176		
-	-	-	-	Rmédia	9,6432±0,75	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA Mpa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	11,73500		1,5228		
1000°C	32	8,64455	10,2122	-1,5676	1,592768537	1,26
-	33	10,25710		0,0449		
-	-	-	-	Rmédia	10,2122±1,26	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA Mpa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	12,3200		0,7290		

Anexos

1050°C	42	11.3873	11,5910	-0,2037	0,282923243	0,53
-	43	11.0658		-0,5252		
-	-	-	-	Rmédia	11,5910±0,53	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA Mpa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	12.0045		1,0672		
1100°C	52	10.3091	10,9373	-0,6282	0,575424026	0,76
-	53	10.4983		-0,4390		
-	-	-	-	Rmédia	10,9373±0,76	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA Mpa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	11.8760		-0,9652		
1150°C	62	12.3710	12,8412	-0,4702	1,071119777	1,03
-	63	14.2767		1,4355		
-	-	-	-	Rmédia	12,8412±1,03	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	11.8790		0,2032		
1200°C	72	10.2335	11,6758	-1,4423	1,218880177	1,10
-	73	12.9148		1,2390		
-	-	-	-	Rmédia	11,6758±1,10	-

3. GRUPO Bc:

TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	5,50727		-0,0454		
850°C	12	5,51397	5,55272	-0,0387	0,003549496	0,06
-	13	5,63692		0,0842		
-	-	-	-	Rmédia	5,5527± 0,06	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	5,60032		0,0197		
900°C	22	5,00324	5,5806	-0,5774	0,21489887	0,46
-	23	6,13820		0,5576		
-	-	-	-	Rmédia	5,5806±0,46	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	5,87046		-0,1327		
1000°C	32	6,21859	6,0032	-0,2154	0,023604233	0,15
-	33	5,92066		-0,0825		
-	-	-	-	Rmédia	6,0032±0,15	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	6,67980		-0,0661		
1050°C	42	7,15965	6,7459	0,4137	0,098780886	0,31

Anexos

-	43	6,39829		-0,3476		
-	-	-	-	Rmédia	6,7459±0,31	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	7,02678		-0,4826		
1100°C	52	8,51214	7,5094	1,0027	0,502868686	0,71
-	53	6,98941		-0,5199		
-	-	-	-	Rmédia	7,5094±0,71	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	7,54604		0,1204		
1150°C	62	8,20475	7,4256	0,7792	0,47697632	0,69
-	63	6,52597		-0,8996		
-	-	-	-	Rmédia	7,4256±0,69	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	9,45890		-0,4565		
1200°C	72	10,3706	9,9154	0,4552	0,138533576	0,37
-	73	9,91664		0,0012		
-	-	-	-	Rmédia	9,9154±0,37	-

4. GRUPO Bd:

TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	11,3125		-0,0844		
850°C	12	10,7803	11,3969	-0,6166	0,292953376	0,54
-	13	12,0980		0,7011		
-	-	-	-	Rmédia	11,3969±0,54	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	11,5760		0,1009		
900°C	22	11,8389	11,4751	0,3638	0,11952343	0,35
-	23	11,0103		-0,4648		
-	-	-	-	Rmédia	11,4751±0,35	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	12,7654		1,4683		
1000°C	32	9,94492	11,2971	1,3522	1,33261739	1,15
-	33	11,1809		-0,1162		
-	-	-	-	Rmédia	11,2971±1,15	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	11,8900		-0,4714		
1050°C	42	11,9877	12,3614	-0,3737	0,358687886	0,60
-	43	13,2065		0,8451		

Anexos

-	-	-	-	Rmédia	12,3614±0,60	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	15,7700		2,0619		
1100°C	52	14,5741	13,7081	0,8660	4,524466817	2,13
-	53	10,7803		-2,9278		
-	-	-	-	Rmédia	13,7081±2,13	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	12,4500		0,2680		
1150°C	62	12,5432	12,1820	0,3612	0,19394026	0,45
-	63	11,5528		-0,6292		
-	-	-	-	Rmédia	12,1820±0,45	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	16,1400		1,6946		
1200°C	72	11,3983	14,4454	-3,0471	4,662004777	2,16
-	73	15,7980		1,3526		
-	-	-	-	Rmédia	14,4454±2,16	-

5. GRUPO Be:

TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	6,70052		-0,3276		
850°C	12	7,08389	7,0281	0,0558	0,061455003	0,25
-	13	7,30000		0,2719		
-	-	-	-	Rmédia	7,0281±0,25	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA Mpa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	6,95401		0,3902		
900°C	22	6,50597	6,5638	-0,0578	0,08871771	0,30
-	23	6,23131		-0,3325		
-	-	-	-	Rmédia	6,5638±0,30	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	6,08891		-0,3200		
1000°C	32	6,59180	6,4089	0,1829	0,051549606	0,23
-	33	6,54602		0,1371		
-	-	-	-	Rmédia	6,4089±0,23	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA Mpa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	6,50200		0,2949		
1050°C	42	6,02531	6,2071	-0,1818	0,04426962	0,21
-	43	6,09398		-0,1131		
-	-	-	-	Rmédia	6,2071±0,21	-

Anexos

TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	51	8,21450		0,0175		
1100°C	52	7,91931	8,1970	-0,2777	0,04837586	0,22
-	53	8,45718		0,2602		
-	-	-	-	Rmédia	8,1970±0,22	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	17,80700		-0,6965		
1150°C	62	19,20000	18,5035	0,6965	0,48511225	0,70
-	63	*				
-	-	-	-	Rmédia	18,5035±0,70	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	*				
1200°C	72	*				
-	73	*				
-	-	-	-	Rmédia		-

6. GRUPO Bf:

TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	7,39000		-0,3681		
850°C	12	8,63457	7,7581	0,8765	0,387372916	0,62
-	13	7,24983		-0,5083		
-	-	-	-	Rmédia	7,7581±0,62	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA Mpa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	6,70000		-0,2254		
900°C	22	6,72913	6,9254	-0,1963	0,08905658	0,30
-	23	7,34711		0,4217		
-	-	-	-	Rmédia	6,9254±0,30	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	7,94000		-0,8026		
1000°C	32	9,30977	8,7426	0,5671	0,34037842	0,58
-	33	8,97789		0,2353		
-	-	-	-	Rmédia	8,7426±0,58	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	6,94000		-0,5365		
1050°C	42	7,90787	7,4765	0,4314	0,161668416	0,40
-	43	7,58171		0,1052		
-	-	-	-	Rmédia	7,4765±0,40	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp

Anexos

		MPa				
-	51	11,2400		-0,7445		
1100°C	52	12,7029	11,9845	0,7184	0,357020006	0,60
-	53	12,0106		0,0261		
-	-	-	-	Rmédia	11,9845±0,60	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	*				
1150°C	62	*				
-	63	*				
-	-	-	-	Rmédia		-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	*				
1200°C	72	*				
-	73	*				
-	-	-	-	Rmédia		-

7. GRUPO Bg:

TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	11	4,6320		0,4081		
850°C	12	4,0598	4,2239	-0,1641	0,084320543	0,29
-	13	3,9800		-0,2439		
-	-	-	-	Rmédia	4,2239±0,29	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA Mpa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	21	3,51000		-0,0251		
900°C	22	3,82805	3,5351	0,2929	0,05271242	0,23
-	23	3,26729		-0,2678		
-	-	-	-	Rmédia	3,5351±0,23	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	31	4,90000		0,5773		
1000°C	32	4,14276	4,3227	-0,1799	0,17452202	0,42
-	33	3,92532		-0,3974		
-	-	-	-	Rmédia	4,3227±0,42	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	41	5,01000		-0,3297	0,227263406	0,48
1050°C	42	4,99535	5,3397	-0,3443		
-	43	6,01387		0,6742		
-	-	-	-	Rmédia	5,3397±0,48	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp

Anexos

-	51	10,74000		1,4303		
1100°C	52	8,27980	9,3097	-1,0299	1,088950783	1,04
-	53	8,90923		-0,4005		
-	-	-	-	Rmédia	9,3097±1,04	-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	61	*				
1150°C	62	*				
-	63	*				
-	-	-	-	Rmédia		-
TEMPERATURA	AMOSTRAS	RESISTÊNCIA MPa	MÉDIA	DESVIO	VARIÂNCIA	Dp
-	71	*				
1200°C	72	*				
-	73	*				
-	-	-	-	Rmédia		-