

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**FORMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MASSAS DE GRÊS
PORCELANATO PREPARADAS A PARTIR DE MATÉRIAS-PRIMAS
NATURAIS DO RIO GRANDE DO NORTE E COM ADIÇÃO DE
CHAMOTE DE TELHAS**

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

como parte dos requisitos para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

MAXYMME MENDES DE MELO

Natal

Março/2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**FORMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MASSAS DE GRÊS
PORCELANATO PREPARADAS A PARTIR DE MATÉRIAS-PRIMAS
NATURAIS DO RIO GRANDE DO NORTE E COM ADIÇÃO DE
CHAMOTE DE TELHAS**

MAXYMME MENDES DE MELO

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA
Sendo aprovada em sua forma final.

Prof. Ph.D. Antônio Eduardo Martinelli – Orientador
Prof. Dr. Eng Rubens Maribondo do Nascimento – Co-orientador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ing. Antônio Pedro Novaes de Oliveira
Prof. Dr. Uilame Umbelino Gomes
Dr. Eng. Adriano Alves Rabelo

Natal
Março/2006

À minha querida Déa

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela Sua criação, e pelas infinitas oportunidades que nos dá para progredirmos sempre, rumo à Ele.

Aos meus pais Jacob Melo e Adilene Mendes, aos meus irmãos Mackenzie, Kahdynn, Allena, Hendrick e Evelissa, e aos sobrinhos Yngrew, Flora e Pietro pelo apoio e incentivo, todos os dias.

Aos queridos Lucila, Hanna, Vinícius, Daniele, Joselson, Aldenor, Dalva, André, Daliana e Margarida, por embelezarem ainda mais a minha família.

A Andréa Pinheiro em especial, que além de me fazer acreditar que meus sonhos podem se tornar realidade, me ajuda a concretizá-los.

Aos amigos do trabalho, Angélica, Gustavo, Diana, Sidilei, Tarcila e Darlan pela convivência maravilhosa que temos e pelo interesse sempre em ajudar.

Ao CTGÁS, especialmente aos doutores Francisco Antônio Vieira e Nagib Francisco da Silva, pela orientação e pela amizade, e ao Sr. Taismar Zanini, coordenador da Unidade de Pesquisa Aplicada e Transferência de Tecnologia do CTGÁS, por disponibilizar toda a estrutura indispensável para a conclusão deste trabalho.

Aos professores Antônio Eduardo Martinelli e Rubens Maribondo do Nascimento, orientador e co-orientador deste trabalho, respectivamente, por tudo que me proporcionaram, pelas orientações e ensinamentos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e a Marisa, pelos conhecimentos e pela paciência de sempre.

A Márcio Varela, Nildo, Luiz Carlos, Eduardo, Gustavo Cachina, Michele Távora, Sr. Genival, a todos os familiares e amigos, e aos que, embora eu não tenha citado, me ajudaram, na realização desta tarefa.

Aos meus amigos da SECA pela oportunidade que me deram de ser seu amigo e sobretudo aos amigos do mundo invisível, que estão sempre a nos intuir às melhores ações e pensamentos.

Meu muito obrigado!

Resumo da dissertação apresentada ao PPGEM-UFRN como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Formulação e caracterização de massas de grês porcelanato preparadas a partir de matérias-primas naturais do Rio Grande do Norte e com adição de chamote de telhas

Maxymme Mendes de Melo

Março/2006

A indústria de cerâmica vermelha é um dos segmentos de maior importância na economia do Rio Grande do Norte. Nesse setor, o material mais produzido é a telha, ocupando mais de 60% de todos os artefatos produzidos, com mais de 50 milhões de peças fabricadas por mês. Sabe-se que devido à falhas no processamento, o teor de resíduos desse material no RN, pode chegar a um valor de até 20%, o que significa mais de 10 milhões de telhas indo diretamente para aterros, visto que estas, depois de queimadas, não podem ser reutilizadas no processo de fabricação. Desta forma, o uso desse rejeito na produção de cerâmicas com alto valor agregado, como é o caso do grês porcelanato, se torna uma opção viável. Do ponto de vista econômico essa viabilidade se dá, pelo fato de utilizar-se um rejeito como parte da formulação. Do ponto de vista ambiental, a viabilidade está em reduzir o acúmulo desses rejeitos nos aterros sanitários. Desta forma, o presente trabalho tem o objetivo de estudar a influência da adição de descarte de telhas em formulações de grês porcelanatos. Para isso, utilizou-se duas formulações, adicionando concentrações de 10, 20 e 30% de chamote para cada uma delas. O Chamote e as matérias-primas foram caracterizadas por FRX, DRX, TG, ATD e AG. As queimas foram realizadas em forno a gás natural com três temperaturas, por 30 minutos de patamar: 1150, 1200 e 1250°C. Após a sinterização os corpos-de-prova foram submetidos a: ensaios físicos de RL, AA, PA, MEA, TRF e dilatometria; análise mineralógica por DRX; e microestrutural por MEV. Obteve-se para algumas das formulações com a adição de chamote, propriedades superiores às das exigidas por normas para o grês porcelanato.

Palavras-chave: Rejeito de telha (chamote); reaproveitamento; grês porcelanato; matérias-primas do RN; gás natural.

Abstract of the thesis presented to PPGEM-UFRN as part of the requirements for obtaining Master degree in Mechanics Engineering

Formulation and characterization of porcelanized stoneware tiles mixtures from regional raw materials and roofing tile chamote

Maxymme Mendes de Melo

March/2006

Traditional ceramics have an important role in the economy of Rio Grande do Norte. The local industries manufacture over 50 million shingles a month, corresponding to 60% of their overall production. As a result of processing flaws, roughly 20% of the production must be discarded, since little or no use has been envisaged for such fired components. Therefore, the use of this kind of residue, especially in the composition of other ceramic materials, comes as an interesting option from the economical and environmental point of view. In this scenario, the objective of the present study was to assess the effect of the addition of fired shingle waste in the composition of porcelanized stoneware tiles. To that end, two porcelanized stoneware tiles compositions were initially prepared. Subsequently, contents from 10 to 30% of roofing tiles chamote were added to each one of them. All raw materials and grog were characterized by FRX, XRD, and thermal analysis. The ceramics were fired using natural gas for 30 min at different temperatures, i.e. 1150, 1200 and 1250°C, and fully characterized. The addition of roofing tiles chamote resulted in composition with superior properties compared to additive-free compositions. Porcelanized stoneware tiles products that fulfill required standards for practical applications were achieved.

Key Words: roofing tiles chamote; porcelanized stoneware tiles, reuse, raw materials of the RN; natural gas.

SUMÁRIO

Dedicatória

Agradecimentos

Resumo

Abstract

Sumário

Índice de Figuras

Índice de Tabelas

1. Introdução	18
2. Materiais Cerâmicos	22
2.1. Definição	23
2.2. Cerâmica de Revestimento	24
2.2.1. Panorama Mercadológico	26
3. Grês Porcelanato	27
3.1. Panorama Mundial e Nacional	27
3.2. Características	28
3.3. Matérias-Primas e Formulações	29
3.3.1. Fabricação	32
3.3.1.1. Influência da Umidade e da Pressão nas Características Finais	33
3.3.2. Sinterização	35
3.3.3. Ensaio Tecnológicos	39
4. Resíduos para Formulações Cerâmicas	39

4.1. Resíduos de Mineração	39
4.2. Resíduos de Metalurgia	40
4.3. Resíduos Petrolíferos	40
4.4. Resíduos de Rochas Ornamentais	41
4.4.1. Ardósia	41
4.4.2. Granito	42
4.4.3. Mármore	42
4.5. Resíduos de Óleo	43
4.6. Resíduos de Vidro	43
4.7. Resíduos de Carvão Mineral	44
4.8. Resíduos da Construção Civil	44
4.9. Resíduos de Revestimentos Cerâmicos	45
4.10. Telhas	45
4.10.1. Produção de Telhas no RN	46
4.10.2. Fabricação de Telhas	47
4.10.3. Resíduos Oriundos da Fabricação de Telhas no RN	48
4.11. Métodos Alternativos para Produção de Grês Porcelanatos	49
4.11.1. Gás Natural na Indústria dos Porcelanatos	50
5. Procedimento Experimental	52
5.1. Matérias-Primas	53
5.1.1. Argila Caulinítica	53
5.1.2. Caulim	53
5.1.3. Feldspato	54
5.1.4. Talco	54

5.1.5. Chamote	55
5.2. Caracterização das Matérias-Primas	55
5.2.1. Análise Química	55
5.2.2. Análise Mineralógica	56
5.2.3. Análises Térmicas	56
5.2.4. Análise Granulométrica	56
5.3. Preparação das Massas Cerâmicas	57
5.4. Preparação dos Corpos-de-Prova	58
5.5. Secagem e Queima dos Corpos-de-Prova	58
5.6. Caracterização do Produto Final	59
5.6.1. Absorção de Água	60
5.6.2. Retração Linear	60
5.6.3. Porosidade Aparente	61
5.6.4. Massa Específica Aparente	61
5.6.5. Tensão de Ruptura à Flexão	62
5.6.6. Análise Microestrutural	62
5.6.7. Análise Dilatométrica	63
6. Resultados e Discussão	65
6.1. Caracterização das Matérias-Primas	65
6.1.1. Caracterização Química (FRX)	65
6.1.2. Caracterização Mineralógica (DRX)	66
6.1.3. Análises Térmicas	69
6.1.4. Granulometria	76
6.2. Caracterização das Massas Cerâmicas	80

6.2.1. Evolução da Microestrutura em Função da Queima	80
6.3. Caracterização Física dos Corpos Sinterizados	86
6.3.1. Retração Linear de Queima	86
6.3.2. Absorção de Água	91
6.3.3. Porosidade Aparente	96
6.3.4. Massa Específica Aparente	101
6.3.5. Tensão de Ruptura à Flexão	106
6.3.6. Microestrutura dos Corpos-de-Prova Sinterizados	111
6.3.6.1. Avaliação das Porosidades Aberta e Fechada	111
6.3.6.2. Avaliação da Mulita	117
6.3.7. Avaliação do Coeficiente de Dilatação Térmica	122
7. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	126
7.1. Conclusões	126
7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	129
Referências	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Pátio de estocagem de uma cerâmica do RN com resíduos de telhas e lenha para queima	19
Figura 1.2. Pavimentação com grês porcelanato das galerias dos museus vaticanos	20
Figura 3.1. Processo convencional para obtenção de grês porcelanato natural ou polido	30
Figura 3.2. Gráfico apresentando a influência da pressão e umidade em função da densidade do produto seco	32
Figura 3.3. Gráfico apresentando a influência da densidade à verde na AA do produto final	33
Figura 3.4. Microestrutura de uma massa de grês porcelanato a Verde e sinterizada a 1220°C	34
Figura 3.5. Diferença das fases encontradas em uma massa de grês porcelanato a Verde e uma queimada	35
Figura 3.6. Ilustração do comportamento de uma curva de gresificação	36
Figura 4.1. Telhas do RN. Da esquerda para direita: Colonial branca, plan vermelha, plan branca, colonial grande vermelha, canal vermelha, colonial vermelha, colonial vermelha Seridó e colonial amarela	46
Figura 4.2. Processo básico utilizado para fabricação de telhas no RN	47
Figura 4.3. Unidade móvel de queima a gás natural para fornos intermitentes	51
Figura 5.1. Fluxograma da metodologia experimental adotada	52
Figura 5.2. Mina de feldspato situada no município de Parelhas	54
Figura 6.1. Difratoograma de Raios X da argila Baldum	66
Figura 6.2. Difratoograma de Raios X do Feldspato	67
Figura 6.3. Difratoograma de Raios X do Caulim	68
Figura 6.4. Difratoograma de Raios X do Talco	68

Figura 6.5. Difratoograma de Raios X do Chamote	69
Figura 6.6. Curva Termogravimétrica (TG) com derivada (DrTG) da Argila Baldum	70
Figura 6.7. Curva Termodiferencial (ATD) da Argila Baldum	70
Figura 6.8. Curva Termogravimétrica (TG) com derivada (DrTG) do Feldspato ..	71
Figura 6.9. Curva Termodiferencial (ATD) do Feldspato	72
Figura 6.10. Curva Termogravimétrica (TG) com derivada (DrTG) do Caulim	72
Figura 6.11. Curva Termodiferencial (ATD) do Caulim	73
Figura 6.12. Curva Termogravimétrica (TG) com derivada (DrTG) do Talco	73
Figura 6.13. Curva Termodiferencial (ATD) do Talco	74
Figura 6.14. Curva Termogravimétrica (TG) com derivada (DrTG) do Chamote ..	74
Figura 6.15. Curva Termodiferencial (ATD) do Chamote	75
Figura 6.16. Distribuição Granulométrica da Argila Baldum	76
Figura 6.17. Distribuição Granulométrica do Feldspato	77
Figura 6.18. Distribuição Granulométrica do Caulim	77
Figura 6.19. Distribuição Granulométrica do Talco	78
Figura 6.20. Distribuição Granulométrica do Chamote	79
Figura 6.21. Comparativo entre os difratogramas de raios x da massa 1 sem adição de resíduo sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde	81
Figura 6.22. Comparativo entre os difratogramas de raios x da massa 1 com adição de 10% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C	82
Figura 6.23. Comparativo entre os difratogramas de raios x da massa 1 com adição de 20% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C	82

Figura 6.24. Comparativo entre os difratogramas de raios x da massa 1 com adição de 30% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C	83
Figura 6.25. Comparativo entre os difratogramas de raios x da massa 2 sem adição de resíduo sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde	84
Figura 6.26. Comparativo entre os difratogramas de raios x da massa 2 com adição de 10% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C	84
Figura 6.27. Comparativo entre os difratogramas de raios x da massa 2 com adição de 20% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde	85
Figura 6.28. Comparativo entre os difratogramas de raios x da massa 2 com adição de 30% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde	85
Figura 6.29. Retração linear dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas	87
Figura 6.30. Retração linear dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote	88
Figura 6.31. Retração linear dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas	88
Figura 6.32. Retração linear dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote	89
Figura 6.33. Absorção de água dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas	92
Figura 6.34. Absorção de água dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote	93
Figura 6.35. Absorção de água dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas	93
Figura 6.36. Absorção de água dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote	94

Figura 6.37. Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas	97
Figura 6.38. Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas (somente com adição de chamote)	97
Figura 6.39. Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas	98
Figura 6.40. Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas (somente com adição de chamote)	99
Figura 6.41. Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote	100
Figura 6.42. Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote	100
Figura 6.43. Massa Específica Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas	103
Figura 6.44. Massa Específica Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote	103
Figura 6.45. Massa Específica Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas	104
Figura 6.46. Massa Específica Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote	105
Figura 6.47. Tensão de Ruptura à Flexão dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas	107
Figura 6.48. Tensão de Ruptura à Flexão dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote	108

Figura 6.49. Tensão de Ruptura à Flexão dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas	109
Figura 6.50. Tensão de Ruptura à Flexão dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote	110
Figura 6.51. Micrografia por MEV da superfície do corpo-de-prova a partir da formulação 1 sem adição chamote, sinterizado a 1250°C	111
Figura 6.52. Micrografia por MEV da superfície do corpo-de-prova a partir da formulação 1 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C	112
Figura 6.53. Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 1 sem adição de chamote, sinterizado a 1250°C	113
Figura 6.54. Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 1 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C	113
Figura 6.55. Micrografia por MEV da superfície do corpo-de-prova a partir da formulação 2 sem adição de chamote, sinterizado a 1250°C	114
Figura 6.56. Micrografia por MEV da superfície do corpo-de-prova a partir da formulação 2 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C	115
Figura 6.57. Micrografia por MEV com da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 2 sem adição de rejeito, sinterizado a 1250°C	116
Figura 6.58. Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 2 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C	116
Figura 6.59. Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 1 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1150°C, atacada com HF a 2% em H ₂ O	117
Figura 6.60. Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 2 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1150°C, atacada com HF a 2% em H ₂ O	118
Figura 6.61. Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 1 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1200°C, atacada com HF a 2% em H ₂ O	119

Figura 6.62. Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 2 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1200°C, atacada com HF a 2% em H ₂ O	119
Figura 6.63. Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 1 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C, atacada com HF a 2% em H ₂ O	120
Figura 6.64. Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 4 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C, atacada com HF a 2% em H ₂ O	121
Figura 6.65. Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 1 com 10% de rejeito	122
Figura 6.66. Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 1 com 20% de rejeito	123
Figura 6.67. Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 1 com 30% de rejeito	123
Figura 6.68. Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 2 com 10% de rejeito	124
Figura 6.69. Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 2 com 20% de rejeito	124
Figura 6.70. Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 2 com 30% de rejeito	125

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Grupos dos revestimentos para AA	24
Tabela 3.1. Características principais avaliadas em função do emprego do porcelanato	37
Tabela 5.1. Formulação das misturas cerâmicas estudadas a partir da massa 1	57
Tabela 5.2. Formulação das misturas cerâmicas estudadas a partir da massa 2	57
Tabela 6.1. Composição Química em massa das Matérias-primas	65
Tabela 6.2. Resumo da distribuição granulométrica das matérias-primas estudadas	79
Tabela 6.3. Retração linear dos corpos-de-prova sinterizados a partir das formulações 1 e 2, nas temperaturas estudadas	90
Tabela 6.4. Absorção de água dos corpos-de-prova sinterizados a partir das formulações 1 e 2, nas temperaturas estudadas	95
Tabela 6.5. Porosidade aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir das formulações 1 e 2, nas temperaturas estudadas	101
Tabela 6.6. Massa específica aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir das formulações 1 e 2, nas temperaturas estudadas	106
Tabela 6.7. Tensão de ruptura à flexão dos corpos-de-prova sinterizados a partir das formulações 1 e 2, nas temperaturas estudadas	110

1. Introdução

A indústria de cerâmica estrutural é um dos segmentos industriais mais importantes para a economia do Rio Grande do Norte. Desde a última pesquisa realizada, observou-se que cerca de 206 empresas existiam no Estado em 2001, mas somente 159 estavam em operação, as demais em implantação/reimplantação, improdutivas ou desativadas. **(FIERN/SENAI, 2001)**

As indústrias em operação consomem em média por mês, 173.925 toneladas de argilas, 106.497 metros cúbicos de lenha e 2.500 megawatts de energia elétrica. O total de peças produzidas gira em torno de 82,799 milhões mensais. Esses valores colocam o Estado do Rio Grande do Norte como um dos maiores produtores do país de cerâmica estrutural. Outros produtos com maior valor agregado estão em fase experimental, mas apenas quatro empresas estão desenvolvendo-os, são eles: pisos, casquilhos, tijolos aparentes. **(FIERN/SENAI, 2001)**

Pesquisas realizadas pela **FIERN/SENAI (2001)** demonstram que o Estado, não é apenas um grande produtor de telhas, mas também, um grande gerador de rejeitos de telha, visto que para cada lote produzido, até 20% da produção pode ser perdida por problemas no processamento.

O RN é também um grande produtor, em potencial, de matérias-primas para cerâmicas com valores agregados bem mais altos, como é o caso dos revestimentos de grês porcelanato. Contudo, mesmo com toda a riqueza natural do RN, somente uma empresa tem dado segmento na produção desse tipo de produto, embora ainda se encontre na fase de implantação. Com isso, tem-se observado que muitas dessas matérias-primas estão sendo usadas para a fabricação de produtos de baixo valor agregado, ou somente sendo exportada para outros Estados. Isso tem permitido que somente os outros Estados possam produzir cerâmicas de “qualidade”, quando as mesmas matérias-primas poderiam estar possibilitando a geração de mais riquezas para o RN, oriundas de cerâmicas mais “valiosas”.

Além das questões das matérias-primas e dos males causados pelo elevado teor de descarte de telhas advindo das queimas irregulares, outro ponto muito significativo no panorama cerâmico do RN é o uso da lenha como principal combustível da maior parte dos seus produtos. Como se verificou acima, esse valor de lenha utilizado mensalmente no RN equivale a quase 25 mil ha/ano¹, o que corresponde a mais de 0,6% da área verde nativa do RN. **(NERI et al. 2000)** Isso é um grave problema do ponto de vista ambiental e já se pode verificar que esse desmatamento sistemático se constitui uma ameaça de desertificação.

A Figura 1.1 apresenta uma fotografia referente a um pátio de estocagem que exemplifica os dois problemas discutidos acima, ocorridos em uma única empresa cerâmica do RN, que são:

- a) a geração de rejeitos durante a fabricação de telhas (parte superior da Figura); e
- b) o elevado consumo de lenhas no processo de queima (parte inferior da Figura).



Figura 1.1. Fotografia referente ao pátio de estocagem de uma cerâmica do RN com rejeitos de telhas e lenha para queima.

¹ 1 ha equivale a 52m² de lenha.

O problema do uso de lenha, no processo de queima das cerâmicas vermelhas, encontra solução quando surgem outros combustíveis, como é o caso do gás natural. O RN por sinal, é também um grande produtor deste combustível, no município de Guamaré. A possibilidade de utilização deste combustível, embora possa trazer um custo mais elevado ao produto final, poderá proporcionar melhores queimas. Com isso ocorrerá maior diminuição do teor de rejeito gerado no final do processo, além de reduzir à zero, o consumo de lenha no parque cerâmico norte-rio-grandense, favorecendo assim, ao combate da desertificação.

Por outro lado, tem-se o grês porcelanato, que por sua vez, agrega qualidade em suas diversas propriedades e elevado valor para cada m² produzido. Devido a algumas características únicas, em suas propriedades, é que o porcelanato vem conseguindo conquistar um mercado que até algum tempo atrás era ocupado por pedras naturais, ou outros tipos de revestimentos cerâmicos. Suas principais características são: baixa absorção de água, <0,5%; elevada resistência à flexão, >27MPa; alta resistência ao manchamento, ao gelo, à abrasão, ao ataque químico; elevada dureza; além de baixo coeficiente de dilatação térmica. Como se pode verificar na Figura 1.2, a beleza é também uma de suas características.



Figura 1.2. Fotografia referente a uma pavimentação com grês porcelanato em uma galeria de museu vaticano.

Diante de toda essa realidade “cerâmica”, o objetivo principal deste trabalho é avaliar a potencialidade técnica de se utilizar os descartes de telhas (chamote) incorporados em massa de grês porcelanato, utilizando queima com gás natural. Como objetivos específicos do trabalho, destaca-se:

- 1) Caracterização das matérias-primas utilizadas, bem como do chamote, para a formulação de grês porcelanatos;
- 2) Comparar as propriedades obtidas do material com adição de chamote, com as propriedades do grês porcelanato comum.

O trabalho está dividido em sete capítulos. O primeiro é a introdução, que apresenta o trabalho com sua justificativa e seus objetivos a serem alcançados; do segundo ao quarto está apresentado um levantamento de informações sobre o assunto estudado desde produtos cerâmicos, até a produção e reutilização de rejeitos industriais; o quinto apresenta o procedimento experimental adotado; o sexto expõe os resultados alcançados e as respectivas discussões; por fim o sétimo, que apresenta as conclusões que se chegou a partir dos ensaios e análises realizadas além de sugestões para futuros possíveis trabalhos.

2. Materiais Cerâmicos

2.1. Definição

A maioria das cerâmicas consiste em compostos que são formados entre elementos metálicos e elementos não-metálicos, para os quais as ligações interatômicas ou são totalmente iônicas ou são predominantemente iônicas com alguma natureza covalente. O termo “cerâmica” vem da palavra *keramikos*, que significa “matéria-prima queimada”, indicando que as propriedades desejáveis desses materiais são normalmente atingidas através de um processo de tratamento térmico.

(CALLISTER, 2002)

Os materiais cerâmicos são fabricados a partir de matérias-primas que incluem:

- Matérias-primas naturais: argilas, quartzitos, caulins, feldspatos, magnesita, cromita, etc.
- Matérias-primas sintéticas: carbetos de silício (SiC), coríndon (Al_2O_3), titanato de bário, etc. **(JORDÃO, 1988)**

Para compreender a estrutura e o comportamento dos materiais cerâmicos, é necessário estudar suas propriedades, sendo elas:

- Propriedades elétricas;
- Propriedades magnéticas
- Propriedades óticas;
- Propriedades mecânicas;
- Propriedades térmicas;
- Propriedades termodinâmicas;
- Propriedades de superfícies e de interfaces. **(JORDÃO, 1988)**

De maneira geral os materiais cerâmicos passam por processos semelhantes para se obter as características finais desejadas. Suas fases de processamento podem ser divididas em quatro: preparação das matérias-primas, conformação, tratamento térmico e acabamento, em muitos casos a última pode não ser aplicada, por motivo de o produto já estar pronto após a queima.

Os materiais cerâmicos dividem-se em 9 grupos, em função de suas aplicações. São eles: cerâmica estrutural ou vermelha, branca, revestimento, refratária, isolante térmico, especial ou de alta tecnologia, cimento, vidro, e abrasivo. (JORDÃO, 1988)

2.2. Cerâmicas de Revestimento

As placas cerâmicas para revestimento são definidas pela **NBR-13816:1997** como um material composto de argila e outras matérias-primas inorgânicas, geralmente utilizadas para revestir pisos e paredes, sendo conformadas por extrusão ou por prensagem, podendo também ser conformadas por outros processos. As placas são então secas e queimadas à temperatura de sinterização. Podem ser esmaltadas ou não esmaltadas. As placas são incombustíveis e não são afetadas pela luz.

A ABNT, em sua **NBR-13817:1997**, classifica as cerâmicas de revestimento segundo os seguintes critérios:

- a) Esmaltadas e não esmaltadas;
- b) Métodos de fabricação (por exemplo: prensado, extrudado):
- c) Grupos de absorção de água;
- d) Classes de resistência à abrasão superficial, em número de 5;
- e) Classes de resistência ao manchamento, em número de 5;
- f) Classes de resistência ao ataque de reagentes químicos, segundo diferentes níveis de concentração;
- g) Aspecto superficial ou análise visual.

Conforme se verifica na Tabela 2.1, as cerâmicas de revestimento podem-se dividir em 5, no que tange a absorção de água.

Tabela 2.1. Grupos dos revestimentos para AA. (ANFACER, 2002)

Grupos	Absorção de água (%)	Produto
la	< 0,5	Porcelanato
lb	0,5 - 3,0	Grês
lia	3,0 - 6,0	Semi-Grês
lib	6,0 - 10,0	Semi-Poroso
III	> 10,0	Poroso

Muitas das características das placas cerâmicas dependem da sua porosidade, razão pela qual foi escolhida a absorção de água, expressa em porcentagem, como um dos parâmetros de classificação nas normas mundiais. (ANFACER, 2002)

Os materiais cerâmicos de revestimento, dada a grande variedade de tipos de produtos, utilizam as mais variadas matérias-primas, algumas típicas de produtos de cerâmica vermelha, outras típicas de produtos classificados como cerâmica branca (como os azulejos e pastilhas) e outras intermediárias entre um tipo e outro de material cerâmico. (JORDÃO, 1988). Porém, diferente da cerâmica vermelha que na maioria dos casos sai da mina e entra direto no processo, sua produção requer um maior preparo da matéria-prima depois de saída da jazida. (Gazeta mercantil vol I, 2000)

De maneira muito genérica, na fabricação de materiais cerâmicos de revestimentos, são usadas como matérias-primas:

- argilas, quartzo, caulim, calcita, dolomita, talco, feldspato. (JORDÃO, 1988)

O processo de produção da cerâmica de revestimento é contínuo e consiste nas fases de preparação de massa, prensagem, secagem, preparação do esmalte, esmaltação, queima, escolha e embalagem. (Gazeta mercantil vol I, 2000)

2.2.1. Panorama Mercadológico

O Brasil atualmente tem cerca de 120 empresas de revestimentos cerâmicos e ocupa o 4º lugar de maior produção em nível mundial. À sua frente estão China, Espanha e Itália, seguido da Indonésia. Produziu 534 milhões de m² em 2003,

aumentando 5% em relação ao ano de 2002. Atualmente exporta para mais de 121 países e em 2003, 19,3% de sua produção foi para fora de sua fronteira. O mercado interno brasileiro é o segundo maior do mundo perdendo apenas para a China. Estima-se que em 2002 esse mercado interno tenha consumido 2,54 m² por cada habitante no Brasil **(BOSCHI, 2004)**

O RN, mesmo apresentando jazidas de todas as matérias-primas necessárias para a fabricação de cerâmicas de revestimentos, somente dispõe de uma indústria do ramo, ainda em fase de implementação, apesar das cerâmicas de revestimento agregarem bem mais valor que as cerâmicas estruturais.

Por essa e outras coisas, o panorama cerâmico do Rio Grande do Norte não é dos mais favoráveis no momento, uma vez que trabalhar com produtos de pouco valor agregado como são as cerâmicas tradicionais, não permite bons e altos investimentos, melhoria na qualidade do produto, controle processual e ambiental adequados, nem tão pouco o uso do gás natural como combustível majoritário.

3. Grês Porcelanato

Dentro do grupo das cerâmicas de revestimento encontra-se o Grês Porcelanato, ou se preferir, somente Porcelanato. Ainda pode ser chamado de Granito Cerâmico, ou Grês Fino Porcelanato. **(BIFFI, 2002)**

O grês porcelanato é a última tendência em produto cerâmico para revestimentos que apresenta características técnicas e estéticas distintas das demais cerâmicas esmaltadas tradicionais. **(GAZETA MERCANTIL vol I, 2000)**

A denominação grês na terminologia cerâmica indica um material muito compacto, constituído por várias fases cristalinas dispersas em uma matriz vítrea, enquanto porcelanato tem raiz etimológica no termo porcelana, que denomina o material cerâmico mais nobre em evidência e apreciado há séculos. **(GAZETA MERCANTIL vol I, 2000)**

O produto é fruto de um longo processo de desenvolvimento tecnológico, o qual permitiu a elaboração de material constituído por fases cristalinas de elevada dureza, muito denso e inicialmente, não esmaltado. Tecnicamente, é um material policristalino contendo cerca de 40% de fase vítrea e porosidade residual. **(GAZETA MERCANTIL vol I, 2000)**

Do ponto de vista industrial, o grês porcelanato – que surgiu nos anos 70 – é associado, de um lado, à evolução conceitual e tecnológica de todas as fases do processo produtivo (da reformulação das massas até a definição dos ciclos de queima) e, de outro, ao desenvolvimento das técnicas de coloração e decoração. **(GAZETA MERCANTIL vol I, 2000)**

O desenvolvimento desse tipo de produto foi de grande significado, devido ao fato de ter estendido o uso da cerâmica para locais de domínio das pedras naturais, que possuem resistência à abrasão mais elevada do que produtos cerâmicos esmaltados. **(GAZETA MERCANTIL vol I, 2000)**

A combinação dos aspectos técnicos e estéticos determina, de fato, a aplicação de uma peça cerâmica, isto é, residencial, comercial e industrial. O grês porcelanato, que originariamente era utilizado somente em aplicações industriais, atualmente tem encontrado uma ampla colocação no setor comercial de tráfego leve. **(OLIVEIRA, 1998)**

O grês porcelanato, por sua grande versatilidade, apresenta também, tipologias distintas em função da utilização, podendo ser: monocores, granitos, variegados, macrogranitos, decorados, rústicos, estruturados, esmaltados, decalgres. A diferença de um para o outro está sempre nas cores dos pós atomizados, na maneira de prensar, na aplicação de soluções de sais ou esmaltes, ou no polimento, levigamento, etc. **(BIFFI, 2002)**

3.1. Panorama Mundial e Nacional

A capacidade produtiva mundial do grês porcelanato está atualmente próxima dos 150 milhões de m²/ano, com 150 empresas, enquanto a capacidade produtiva da cerâmica esmaltada é de aproximadamente 4,3 bilhões de m²/ano, com 4 mil empresas. **(GAZETA MERCANTIL vol I, 2000)**

Na Itália, existem 30 empresas com produção de grês porcelanato; na China são 30; em Taiwan, 20; na Alemanha, 7; na França, 7; na Malásia, 5; na Espanha, Indonésia, Tailândia e Índia, 4 fábricas em cada um.

No Brasil, a Eliane (SC) iniciou a fabricação desse produto em 1996. Aumentou sua capacidade de produção de 180 mil m²/mês para 240 mil m²/mês em 1999. Em 2000 já contava com uma produção de 300 mil m²/mês. Após a Eliane, outras empresas entraram no mercado com a fabricação de porcelanatos como, Crecisa (MG) e Portobello (SC). **(GAZETA MERCANTIL vol I e II, 2000 e MENEGAZZO, 2000)**

3.2. Características

Entre as características técnicas do grês porcelanato, a mais importante é a resistência ao desgaste físico, destacando-se em seguida os baixos valores de absorção de água, a alta resistência mecânica, a resistência ao ataque químico, a dureza superficial, a resistência ao congelamento, a resistência à compressão e o isolamento de descargas elétricas. Além das características técnicas, o grês porcelanato apresenta beleza estética, o que permitiu conquistar espaço no mercado de pedras naturais (especialmente granito e mármore) com menor custo. As dimensões

mais comuns são 30 cm x 30 cm, 40 cm x 40 cm e até 60 cm x 120 cm. Pode ser fabricado pelos processos de via úmida ou via seca através de uma queima rápida, usualmente de 50 a 70 minutos, à temperatura de ordem de 1250°C. **(GAZETA MERCANTIL vol I, 2000)**

O grês porcelanato, embora nascido para ser um produto sem esmalte, se insere comercialmente, como consequência lógica de sua extrema versatilidade, entre as categorias dos produtos com superfície esmaltada e não esmaltada. No seu emprego sem esmalte, são ressaltadas as características de extrema resistência da superfície que, por apresentar baixíssima porosidade, oferece uma completa impermeabilidade e resistência ao gelo. Ressalte-se que o grês porcelanato não esmaltado pode ser levigado² e polido, apresentando superfícies que se aproximam sempre mais dos mármore e dos granitos, em relação aos quais apresentam custos mais baixos, mesmo sendo dotado de características técnicas por vezes notavelmente superiores. **(BIFFI, 2002)**. Entre os materiais cerâmicos para pavimentação, o grês porcelanato é aquele que melhor se presta a solicitações de desgaste, em consequência de sua elevada dureza superficial. **(OLIVEIRA, 1998)**

3.3. Matérias-Primas e Formulações

De modo geral as matérias-primas cerâmicas classificam-se em dois grupos: plásticos (materiais argilosos) e não plásticos (fundentes, inertes, carbonatos, talcos). **(BORBA, 1996)**

As matérias-primas utilizadas na produção do grês porcelanato são praticamente as mesmas do revestimento esmaltado, como caulim, argilas plásticas, feldspato, quartzo e talco como possível aditivo. **(GAZETA MERCANTIL vol I, 2000)**

As misturas de matérias-primas utilizadas na fabricação caracterizam-se por serem compostas, geralmente, por uma porcentagem variável (30-50% em peso) de caulim e/ou argilas ilítico-cauliníticas, e uma proporção similar à anterior de feldspatos sódico-potássicos. Ambas matérias-primas devem apresentar baixo teor de óxido de ferro, já que a eficácia dos pigmentos que são adicionados à composição para colori-la

² **Levigado** - Semipolido, este acabamento dá aspecto opaco às peças de mármore ou granito. Indicado para áreas internas e externas.

depende diretamente da alvura do produto queimado. Adicionalmente, são empregadas outras matérias-primas, em menor proporção, para melhorar determinadas propriedades do produto ou para facilitar o processamento da composição, como quartzo, bentonita, carbonatos alcalino-terrosos, silicato de zircônio, talco, dentre outros. **(SANCHEZ, 2001)**

As matérias-primas usadas na formulação de massas de grês porcelanato assumem, em geral, configurações mineralógicas distintas e cada uma exerce uma função própria e específica. As matérias-primas argilosas conferem plasticidade à massa, enquanto aquelas complementares, não plásticas, caracterizadas por minerais fundentes e aqueles predominantemente refratários são responsáveis, em linhas gerais, pela densificação e resistência mecânica do material respectivamente. À primeira família pertencem os minerais argilosos de natureza ilítico-cauliníticos ou montmoriloníticos. Da mesma forma que as argilas, o caulim confere plasticidade, sendo fundamental, do ponto de vista composicional, para aumentar o teor de alumina e auxiliar na alvura do produto. Os minerais fundentes são representados por feldspatos e feldspatóides, talco e outros. Aqueles mais refratários com função estrutural são os quartzos e os quartzitos em geral. **(OLIVEIRA, 1998 e RODRIGUEZ, 2004)**

As matérias-primas fundentes têm como função básica aumentar a cinética de sinterização, através da formação de fase líquida viscosa, de modo a adequar as características finais do produto (porosidade, retração linear e resistência mecânica) a um ciclo de queima industrial. **(BORBA et. al, 1996)**

Os feldspatos são os principais responsáveis pelas características finais do grês porcelanato. O tipo mais utilizado para sua fabricação é o ortoclásio, rico em potássio. A albita, rica em sódio, é utilizada em menor proporção, para evitar graves deformações no produto durante a sinterização. **(BORBA, 1996)**

3.3.1. Fabricação

O processo de fabricação do grês porcelanato é similar aos demais de revestimentos cerâmicos, conforme se pode verificar na Figura 3.1. Passa pelas fases de cominuição (britagem e moagem por via úmida), seguido por atomização, que tem a finalidade de secar parcialmente a massa e formar aglomerados esféricos (grânulos),

de forma a permitir uma melhor compactação. Essa secagem deve deixar a massa com umidade média final entre 5,5 e 6,0%.

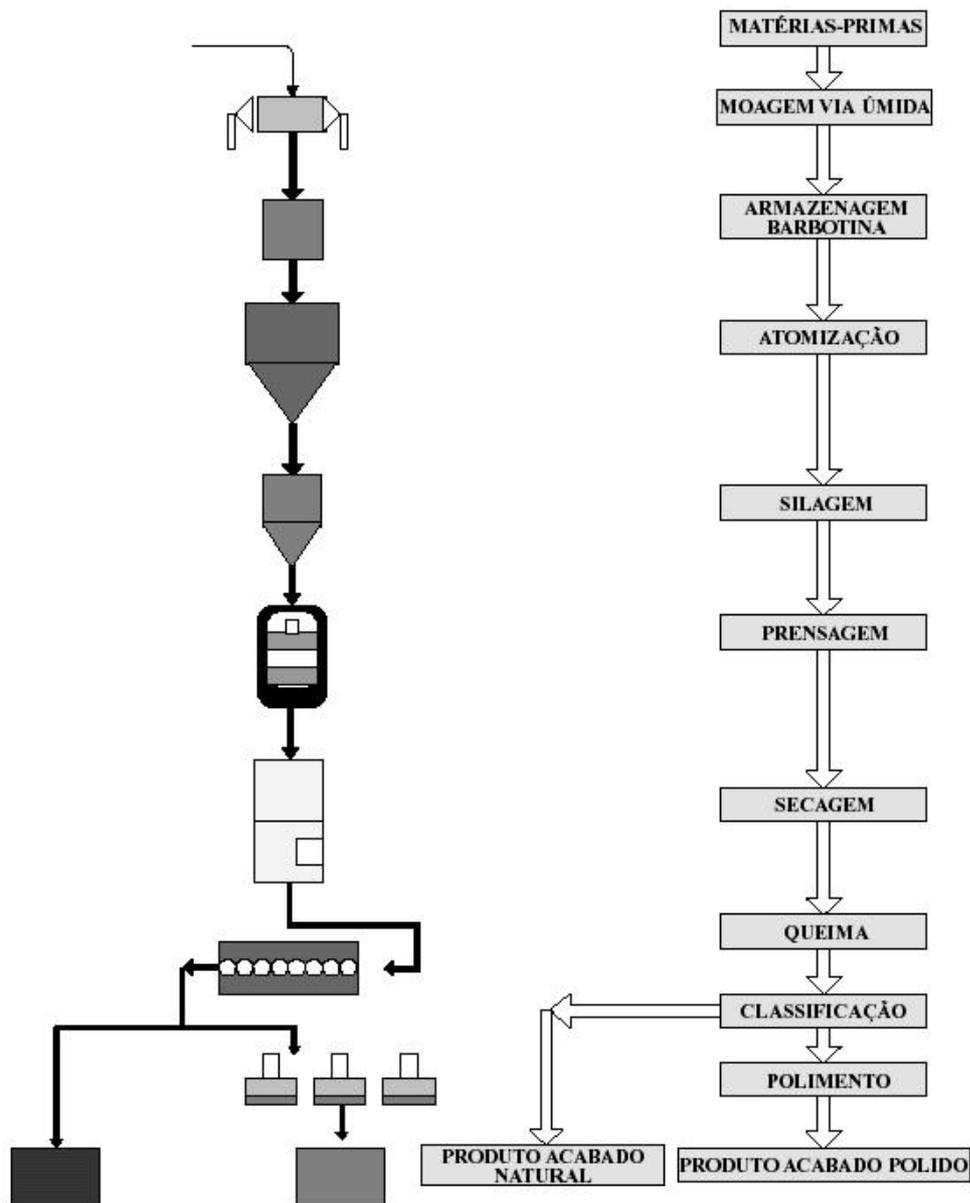


Figura 3.1. Processo convencional para obtenção de grês porcelanato natural ou polido.
(adaptado de HECK, 1996)

Quanto ao método de conformação, o grês porcelanato pertence a classe das placas cerâmicas obtidas por prensagem. Em relação à conformação por extrusão, a prensagem permite um controle mais acurado das dimensões, além de um melhor acabamento da superfície com a densidade à verde mais elevada. **(BIFFI, 2002)**

Depois de prensado, o porcelanato é seco em estufa, até perda total da água residual. O valor máximo permitido de umidade após a secagem está entre 0,4 e 0,6%. Em seguida é queimado em forno a rolo.

Três são os parâmetros tecnológicos que devem ser constantemente controlados e submetidos a cuidadosas observações. São precisamente: granulometria, densidade a verde e, ciclo e temperatura de queima. **(BIFFI, 2002)**

Para favorecer as reações de vitrificação e densificação durante a queima, o valor do resíduo em malha 325 mesh ($44\mu\text{m}$) deve ser pequeno, portanto dentro de uma faixa entre 0,5 e 1%. Com esse valor de resíduo, o tamanho médio das partículas fica compreendido entre 15 e 20 μm . Esse nível de granulometria contribui para aumentar a superfície das partículas componentes da massa cerâmica e, portanto a reatividade durante a queima. **(BIFFI, 2002)**

A fase da prensagem deve levar o produto ao máximo grau de compactação a verde dos pós atomizados, compatível com os problemas que se manifestam na queima. A pressão de compactação normalmente utilizada está entre 35-45MPa. Esses valores permitem obter densidade das placas cerâmicas prensadas entre 1,95-2,0 g/cm^3 . **(BIFFI, 2002)**

A queima é a fase final do processo, e na qual se manifestam os resultados dos processos de moagem e de prensagem. Temperatura e tempo são os parâmetros fundamentais que devem ser avaliados atentamente para se alcançar as características ótimas dos produtos queimados, ou seja, a obtenção de um material vitrificado com baixa porosidade, mediante a aplicação de um ciclo de queima rápida, usualmente de 50 a 60 minutos, com temperaturas máximas entre 1200 e 1230°C. No caso de massas coloridas é importante considerar que sobre a curva de gresificação, há uma influência do corante, podendo deslocar o ponto ótimo de queima. **(BIFFI, 2002)**

3.3.1.1. Influência da Umidade e da Pressão nas Características Finais

Mesmo nas melhores indústrias de revestimentos cerâmicos a umidade da massa varia ao longo do tempo e a pressão de compactação varia de uma prensa para outra, de uma cavidade para outra, de uma região para outra dentro de uma mesma cavidade e também ao longo do tempo.

Estudos realizados pela Universidade Federal de São Carlos demonstram que uma mesma densidade da peça seca pode ser alcançada a partir de várias combinações de umidade e pressão de compactação. Conforme a Figura 3.2, percebe-se que até uma determinada umidade média (6%), a densidade é diretamente proporcional a umidade. Nota-se também, que quanto maior a pressão, maior a densidade para uma massa com até 6% de umidade. (BOSCHI,1997)

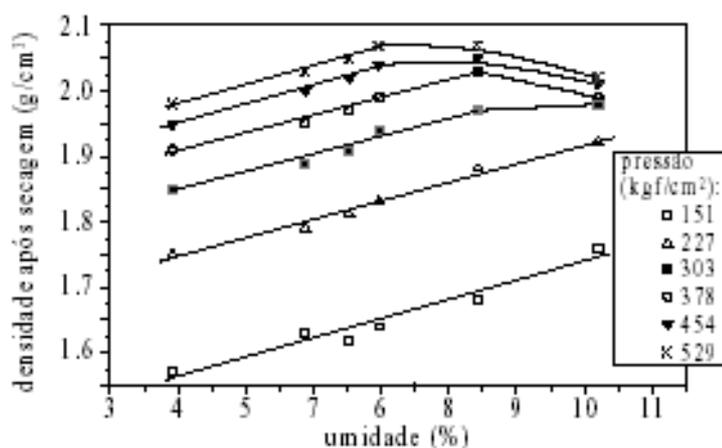


Figura 3.2. Gráfico apresentando a influência da pressão e umidade em função da densidade do produto seco. (BOSCHI, 1997)

Da mesma forma, esses estudos comprovam, conforme apresentado na Figura 3.3, que quanto maior a densidade do corpo verde, menor é a absorção de água (AA) do produto queimado. Dessa forma nota-se com mais precisão, a importância do controle da densidade para que o porcelanato apresente a AA desejada.

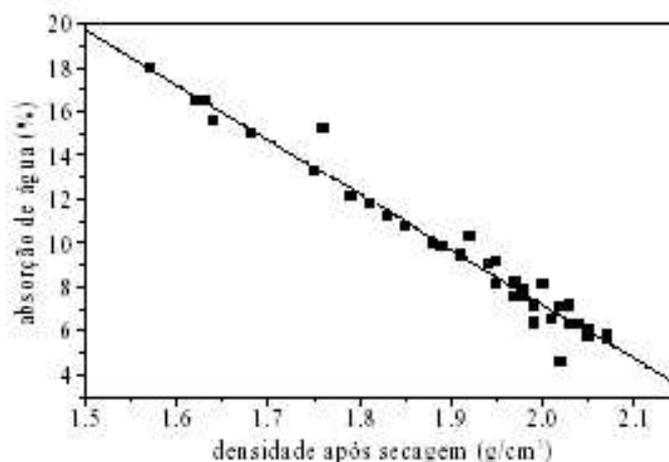


Figura 3.3. Gráfico apresentando a influência da densidade à verde na AA do produto final. (BOSCHI, 1997)

Além desses parâmetros observados, verifica-se também que tanto a retração linear de queima (RL) quanto a tensão de ruptura à flexão (TRF), dependem diretamente da densidade do compacto seco. Quanto mais denso menor a RL e maior a TRF tanto para o corpo somente seco, quanto o corpo queimado.

Com base nessa pesquisa, poder-se-ia afirmar então que, quanto maior a densidade, melhor as características do produto final. Em parte, essa afirmação poderia ser verdadeira, entretanto, ao se aumentar excessivamente a densidade dos compactos, pode-se reduzir a sua permeabilidade e conseqüentemente dificultar a oxidação da matéria orgânica presente na massa. A matéria orgânica aprisionada no interior da peça, sem que o oxigênio possa chegar até ela e que os gases provenientes da sua oxidação possam sair da peça, pode dar origem ao defeito conhecido como coração negro. Dessa forma, manter a densidade em torno de 1,95 e 2,0 g/cm³ é o ideal.

3.3.2. Sinterização

Durante a queima, as matérias-primas que contém minerais alcalinos (ilita, feldspato, etc.) produzem grande quantidade de fase líquida, cuja viscosidade diminui com o aumento da temperatura, fazendo com que penetre nos poros existentes, que

assim são eliminados progressivamente por forças de capilaridade. Com isso, de acordo com a Figura 3.4, se pode verificar que o quartzo se dissolve parcialmente na fase líquida e uma nova fase cristalina – a mulita – se forma. O produto queimado é constituído de uma matriz vítrea, na qual partículas de mulita e as partículas de quartzo que não se dissolveram totalmente estão dispersas. Dependendo das características das matérias-primas, assim como da relação argila/feldspato (ingredientes majoritários da composição), a intensidade das transformações físico-químicas descritas acima pode variar de forma considerável, o que acarretará em diferenças significativas nas propriedades do produto final. (SANCHEZ, 2001)

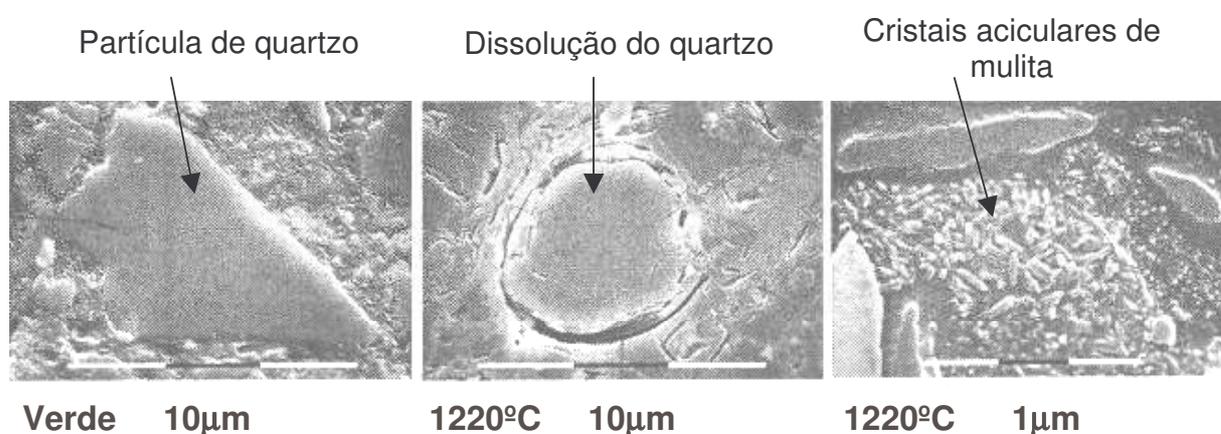


Figura 3.4. Microestrutura de uma massa de grês porcelanato a verde e sinterizada a 1220°C. (MUÑOZ, 2003)

Do ponto de vista mineralógico, verifica-se que as argilas e os fundentes de uma forma geral transformam-se gerando estruturas novas, diferente do que ocorre com parte do quartzo, que permanece sem dissolver. Como se observa na Figura 3.5, verifica-se a presença de quartzo (q), feldspato (f), ilita (i) caolinita (K) e silicato de zircônio (S-Z) na amostra a verde, e após sinterizada, verifica-se apenas quartzo (Q), mulita (M) e silicato de zircônio (S-Z).

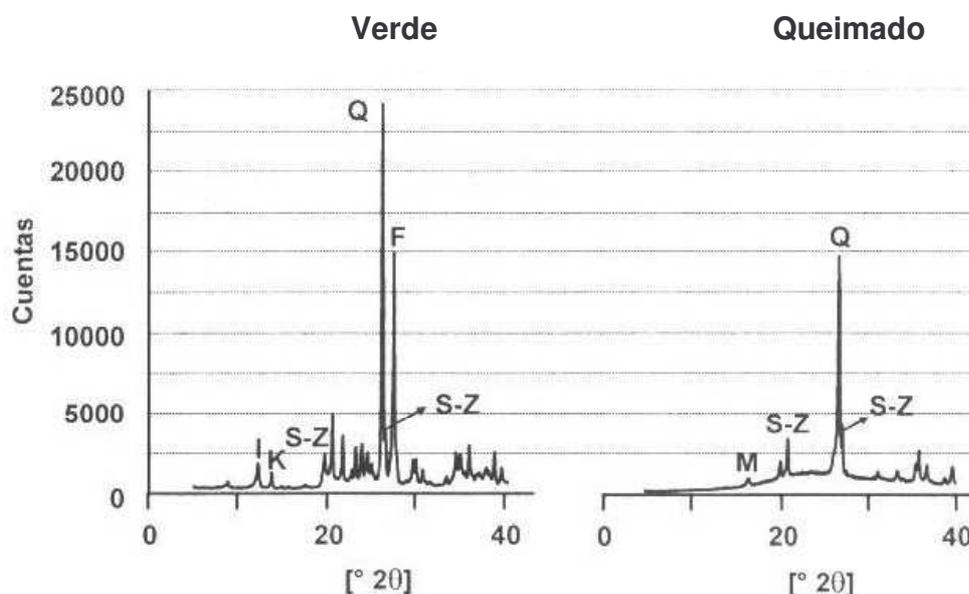


Figura 3.5. Diferença das fases encontradas em uma massa de grês porcelanato a verde e uma queimada. (MUÑOZ, 2003)

Segundo Heck (1996), na queima do grês porcelanato, a sinterização em presença de fase líquida viscosa é o processo de densificação que mais contribui para a baixa porosidade final das peças e confere-lhes as propriedades desejadas. Para que a composição apresente um intervalo de sinterização adequado, é imprescindível que apresente as seguintes características na queima:

- a) Desenvolver fase líquida suficiente com viscosidade apropriada para que a peça possa alcançar a porosidade desejada; e
- b) No intervalo de queima, a variação da quantidade de fase líquida e sua viscosidade deve ser gradual com a temperatura, para que as alterações de contração linear, absorção de água e deformação pirolástica também o sejam.

3.3.3. Ensaios Tecnológicos

A gresificação de massas cerâmicas é a medida da evolução da densificação do material durante a queima. A curva de gresificação utilizada em revestimentos cerâmicos ilustra o comportamento térmico do material em função da temperatura. Assim, a curva é normalmente a representação gráfica simultânea das variações de

dois parâmetros: porosidade e sinterização. A porosidade pode ser medida pela absorção de água enquanto que a sinterização é medida por retração linear da peça com a temperatura de queima. A Figura 3.6 ilustra o comportamento de uma curva de gresificação.

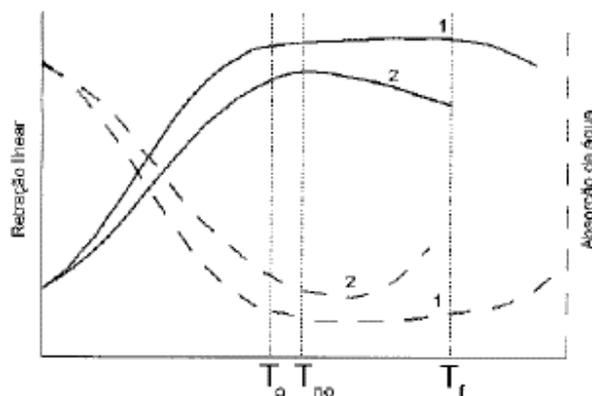


Figura 3.6. Ilustração do comportamento de uma curva de gresificação. (MUÑOZ et al., 2002)

Tendo-se claramente estabelecido a faixa de AA desejada e a variação de tamanho admissível no produto final, pode-se usar a curva de gresificação para identificar a temperatura na qual essas características são alcançadas. Além disso, a curva de gresificação permite avaliar a tolerância da massa a variações de temperatura e condições de processamento, e portanto pode ser de grande utilidade como um instrumento de controle de qualidade. Nesse sentido, a curva de gresificação também pode ser utilizada como ferramenta para monitorar possíveis variações da composição da massa provocadas por variações das características entre diferentes lotes de uma mesma matéria-prima e/ou por desvios na dosagem, e tomar as ações corretivas necessárias. (MELCHIADES, 1996 e SANCHEZ, 2002)

A Tabela 3.1 apresenta algumas características avaliadas em função do emprego do porcelanato.

Tabela 3.1. Características principais avaliadas em função do emprego do porcelanato.

USOS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS
Piscinas, saunas.	Expansão por umidade
Pisos industriais	Resistência ao impacto
Pisos antiderrapantes	Coeficiente de atrito
Lareiras e assemelhados	Dilatação térmica e choque térmico
Pisos	Carga de ruptura
Ambientes externos em regiões sujeitas a neve e geada, e em câmaras frigoríficas.	Resistência ao congelamento

Os ensaios essenciais são os de AA, RL e TRF, porém, conforme apresentado na Tabela 3.1, para cada aplicação do porcelanato, outros ensaios devem ser realizados, a fim de avaliar outras propriedades do produto. Os ensaios mais comuns para os revestimentos cerâmicos, conseqüentemente, também para os porcelanatos, referenciados na **NBR13818:1997**, dividem-se em físicos e químicos. São os físicos: AA, TRF, abrasão superficial, abrasão profunda, expansão por umidade, resistência ao impacto, dureza mohs, resistência ao gretamento, coeficiente de atrito, resistência ao congelamento, dilatação térmica e resistência ao choque térmico. Já os químicos são: resistência ao ataque químico de baixa concentração e produtos domésticos, resistência ao manchamento, resistência química de alta concentração e determinação de cádmio e chumbo.

Um exemplo prático para observarem-se várias características em uma única aplicação pode ser verificado na utilização dos revestimentos em fachadas de edifícios. A absorção de água é o aspecto mais importante a ser considerado para revestimentos com placas cerâmicas nessas localidades. O valor deve ser baixo o suficiente para dar ao revestimento a capacidade de resistir a poluição, a erosão, e a todas as mudanças climáticas devido à temperatura. A resistência ao congelamento das cerâmicas é uma

característica fundamental a ser avaliada nas fachadas, principalmente nos edifícios mais altos e localizados em regiões onde ocorrem mudanças extremamente dramáticas na temperatura, combinadas à forte pressão do vento. Por ser, a resistência ao congelamento, uma consequência da alta ou baixa absorção de água, sendo, portanto, o material que possui a mais baixa absorção o que melhor resiste ao congelamento, nos países onde as condições climáticas são severas, a máxima absorção permitida é de 1,5% para as fachadas. A resistência à flexão deve ser elevada o suficiente para resistir aos esforços devidos à pressão do vento e ao choque acidental de corpos, como é o caso das gôndolas de limpeza. Algumas normas internacionais estabelecem como valor mínimo para a resistência à flexão 27 MPa, porém, as placas cerâmicas de maior qualidade chegam a atingir valores superiores a 50 MPa. **(SIQUEIRA JÚNIOR, 2003)**

4. Resíduos para Formulações Cerâmicas

Ao longo de sua existência, o homem sempre utilizou os recursos naturais do planeta e gerou resíduos com pouca ou nenhuma preocupação, já que os recursos eram abundantes e a natureza aceitava passivamente os despejos realizados. A partir do século XVIII, com o surgimento da “onda” industrial, o modelo ou estratégia de desenvolvimento das nações consolidou suas bases técnicas e sociais. O objetivo principal era o crescimento econômico a curto prazo, mediante a utilização de novos processos produtivos e a exploração intensiva de energia e matérias-primas, cujas fontes eram consideradas ilimitadas. Este modelo gerou excedentes impressionantes de riqueza econômica, mas trouxe consigo grandes problemas sociais e ambientais, entre eles os resíduos. **(MODESTO et al., 2003)**

Nas últimas décadas as indústrias têm se deparado com a necessidade de introduzir em seus projetos considerações ecológicas que estejam em conformidade com normas internacionais de proteção ao meio ambiente. Neste sentido, esforços estão sendo concentrados em projetos que visem a redução do volume de rejeitos industriais ou o reaproveitamento destes para a produção de materiais com aplicação comercial. **(FOLGUERAS et al., 1999)**

4.1. Resíduos de Mineração

Como resultado da expansão do consumo de metal no mundo e a crescente exploração de depósitos de minérios, os resíduos de mineração continuam se acumulando cada vez mais. Sua disposição dá origem a diversos problemas ambientais. Problemas especiais ocorrem com rejeitos que contêm vários componentes nocivos (íons de metais pesados, reagentes de flotação, ácidos e outros) que podem pôr em risco seriamente a qualidade da água de superfície e subterrânea. Um desses rejeitos é a lama vermelha que, além de grandes quantidades de partículas muito finas de óxido de ferro, contém elevado teor de óxidos de sódio extremamente perigosos. **(HILDEIBRANDO et al., 1999)**

Resolver ou minimizar estes problemas implica, sobretudo, na otimização da produção, com o propósito de gerar a mínima quantidade possível de tais materiais. Dentre os diversos segmentos industriais, a indústria de alumina está enfrentando um problema em nível mundial de crescente disposição de resíduos sólidos. Usualmente, essa lama vermelha é um resíduo inaproveitável na indústria de alumina. Desse modo, numerosos esforços têm sido feitos no sentido de se encontrar aplicações para a lama vermelha. Uma das grandes possibilidades em estudo para utilização desta lama é sua mistura com argila para fabricação de produtos da indústria de cerâmica estrutural, tais como telhas, tijolos, ladrilhos de piso, etc. **(HILDEIBRANDO et al., 1999)**

4.2. Resíduos de Metalurgia

Na produção do ferro-gusa são geradas, anualmente, milhões de toneladas de escória de alto-forno, que possuem potencial para transformar-se em matéria-prima para outros segmentos industriais. Os componentes da carga dos altos-fornos são basicamente a ganga da carga metálica (minérios), fundentes e coque. Escórias de alto-forno contêm CaO, SiO₂, Al₂O₃ e MgO como principais constituintes, e MnO, Fe₂O₃, e algumas vezes TiO₂ como constituintes secundários. Estudos são realizados na utilização da escória como matéria-prima para vários produtos, um deles visa o aproveitamento da escória como insumo na produção de vidros apropriados para indústria de fibras. Com isso, tem-se obtido vidros com mais de 50% de escória na sua composição, mantendo-se, é claro, as propriedades desejadas. Com o avanço do processo siderúrgico, cada vez mais se obtém um gusa de boa qualidade e escórias com composição constante, possibilitando rotas mais seguras ao reaproveitamento desse material. **(ROCHA et al., 1999)**

4.3. Resíduos Petrolíferos

O setor petrolífero gera enorme quantidade de resíduos de diversos tipos de níveis de periculosidade. O resíduo mais abundante é o material oleoso, o qual apresenta capacidade adesiva de aglomerar areia ou pó de pedra, podendo formar uma

massa de resíduo final entre 10-20 vezes maior que o resíduo inicial. Principalmente devido ao elevado teor de óleo, este tipo de resíduo não pode ser simplesmente disposto em lagos ou diques, dando origem a um problema de relevância ambiental. Muitas vezes gerado em plataformas marítimas, o óleo é transportado para a terra, onde é disposto em local impermeável por alguns dias, até que seja recolhido e misturado com bentonita oleofílica, dando origem ao resíduo borra de petróleo. O segmento industrial de cerâmica estrutural tem apresentado e demonstrado grande potencial para absorver resíduos industriais desse gênero e de outros mais diversos. **(HOLANDA et al., 2000)**

4.4. Resíduos de Rochas Ornamentais

4.4.1. Ardósia

O perfil tecnológico deficiente da atividade extrativa e do beneficiamento da ardósia como rocha ornamental, a falta de pesquisa para qualificação de novas frentes de lavra, o não aproveitamento de algumas variações da rocha, e, sobretudo, o direcionamento de vendas para o mercado externo, ocasionam uma elevada quantidade de rejeitos. O processo de beneficiamento gera, também, um grande volume de rejeito, o qual não pode ser usado como revestimento rochoso devido às suas características físicas: ou são pequenos pedaços de rocha, com formato irregular, ou é um efluente líquido (lama) oriundo do processo de beneficiamento. São milhares de toneladas de material descartado que ocasionam problemas ambientais e descaracterizam a paisagem. Estudos têm mostrado que algumas ardósias apresentam propriedades cerâmicas comparáveis com algumas argilas usadas na fabricação de cerâmica vermelha ou de revestimento de base vermelha. Dessa forma, a reciclagem cerâmica dos rejeitos de ardósia pode representar uma alternativa de utilização para o material acumulado nas regiões extrativas e beneficiadoras. **(RODRIGUES et al., 2000)**

4.4.2. Granito

Com a crescente preocupação, nos últimos anos, do impacto ambiental resultante das mais diversas atividades industriais, as empresas beneficiadoras de granitos ornamentais não escapam ilesas, sendo lembradas constantemente como poluidoras de rios, lagos, córregos, ar, campos, florestas, etc. O desdobramento de blocos de rochas ornamentais para produção de chapas, gera uma quantidade significativa de rejeitos na forma de lama. Tal material é proveniente da polpa abrasiva utilizada nos equipamentos de corte e polimento da rocha trabalhada e é claro, do próprio material beneficiado. Essa polpa geralmente é constituída de água, granalha e cal moída. Pesquisas têm sido realizadas, visando o aproveitamento dos rejeitos da serragem de granito para utilização como insumos na produção de argamassas de assentamento e revestimento de alvenarias em geral, na manufatura de tijolos e blocos estruturais não cerâmicos, de pedras ornamentais sintéticas, de tijolos cerâmicos, de ladrilhos cerâmicos rústicos e grês sanitários. **(NEVES et al., 2000)**

4.4.3. Mármore

Em muitos lugares do Brasil, os resíduos industriais gerados no beneficiamento de mármore, obtidos nas serrarias com teares de lâminas ou diamantados são, geralmente, depositados em barragens de rejeito improvisadas, ou vão sendo acumulados ao redor dessas serrarias ao longo do tempo. Em seguida, esses resíduos são costumeiramente lançados ao meio ambiente, em locais inadequados, principalmente em áreas ainda próximas às serrarias. Em alguns casos, esses resíduos são despejados diretamente em rios, causando assoreamento do mesmo, poluindo sua água, e gerando assim grande impacto ambiental, acarretando conflitos com órgãos ambientais e populações vizinhas. Os empresários alegam falta de áreas para disposição desses resíduos. A comunidade vizinha é prejudicada pela poluição dos cursos d'água. Os órgãos de fiscalização agem, aplicando multas e restringindo, ou paralisando as atividades das serrarias, atividades estas, muito importantes para a economia das regiões. Tentar minimizar o impacto ambiental, causado pelo pó dos

teares de mármore, mediante o aproveitamento e valorização deste pó que é produzido e descartado pelas serrarias, é uma vertente que está sendo estudada. Os minerais constituintes do resíduo (pó de serraria) podem ser usados para fins na indústria cerâmica, principalmente vermelha, em até 30%, substituindo matérias-primas tradicionais como calcita, dolomita, feldspato e quartzo, e de construção civil (argamassa de assentamentos, argamassa de revestimento interno e externo etc.). A parte metálica (Fe) do resíduo, constituída pela granalha, pode ser recuperada e reutilizada para outros fins. **(BARROTE, 2000 e PONTES et al., 2001)**

4.5. Resíduos de Óleo

Os termos “argila descorante”, “terra descorante”, “argila clarificante” e “argila adsorvente” são utilizados como sinônimos, principalmente nas indústrias de óleos e outras afins, para designar argilas que, no estado natural ou após ativação química ou térmica, apresentam a propriedade de adsorver as matérias corantes de óleos minerais, vegetais e animais. A indústria de clarificação de óleos comestíveis gera resíduos que são normalmente descartados no meio ambiente, causando diversos impactos negativos. Na tentativa de atenuar os problemas ambientais motivados pelo descarte incontrolado desta tipologia de resíduos, a indústria de cerâmica estrutural tem sido eleita, neste domínio, por oferecer a possibilidade de reutilizar e/ou inertizar aqueles materiais. **(FLORÊNCIO et al., 2000)**

4.6. Resíduos de Vidro

Vidros laminados são produtos utilizados pela indústria automobilística em pára-brisas de veículos e na construção civil em janelas e divisórias de segurança. O vidro laminado é formado por dois vidros colados por um polímero, formando um “sanduíche”. Antes de sua conformação, as chapas de vidro precisam ser submetidas ao processo de corte e lapidação, para que adquiram o formato adequado à sua aplicação. Nessa etapa, grande quantidade de resíduo sólido é gerado, composto principalmente por pó de vidro. Esse resíduo representa um problema do ponto de vista ambiental, devido ao seu acúmulo nos pátios das fábricas, sem que possua qualquer aplicação. Estudos têm

sido realizados com o objetivo de encontrar-se aplicações tecnológicas para esse material. Alguns desses estudos detêm-se na possível aplicação desse pó, substituindo o quartzo e o feldspato na fabricação de peças de cerâmica branca, outros em compósitos à base de polímeros. (VALERA et al., 2000)

4.7. Resíduos de Carvão Mineral

O aproveitamento de cinzas de carvão mineral como matéria-prima para produtos cerâmicos é altamente conveniente, tendo visto que principalmente termelétricas e também indústrias que utilizam o carvão mineral, geram uma grande quantidade de cinzas, que atualmente têm aproveitamento como, por exemplo, matéria-prima para a fabricação de cimento. Porém, a quantidade gerada de cinzas é muito grande e o excedente não utilizado representa um problema sob ponto de vista ambiental. Gera também problema de estocagem, visto que ocupa muito espaço do pátio da empresa e para os aterros, necessitam de alguns cuidados específicos. Assim, tudo isso acaba resultando em ônus para a empresa. Nesse contexto, estudos têm sido realizados visando o reaproveitamento dessas cinzas como matéria-prima em massas cerâmicas. Isso por que apresentam composição passível de ser incorporado nesses produtos, além de granulometria baixa, não necessitando de moagem, possibilitando vantagens às cerâmicas, termelétricas e indústrias que utilizam o carvão como fonte energética. (ZIMMER et al., 2002)

4.8. Resíduos da Construção Civil

No Brasil, os entulhos gerados pelas obras de edificação da construção civil são compostos basicamente de 64% de argamassa, 30% de componentes de vedação (tijolos maciços, tijolos furados e blocos) e 6% de outros materiais, como concreto, pedra, areia, metálicos e plásticos. Estes resíduos quando reciclados podem gerar produtos com propriedades adequadas e custos inferiores aos preços médios dos produtos das argamassas convencionais. Dependendo da tecnologia aplicada, poderá ser 75% inferior ao preço de mercado. O aproveitamento desse resíduo tem gerado interesse na medida que se pode contribuir para redução dos custos e tornar acessível

a aquisição da casa própria por uma faixa ampla da população de baixa renda. Muitos estudos têm se detido a reutilizar esses resíduos na confecção de blocos estruturais, com a tentativa de minimizar o custo de obras a serem realizadas. **(RODRIGUES et al., 2000)**

4.9. Resíduos de Revestimentos Cerâmicos

Na indústria brasileira de revestimentos cerâmicos o volume de material descartado por quebra representa em média 3% de toda produção nacional. Correlacionando este percentual com a produção efetiva em 2001 que foi de cerca de 455 milhões de metros quadrados, tem-se aproximadamente 200 mil toneladas/ano deste rejeito sendo disponibilizado unicamente para aterro. Neste contexto, estudos têm sido realizados com objetivo de avaliar a influência da adição desses resíduos sólidos, na incorporação à composição padrão de massas cerâmicas industrial. **(ROSA et al., 2003)**

4.10. Telhas

As cerâmicas vermelhas mais fabricadas e conhecidas são os tijolos, telhas e as lajotas. Para produzi-las não é necessário um controle de processo muito rigoroso. As matérias-primas das cerâmicas vermelhas são argilas com alto teor de impureza, baixo ponto de fusão e altos teores de óxidos de ferro (composto responsável pela coloração vermelha). Elas se caracterizam por apresentarem boa durabilidade e boa resistência mecânica. **(JORDÃO, 1988)**

A produção das cerâmicas vermelhas passa por três das quatro fases listadas no item 2.1. A fase de preparação das matérias-primas vai desde a coleta das argilas, passando pela fragmentação e umedecimento, até a mistura de massas. Para conformar, a maioria das indústrias utiliza o método de extrusão, porém em alguns casos os produtos podem ser prensados, como ex. algumas telhas. Depois de conformadas, as peças serão secadas e queimadas em fornos intermitentes, normalmente utilizando lenha como combustível.

4.10.1. Produção de Telhas no RN

Das 159 fábricas de cerâmicas em operação no Rio Grande do Norte, 83 só produzem telhas e 17 produzem telhas e outros produtos cerâmicos. De todas as peças produzidas no estado por mês, 50,186 milhões (60,61%) são telhas e as restantes são praticamente tijolos e lajotas. Como a produção do estado é maior que o consumo local, grande parte é comercializada para estados vizinhos.

A região do Seridó lidera a exportação, tendo apenas 3% do seu produto comercializado no RN, enquanto que os 97% restantes são enviados à outros estados como, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. A região do Açu, apesar de ter a maioria dos seus produtos comercializados no RN, ainda exporta cerca de 20% para outros estados. Já os produtos fabricados na Grande Natal são totalmente comercializados no RN. **(FIERN/SENAI, 2001)**

Algumas variações de telhas fabricadas no RN podem ser visualizadas na Figura 4.1.



Figura 4.1 - Telhas do RN. Da esquerda para direita: Colonial branca, plan vermelha, plan branca, colonial grande vermelha, canal vermelha, colonial vermelha, colonial vermelha Seridó e colonial amarela.

As telhas são classificadas em primeira qualidade, segunda e terceira. As de primeira são aquelas que apresentam coloração geralmente vermelha homogênea, sem empenamentos ou assimetrias aparentes. As de segunda apresentam variações de cor, e/ou pequenos defeitos, como empenamentos, bordas quebradas, trincas e colorações esbranquiçadas. As de terceira são telhas empenadas e/ou quebradas. **(FIERN/SENAI, 2001)**

As telhas predominantes produzidas no estado são as de segunda, o que caracteriza que o processo ainda está abaixo do satisfatório, uma vez que essas telhas apresentam, mesmo que em baixa quantidade, defeitos. O baixo valor agregado ao produto, bem como as más condições de queima, contribuem significativamente para tal predominância.

4.10.2. Fabricação de Telhas

Os processos de fabricação de cerâmicas vermelhas são bem similares, diferenciados normalmente pela conformação, composição, e algumas vezes pela queima.

A Figura 4.2 apresenta um fluxograma demonstrando o processo de fabricação básico de telha.

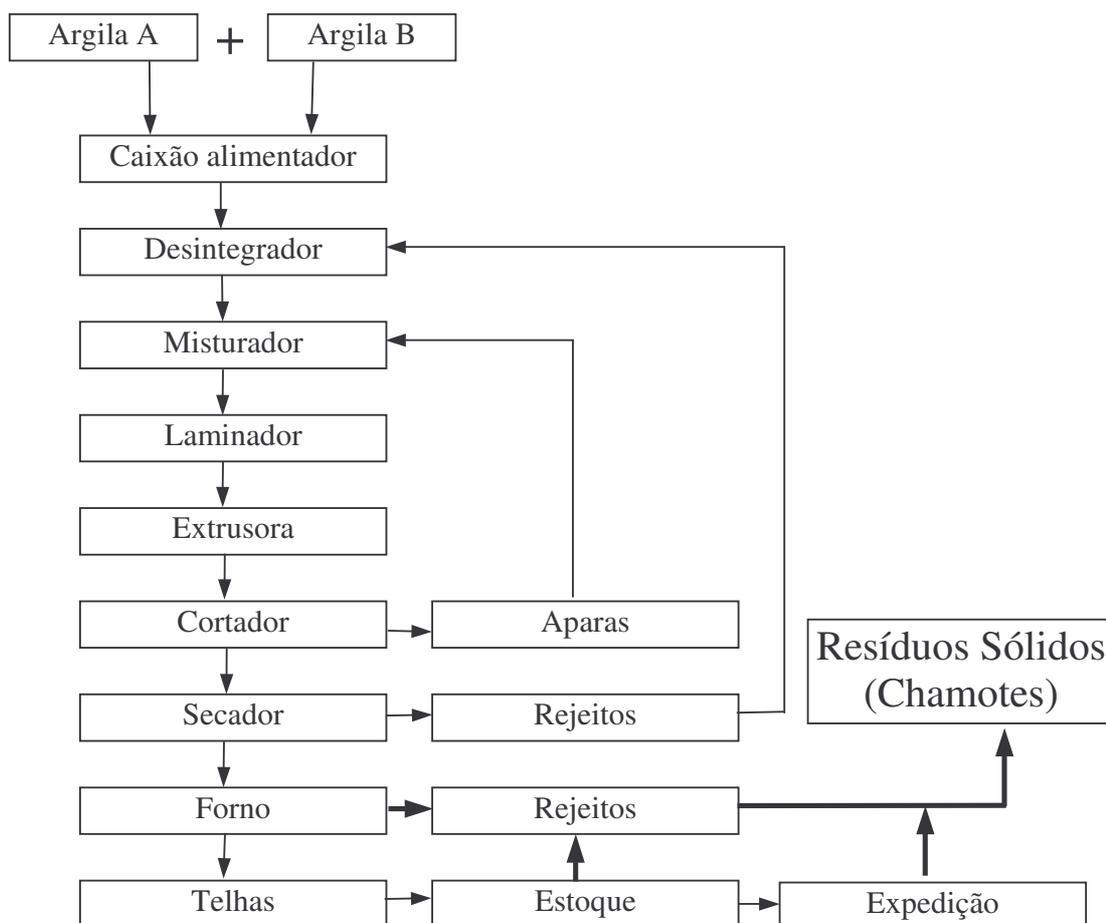


Figura 4.2. Processo básico utilizado para fabricação de telhas no RN.

A primeira fase do processo de fabricação de telhas inicia-se com a coleta das matérias-primas. Na maioria das empresas do RN, seleciona-se dois tipos de argilas com características específicas para o processo de fabricação e para as características que se deseja obter no produto final. Usualmente utiliza-se um tipo de argila rica em minerais plásticos, denominada pelos produtores de argila gorda, e outra com maior concentração de minerais não-plásticos, vulgarmente chamada de argila magra.

O segundo passo da fase inicial é dosar as quantidades de cada argila e logo após encaminhá-las a um desintegrador. As argilas serão misturadas e homogeneizadas, até passar pelo laminador. Saindo daí inicia-se a segunda fase que é a conformação. As telhas podem ser extrudadas ou prensadas. A medida que o processo gera aparas, rejeitos, tudo volta ao desintegrador ou misturador. A terceira fase inicia-se após a conformação, e é constituída pela secagem e pela queima.

Mesmo seco, o corpo produzido defeituoso, ou as aparas e rebarbas, podem voltar ao misturador ou ao desintegrador, dentro de um circuito fechado, onde as sobras são reutilizadas. O problema maior surge quando as telhas, depois de queimadas, apresentam defeitos graves ou fraturas, de tal forma que não possam ser comercializadas. Neste ponto surge o que é chamado de chamote na indústria cerâmica. O chamote é o rejeito de algum produto cerâmico defeituoso que não pode ser utilizado nas mesmas condições que seria, caso se apresentasse íntegro sem a presença de trincas, rachaduras, deformações.

4.10.3. Resíduos Oriundos da Fabricação de Telhas no RN

Estudos da **FIERN/SENAI** mostram que a perda de telhas por deficiência de queima pode variar de 5 a 20% por cada fornada, no estado do RN. É um valor significativo e demonstra que por mês, o valor da perda pode superar 10 milhões de peças inutilizadas. Ao contrário do que ocorre com as peças danificadas antes da etapa de queima, que voltam a ser incorporadas no processo, as peças após sinterizadas não podem ser reutilizadas. Com isso, elas são descartadas em aterros gerando problemas ambientais e econômicos, embora seja um rejeito inerte.

Faz-se mister lembrar, que além do problema ocasionado pela queima deficiente, ainda existe a grande perda do produto no transporte e no manuseio dentro e fora da indústria. Com tudo isso se pode afirmar que o RN é não só um grande produtor de telhas, mas também um grande gerador de chamote de telha. Baseado nessas informações, estima-se que o total de rejeito de telhas pode chegar a 20.000 toneladas mensais, somente no estado do Rio Grande do Norte.

4.11. Métodos Alternativos para Produção de Grês Porcelanatos

Na produção de revestimentos cerâmicos muitos são os fatores que colaboram na definição do custo do produto final. O controle dos custos associados às perdas de massa, esmalte, qualidade e energia, representa para a indústria de revestimentos cerâmicos um aspecto fundamental. De fato, basta considerar a título de exemplo, conforme dados internacionais, que aproximadamente 13,5% do custo médio de fabricação é atribuído aos custos de natureza energética, os quais representam mais de 7% do faturamento do setor. No entanto, é evidente que sem matérias-primas disponíveis e adequadas não é possível o desenvolvimento e a fabricação de produtos com qualidade e custos competitivos. Por outro lado, a diminuição das reservas de matérias-primas associadas também, em alguns casos, à distância destas do local de utilização, vêm exercendo uma forte influência sobre os custos dos produtos. Conseqüentemente, tem-se assistido nas últimas décadas, a busca incessante por matérias-primas alternativas e em particular matérias-primas provenientes de rejeitos de processos industriais, já que estas apresentam potencial de utilização, são economicamente viáveis e reduzem o impacto ambiental. **(ROSA et al., 1999)**

Atualmente, para desenvolver porcelanatos com uso de rejeito derivado de outro processo industrial semelhante ao da fabricação deste, alguns estudos estão sendo realizados. O tipo de rejeito estudado é o chamote derivado dos revestimentos cerâmicos. Ele é caracterizado por apresentar defeitos no produto acabado e que, portanto tem sua utilização comprometida, por ser um produto sinterizado e conseqüentemente mais duro e resistente ao processo de moagem, sendo ainda nos dias atuais, depositado em aterros. **(ROSA et al., 1999)**

Atualmente no Brasil, há quem pague para empresas retirarem seus resíduos e darem um destino apropriado a eles (**ABRELPE, 2006**). Utilizando-se disso, as indústrias de porcelanatos poderiam, além de receber o resíduo sem custo algum, também receber incentivo financeiro para usarem aquele resíduo em substituição de algumas matérias-primas com características similares, diminuindo assim, o valor do produto final.

4.11.1. Gás Natural na Indústria dos Porcelanatos

O Gás Natural (GN) como combustível, possui qualidades excepcionais por ser pouco poluente e por apresentar boas condições para ser controlado. Embora o Gás Natural seja altamente competitivo em relação a quase todos os combustíveis, é na Indústria Petroquímica que ele encontra sua mais nobre aplicação. Isso se dá pelo fato de ser um insumo altamente qualificado para uso como matéria-prima, tendo em vista a sua pureza e as suas características químicas.

Ele apresenta diversas aplicações podendo ser usado como: combustível para fornecimento de calor, geração e cogeração de energia, matéria-prima nas indústrias siderúrgica, química, petroquímica e de fertilizantes. Na área de transportes substitui outros combustíveis.

O GN vem sendo utilizado como combustível na substituição de uma variedade de outros combustíveis alternativos, como: madeira, carvão, óleo combustível, diesel, GLP, nafta e energia elétrica, tanto em indústrias, como em comércios. Proporciona uma combustão mais limpa que aqueles, mais isenta de agentes poluidores, ideal para processos que exigem a queima em contato direto com o produto final, como, por exemplo, a indústria de cerâmica e a fabricação de vidro e cimento, bem como em padarias, restaurantes. (**CTGÁS, 2004**)

Atualmente, apesar de o RN contar com cerca de 160 empresas fabricantes de cerâmica vermelha, somente duas fábricas já utilizam o GN como energético majoritário do processo produtivo. Acredita-se que o baixo custo das peças produzidas, hoje, nessas cerâmicas, tem impedido a implantação do GN.

A Figura 4.3 apresenta uma unidade móvel de queima a gás natural para fornos intermitentes em substituição de lenha.

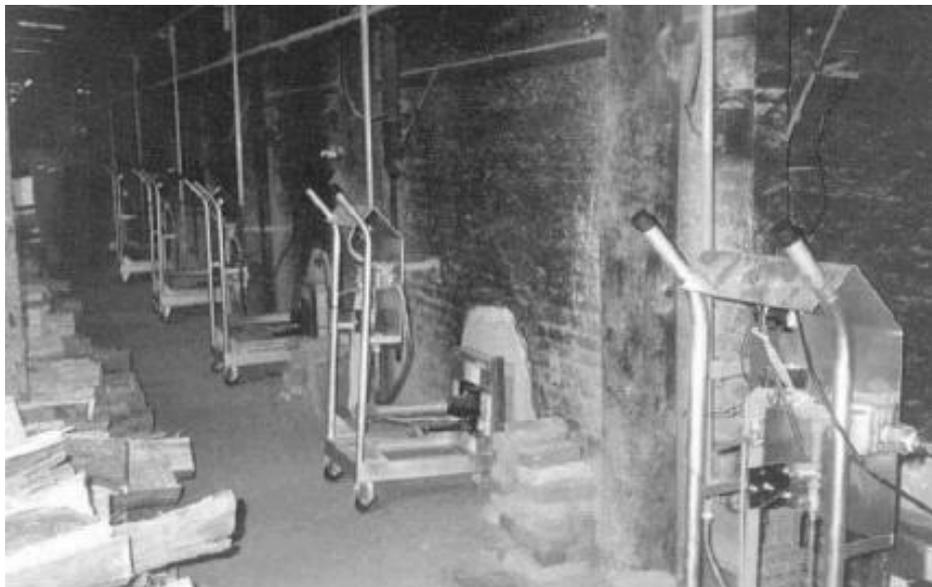


Figura 4.3. Unidade móvel de queima a gás natural para fornos intermitentes.

Acredita-se que para a difusão do GN nas indústrias cerâmicas do RN é necessário pelo menos uma das duas situações relacionadas abaixo:

- Inserção nas leis municipais, ou estaduais, ou federais, constando que será crime ambiental, o uso de lenhas, produtos similares ou derivados, na fabricação de cerâmicas; e
- As empresas optarem por produzir materiais com maior valor agregado, substituindo as atuais cerâmicas vermelhas ou acrescentando a estas, produtos para revestimento, cerâmicas refratárias, e principalmente, grês porcelanato.

Além dessas pode-se citar outra, porém menos eficaz, tal como: incentivo fiscal do governo e/ou prefeituras.

O uso do gás natural como combustível majoritário do processo de fabricação de porcelanatos, ainda não é utilizado no Brasil, do contrário, o material poderia ser produzido com valores mais baixos, uma vez que os combustíveis utilizados são, ou energia elétrica, na maioria das empresas, ou o GLP em segundo. Fazendo a substituição dos combustíveis atuais pelo GN, o produto final também estaria menos oneroso para o cliente.

5. Procedimento Experimental

Os materiais e a metodologia utilizados, bem como os equipamentos e técnicas de caracterização são apresentados neste capítulo. No fluxograma apresentado na Figura 5.1 está contido, de uma forma geral, o procedimento utilizado na metodologia.

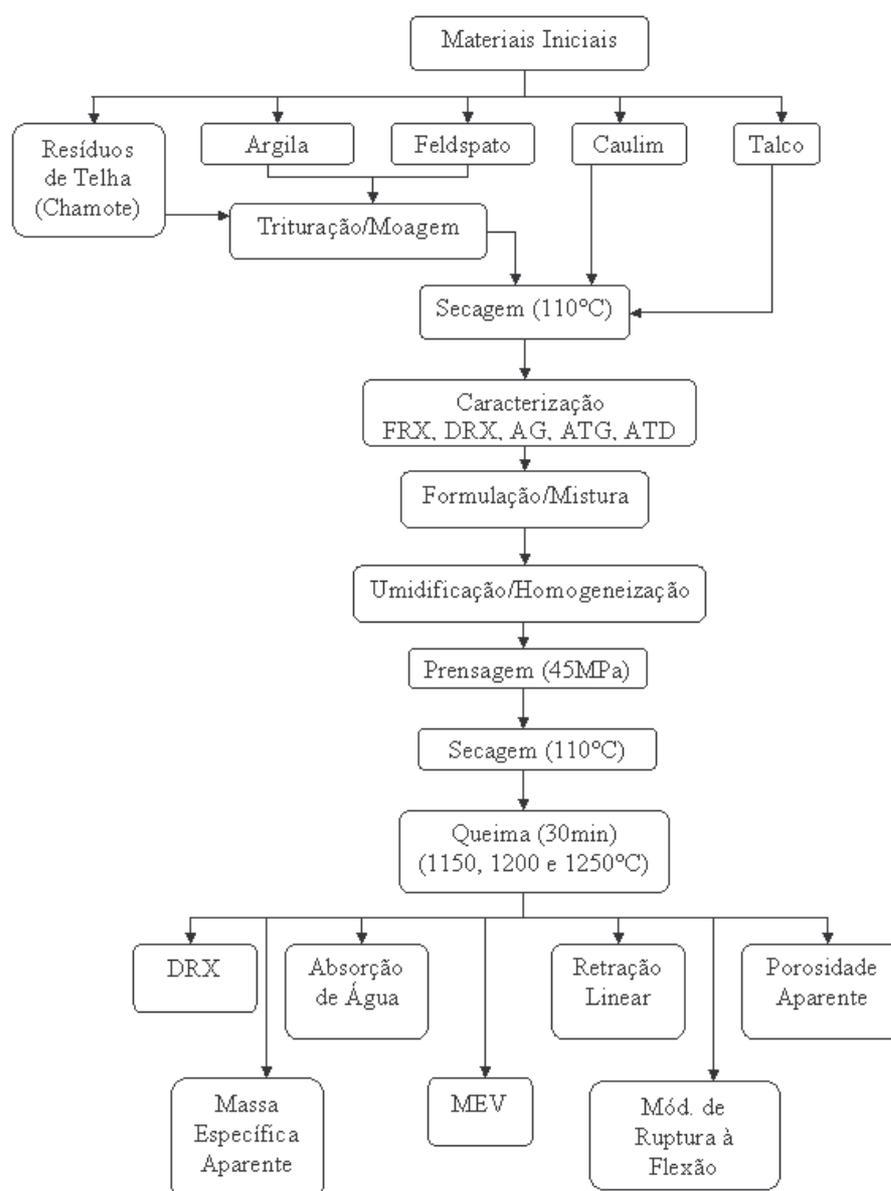


Figura 5.1. Fluxograma da metodologia experimental adotada.

5.1. Matérias-Primas

Para realizar o estudo de obtenção do Grês Porcelanato Alternativo, foram utilizadas cinco matérias-primas (todas do RN): argila caulinítica, caulim, feldspato, talco e resíduo de telhas (chamote) provenientes de más queimas, ou outros problemas que impossibilitavam o uso convencional deste produto.

5.1.1. Argila Caulinítica

A argila foi coletada nas proximidades do Rio Baldum, situado no município de Goianinha-RN. Essa mesma argila é comercializada entre os proprietários daquelas terras e as indústrias de cerâmica branca ou de revestimento de Estados vizinhos, normalmente Paraíba.

A argila Baldum foi coletada em forma de torrões e em seguida submetida a um processo de secagem em estufa a 60°C. Sua desagregação foi realizada por moinho de martelos com grelha de 9 mm de diâmetro. Novamente a argila foi à estufa, mas por 110°C até massa constante. Após a secagem, a argila Baldum foi submetida a moagem por moinho planetário, por 3 horas em rotação de 230 rpm, e peneirada por via úmida para granulometria abaixo de 44 µm (325 mesh). Novamente a amostra voltou a estufa para retirar-se a umidade adquirida no peneiramento.

5.1.2. Caulim

O caulim utilizado foi extraído da mina Alto Branco, situada no município Equador, no Rio Grande do Norte e beneficiada pela empresa Caulise, Caulim do Seridó Ltda.

5.1.3. Feldspato

O feldspato foi coletado em uma mina situada no município de Parelhas/RN, na região do Seridó do Estado, conforme pode ser visualizada na Figura 5.2.



Figura 5.2. Mina de feldspato situada no município de Parelhas.

O feldspato coletado foi submetido a britagem primária em moinho de martelos com grelha de 9 mm de diâmetro e em seguida foi seco em estufa a 110°C até massa constante. Após a secagem o feldspato foi submetido a um processo de moagem em moinho planetário por 3 horas em rotação de 230 rpm, e peneirado por via seca para granulometria inferior a 44 μm (325 mesh).

5.1.4. Talco

O Talco foi coletado no município de Ouro Branco, próximo ao município de Caicó, no Rio Grande do Norte, e beneficiado em laboratório do departamento de geologia da UFRN.

5.1.5. Chamote

O chamote foi coletado em uma revendedora local (Natal) de telhas. Foram escolhidas telhas danificadas de 1ª e de 2ª qualidade. As telhas utilizadas foram produzidas em indústria da região do Vale do Açu. O chamote foi submetido à britagem em moinho de martelos com grelha de 9 mm de diâmetro e seguida de moagem em moinho planetário por 3h em rotação de 230 rpm.

5.2. Caracterização das Matérias-Primas

As matérias-primas utilizadas foram caracterizadas por técnicas de: Análise Química por Fluorescência de Raios-X (FRX); Análise Mineralógica por Difração de Raios-X (DRX); Análises Térmicas por Termogravimetria (TG) e Termodiferencial (ATD); e Análise Granulométrica (AG).

5.2.1. Análise Química

A composição química das matérias-primas foi determinada por fluorescência de raios X por energia dispersiva (FRX). Para isso, utilizou-se o equipamento Espectrômetro por fluorescência de raios-X EDX-700 da Shimadzu, alocado nas instalações do Laboratório de Ensaio de Materiais do CTGÁS.

Para realizar as análises utilizou-se o método semiquantitativo, numa atmosfera de vácuo. As matérias-primas utilizadas foram moídas até granulometria inferior a 325 mesh (44 μm). Os resultados obtidos são apresentados na forma dos óxidos mais estáveis dos elementos químicos presentes. Por limitação do método, somente elementos entre Na (12) e U (92), na tabela periódica, são detectados.

A perda ao fogo foi obtida através da medida da perda de massa entre 110°C e 1200°C durante o ensaio de termogravimetria. Embora a recomendação para esse resultado seja com aquecimento de até 1000°C ou 1050°C (**SANTOS, 1989**), optou-se nesse trabalho pela temperatura de 1200°C, devido a ser essa, a faixa de temperatura utilizada para queimar os corpos-de-prova.

5.2.2. Análise Mineralógica

Para analisar a mineralogia das matérias-primas, bem como as fases formadas após a queima dos corpos-de-prova, ensaios de DRX foram realizados com material moído abaixo de 325 mesh (44 μm). O equipamento também está alocado no LABEMAT do CTGÁS e é um XRD-6000 Shimadzu com tubo de Cu ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$). A tensão utilizada foi de 40kV e a corrente de 30mA, com varredura de 2° a 80° para 2θ , com velocidade de $2^\circ/\text{min}$ e passo de $0,02^\circ/\text{passo}$. A avaliação das fases de cada matéria-prima e produto final analisados foi dada por comparação entre os picos gerados no difratograma com cartas padrões do programa de computador JCPDF, cadastradas no ICDD (*Internacional Centre for Diffraction Data*).

5.2.3. Análises Térmicas

Para avaliar termicamente as matérias-primas em estudo, utilizou-se o Analisador Termogravimétrico TGA-51H Shimadzu e o Analisador Termodiferencial DTA-50H Shimadzu, ambos alocados no Laboratório de Ensaio de Materiais do CTGÁS. Para os dois tipos de análise, foram utilizadas massas em torno de 15 mg, com granulometria inferior a 325 mesh, sob um fluxo de ar sintético de 50 mL/min. A taxa de aquecimento foi de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ entre $\sim 27^\circ\text{C}$ e 1200°C . A análise dos resultados e a obtenção da curva derivada da TG denominada DrTG, foram realizadas utilizando-se o programa de computador denominado TA-60, para análises térmicas da Shimadzu.

5.2.4. Análise Granulométrica

Para a realização da análise granulométrica foi utilizada a técnica de classificação de partículas por difração à laser. As matérias-primas utilizadas foram moídas em moinho planetário, por 3 horas em velocidade de 230 rpm. O equipamento utilizado foi um Granulômetro à Laser modelo 920L, Cilas, alocado no Laboratório de Cerâmica e Metais especiais da UFRN. Utilizou-se para dispersar, 2 g de amostra para 2 mL de detergente neutro em 10mL de água destilada. A dispersão se deu no tempo

de 60 segundos em ultrassom. O resultado foi fornecido pelo programa de computador denominado *The Particle Expert*.

5.3. Preparação das Massas Cerâmicas

Após a caracterização das matérias-primas, todas abaixo de 325 mesh, as massas cerâmicas foram elaboradas a partir de duas formulações anteriormente testadas por **Pinheiro, (2006)** variando em 10%, 20% e 30% a concentração do chamote em peso.

As formulações testadas estão apresentadas nas Tabelas 5.1 e 5.2. Como se pode verificar, a formulação básica da Massa 1 (M1) é de 45% de Feldspato, 35% de Argila, 17% de Caulim e 3% de Talco. Já a formulação básica da massa 2 é de 40% de Feldspato, 40% de Argila e 20% de Caulim.

Tabela 5.1. Formulação das misturas cerâmicas estudadas a partir da massa 1.

MASSAS CERAMICAS	% em peso das Matérias-Primas				
	Argila	Feldspato	Caulim	Talco	Chamote
Massa 1					
M1	35,0	45,0	17,0	3,0	-
M1-10	31,5	40,5	15,3	2,7	10
M1-20	28,0	36	13,6	2,4	20
M1-30	24,5	31,5	11,9	2,1	30

Tabela 5.2. Formulação das misturas cerâmicas estudadas a partir da massa 2.

MASSAS CERÂMICAS	% em peso das Matérias-Primas			
	Argila	Feldspato	Caulim	Chamote
Massa 2				
M2	40,0	40,0	20,0	-
M2-10	36,0	36,0	18,0	10
M2-20	32,0	32,0	16,0	20
M2-30	28,0	28,0	14,0	30

Escolheu-se essas duas formulações, por já terem sido testadas e averiguadas. A primeira apresenta características para grês porcelanato, e a segunda apresenta características similares, contudo só se enquadra na faixa de grês, e não de porcelanatos.

Assim, poder-se-á verificar se a adição do chamote mantém as propriedades de um porcelanato (caso para a mistura 1), bem como avaliar se a adição desses rejeitos pode vir a gerar um porcelanato, a partir de uma massa que não se enquadrava nos parâmetros para tal (caso para a mistura 2).

Para a dosagem das massas foi utilizada uma balança analítica com resolução de 0,0002g da Shimadzu. Em seguida adicionou-se água às formulações em 10% da massa. Misturou-se cada formulação até obter homogeneidade da massa, e em seguida toda a mistura foi passada em peneira de 20 mesh com intenção de transformá-la em pequenos aglomerados, de forma a adquirir as características mais próximas possíveis de uma atomização. Após a granulação, o material obtido foi armazenado em um recipiente plástico vedado, para que não houvesse variação de umidade nas massas. Para cada corpo-de-prova foi utilizada uma quantidade de 16 gramas de cada mistura úmida (essa massa de 16 gramas foi previamente testada, de modo a possibilitar aos corpos-de-prova ficarem em sua altura com dimensões próximas às da largura).

5.4. Preparação dos Corpos-de-Prova

Para prensar as amostras utilizou-se uma matriz retangular com punções inferior e superior, fabricada em aço M2. As dimensões da largura, altura e comprimento dos corpos-de-prova obtidos são de 10mm x 10mm x 100 mm. A pressão de compactação utilizada foi de 45MPa.

5.5. Secagem e Queima dos Corpos-de-Prova

O grês porcelanato, pela estrutura relativamente pouco plástica, não apresenta dificuldades particulares nem substanciais diferenças seja no ciclo de queima, seja nas

condições de secagem, daquelas normalmente adotadas para as outras produções industriais cerâmicas. (BIFFI, 2002). Por exemplo, em cerâmica vermelha, a secagem é uma das fases do processo mais importantes, e que deve ser bem controlada, para evitar possíveis trincas, e outros graves problemas, ocasionados por uma má secagem.

Após a obtenção dos corpos-de-prova, estes foram submetidos à secagem em estufa, em temperatura controlada de 110°C, até obter massa constante. Em seguida, os corpos-de-prova secos, foram medidos por paquímetro *Starret*, com resolução de 0,05mm, em suas três dimensões, altura, comprimento e largura. Também foram pesados em balança analítica, Shimadzu, com 0,0002g de resolução. Esses valores foram utilizados para determinar a densidade à verde dos corpos-de-prova. O valor do comprimento inicial (Li), de forma isolada, foi utilizado para posterior determinação da retração linear de queima (RL).

A etapa de queima dos corpos-de-prova foi realizada em um forno à Gás Natural, de marca Grion, alocado nas dependências do CTGÁS. Três temperaturas de queima foram utilizadas: 1150°C, 1200°C e 1250°C. A taxa de aquecimento foi de 10°/min e em cada queima, o patamar da temperatura máxima foi de 30 minutos. O resfriamento ocorreu de forma natural, com as amostras dentro do forno desligado, até alcançar a temperatura ambiente.

5.6. Caracterização do Produto Final

Para avaliar as propriedades de cada produto final, foram realizados ensaios de avaliação mineralógica por difração de raios X (DRX), absorção de água (AA), retração linear de queima (RL), porosidade aparente (PA), massa específica aparente (MEA), tensão de ruptura à flexão em três pontos (TRF), análise microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e avaliação do coeficiente de expansão térmica linear por análise dilatométrica (AD). Para os ensaios de AA, RL, MEA, PA e TRF, utilizou-se os corpos-de-prova nas mesmas dimensões, que apresentou após a queima.

5.6.1. Absorção de Água

A absorção de água é a porcentagem, em peso, do valor de água absorvido pelo corpo-de-prova queimado. Esta foi obtida de acordo com **Souza Santos (1989)**.

Os corpos-de-prova foram secos em estufa a 110°C por 24 horas e em seguida foram pesados em balança analítica com resolução de 0,0002g. Depois foram submersos em água destilada por vinte e quatro horas. Passado esse tempo, os corpos-de-prova foram removidos e o excesso de água superficial foi retirado com um pano umedecido e novamente foram pesados a fim de calcular o valor de água que cada corpo-de-prova absorveu, de acordo com a Equação (5.1):

$$AA (\%) = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100, \quad (5.1)$$

sendo AA a absorção de água em porcentagem; P_u o peso do corpo-de-prova úmido (em g); e P_s o peso do corpo-de-prova seco (em g). Os resultados foram obtidos pela média aritmética de cinco valores em corpos-de-prova distintos.

5.6.2. Retração Linear

Retração linear é a variação da dimensão linear do corpo-de-prova após a queima, em porcentagem, depois de submetido a condições específicas de temperatura. Valores positivos, indicam que houve retração, negativos, indicam expansão.

Os corpos-de-prova foram medidos com paquímetro Starret com resolução de 0,05 mm, e com os valores dos seus comprimentos, calculou-se a retração linear de queima (RL) foi determinada segundo **Souza Santos (1989)**, utilizando-se a seguinte Equação (5.2):

$$RL (\%) = \frac{(L_o - L_f)}{L_o} \times 100, \quad (5.2)$$

sendo RL a retração linear de queima em porcentagem; L_o o comprimento (em mm) inicial (após secagem) do corpo-de-prova; e L_f o comprimento (em mm) do corpo-de-

prova após a queima. Os resultados foram obtidos pela média aritmética de cinco valores em corpos-de-prova distintos.

5.6.3. Porosidade Aparente

A Porosidade aparente (PA) é a medida, em porcentagem, do volume de poros aberto do corpo-de-prova em relação ao seu volume total. O procedimento adotado foi baseado em **Souza Santos (1989)**.

Além das medições realizadas para o cálculo da absorção de água, os corpos-de-prova foram pesados imersos em água, após 24hs submersos, pelo método da balança hidrostática, a fim de se calcular a porosidade aparente. De acordo com a seguinte Equação (5.3), é que se obtém o valor desejado:

$$PA (\%) = \frac{P_u - P_s}{P_u - P_i} \times 100, \quad (5.3)$$

sendo PA a porosidade aparente em porcentagem; P_u o peso (em g) do corpo-de-prova úmido; P_s o peso (em g) do corpo-de-prova seco (em g); e P_i o peso (em g) do corpo-de-prova imerso em água. Os resultados foram obtidos pela média aritmética de cinco valores em corpos-de-prova distintos.

5.6.4. Massa Específica Aparente

A Massa Específica Aparente (MEA) é a massa do corpo-de-prova pelo volume. A MEA foi determinada de acordo com **Souza Santos (1989)**. Utilizando-se a seguinte Equação (5.4), é que se chega à MEA:

$$MEA (g/cm^3) = \frac{PA}{AA} = \frac{P_s}{P_u - P_i} \quad (5.4)$$

os valores e o procedimento utilizados foram os mesmos dos itens 7.6.2. e 7.6.4. Os resultados foram obtidos pela média aritmética de cinco valores em corpos-de-prova distintos.

5.6.5. Tensão de Ruptura à Flexão

Tensão de ruptura é a tensão necessária para romper um corpo-de-prova, segundo o método proposto por VICAT, através da Equação (5.5) (Vieira, 2004):

$$\text{TRF (MPa)} = \frac{3F \times L}{2b \times h^2}, \quad (5.5)$$

sendo F a força aplicada (em N); L a distância entre as duas barras de apoio, (em mm) que foi de 90mm; b a medida da base do corpo-de-prova (em mm); e h a altura do corpo-de-prova (em mm).

Os corpos-de-prova foram medidos nas três dimensões e ensaiados pela máquina de ensaios universais da Shimadzu, modelo AG-I com capacidade de 250kN. Para este ensaio utilizou-se a célula de carga de menor capacidade (50kN) e com sensor de carga máxima de 0,5kN, a fim de se obter maior precisão dos resultados.

A tensão de ruptura à flexão (TRF) foi obtida aplicando a Equação (5.5). Os resultados foram obtidos pela média aritmética de cinco valores em corpos-de-prova distintos.

5.6.6. Análise Microestrutural

A microscopia eletrônica de varredura, foi utilizada para avaliar as eventuais transformações de fases, bem como identificação das porosidades existentes nos corpos-de-prova.

Para o ensaio, utilizou-se uma pequena parte de corpo-de-prova, para cada conjunto de amostras. Em seguida cada parte foi fraturada, para se analisar de duas formas:

1. Microestrutura externa, com o objetivo de avaliar, principalmente, a porosidade aberta e a textura do material; e
2. Microestrutura interna, com o objetivo de avaliar, principalmente, as fases formadas, bem como a porosidade fechada.

Para analisar as amostras, do ponto de vista da porosidade, as mesmas foram levadas ao microscópio eletrônica de varredura (MEV) modelo SSX-550 de marca Shimadzu, sem nenhum tratamento prévio de lixamento ou polimento. Porém, as amostra foram metalizadas para tornarem-se condutoras, e aderidas a um porta amostra de alumínio, por uma fita condutora de carbono.

Para analisar as amostras do ponto de vista das fases formadas, as mesmas foram observadas na superfície de fratura, atacadas com HF numa concentração de 2% em H₂O destilada buscando a revelação principalmente da mulita, formada durante a sinterização.

5.6.7. Análise Dilatométrica

As amostras após sinterizadas foram submetidas a uma avaliação de sua estabilidade dimensional em função da temperatura. Assim, avaliar uma amostra do ponto de vista de sua dilatação térmica, é submetê-la a uma temperatura, buscando verificar o valor de sua variação linear, em função da faixa de temperatura pela qual a amostra foi submetida. A equação (5.6) utilizada para avaliar o coeficiente de dilatação térmica, segundo a norma NBR 13818:1997, é:

$$\delta (^{\circ}\text{C}^{-1}) = \frac{1}{l_a} \times \frac{\Delta L}{\Delta T} \quad (5.6)$$

onde: $\Delta L = l_b - l_a$
 $\Delta T = t_f - t_i$

sendo: δ o coeficiente de dilatação térmica linear, expresso em micrômetros por micrômetros e por graus Celsius; l_a é o comprimento inicial do corpo-de-prova expresso em micrômetros; l_b é o comprimento final do corpo-de-prova expresso em micrômetros; ΔL é a variação do comprimento do corpo-de-prova em micrômetros; t_i é a temperatura inicial, em graus Celsius; t_f é a temperatura final, em graus Celsius; e ΔT é a variação da temperatura a que o corpo-de-prova foi submetido, em graus Celsius.

O ensaio foi realizado de acordo com o anexo K da norma acima citada. O equipamento utilizado foi um analisador termomecânico TMA-50 de marca Shimadzu. As amostras, com dimensões próxima a um cubo com 10 mm de lado, foram aquecidas a uma taxa de 10°C/min da temperatura ambiente até 1000°C, utilizando atmosfera de ar sintético com vazão de 50 mL. A análise dos resultados foi realizada utilizando-se o programa de computador TA-60, para análises térmicas da Shimadzu.

6. Resultados e Discussão

6.1. Caracterização das Matérias-Primas

6.1.1. Caracterização Química (FRX)

A composição química das matérias-primas utilizadas é apresentada na Tabela 6.1, em percentual mássico.

A Argila Baldum, apresentou como constituintes básicos, os óxidos SiO_2 e Al_2O_3 . Além desses apresentou também o Fe_2O_3 , que embora não seja um óxido desejado para uma argila de queima clara, o teor de 1,77% é um valor aceitável, inclusive até abaixo de algumas argilas utilizadas na Europa, em produção de grês porcelanato (BIFFI, 2002).

Tabela 6.1 – Composição Química em massa das Matérias-primas.

Óxidos Presentes	Concentrações em peso (%)				
	Argila	Feldspato	Caulim	Talco	Chamote
SiO_2	44,90	54,18	43,48	64,32	52,79
Al_2O_3	36,71	25,21	40,46	1,20	26,57
K_2O	0,23	16,43	0,28	-	3,65
Fe_2O_3	1,77	0,31	1,10	0,35	7,55
Na_2O	-	2,53	-	-	3,00
MgO	-	-	-	32,59	2,94
CaO	0,25	0,38	0,25	-	1,70
TiO_2	1,03	-	1,04	0,05	0,51
MnO	0,04	0,04	-	0,03	0,16
Outros	0,98	0,47	0,38	0,04	0,59
P.F.	14,09	0,47	13,00	1,42	0,54

O feldspato, apresentou-se rico em óxidos alcalinos K_2O e Na_2O , principalmente em K_2O , o que é um fato importante, uma vez que é o melhor tipo de feldspato para fabricação de porcelanatos. (BORBA et al., 1996)

O caulim por sua vez, apresentou, além dos constituintes básicos SiO_2 e Al_2O_3 um baixo teor de Fe_2O_3 (1,10%) e de TiO_2 (1,04%).

O talco apresentou principalmente os óxidos MgO e SiO_2 e pequenas concentrações de Al_2O_3 (1,20%) e Fe_2O_3 (0,35%).

Por fim, o chamote de telha utilizado apresentou, além das concentrações elevadas de SiO_2 e Al_2O_3 , elevado teor de Fe_2O_3 (7,55%). Os metais em forma de óxido K_2O , Na_2O , MgO e CaO , também apareceram em concentrações significativas, o que possivelmente acarretará maior fundência, quando o chamote for incorporado às massas de partida.

Os valores de Perda ao Fogo, conforme dito anteriormente, foram obtidos durante a análise termogravimétrica, portanto os mesmos serão discutidos na seção da referida análise.

6.1.2. Caracterização Mineralógica (DRX)

As Figuras a seguir, 6.1 a 6.5 apresentam os difratogramas de raios X das matérias-primas utilizadas, Argila Baldum, Feldspato, Caulim, Talco e Chamote, respectivamente.

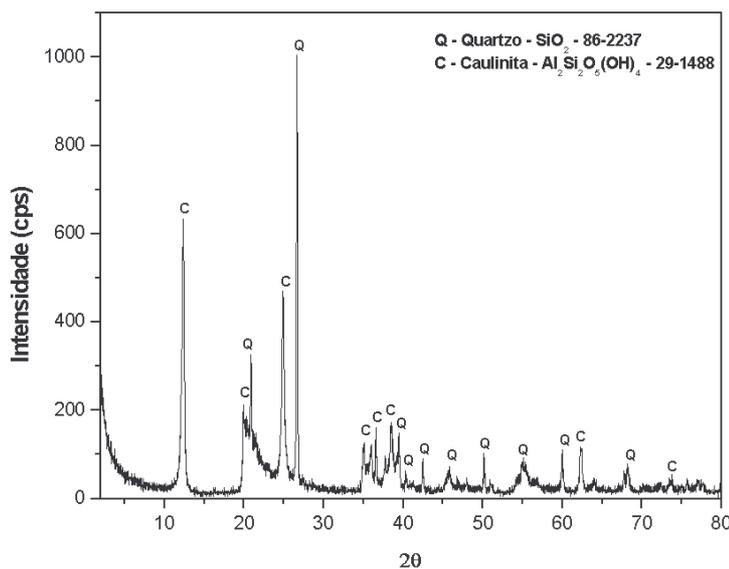


Figura 6.1 – Difratograma de raios X da Argila Baldum.

De acordo com os picos característicos, foi possível constatar que a Argila Baldum é constituída de duas fases: Caulinita – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ – e Quartzo – SiO_2 .

O difratograma do Feldspato, Figura 6.2, identificou como constituintes majoritários, dois tipos diferentes de feldspatos, Microclínio – KAlSi_3O_8 – e Albita $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, e quartzo – SiO_2 – em sua estrutura cristalina. Contudo, ao se observar o resultado da análise química e se comparar ao difratograma, verifica-se que o Microclínio é o mineral majoritário desta matéria-prima, seguido do Quartzo e somente bem abaixo, em termos de concentração, encontra-se a Albita.

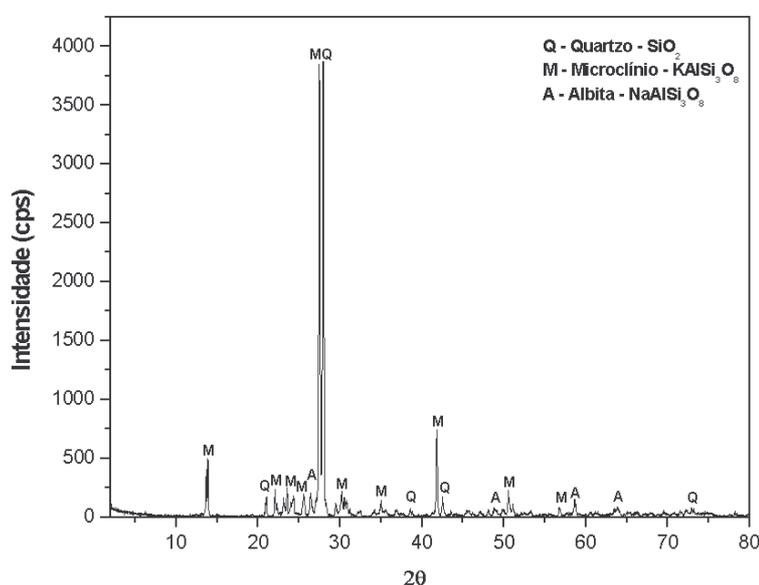


Figura 6.2 – Difratograma de Raios X do Feldspato.

O difratograma obtido para o Caulim, minério rico no argilomineral Caulinita, apresentou dois tipos de argilominerais: Caulinita – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ – e Haloisita – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

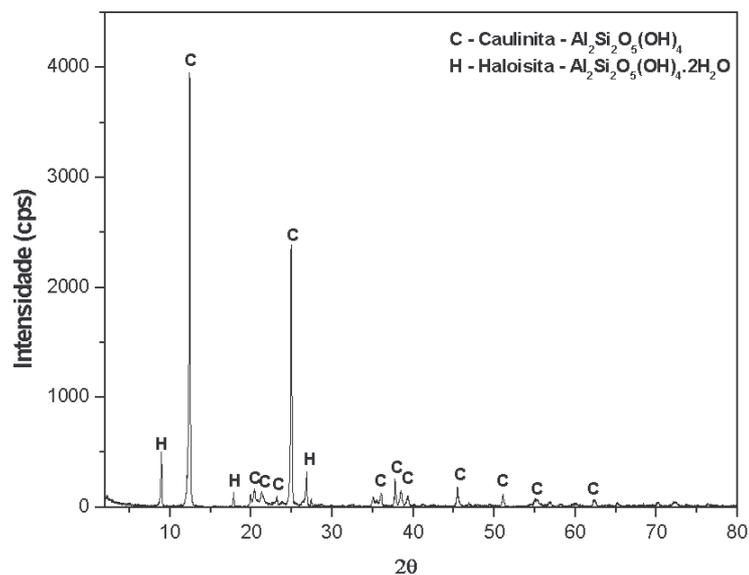


Figura 6.3 – Difratoograma de Raios X do Caullim.

O difratograma apresentado na Figura 6.4, apenas identificou uma fase, a do Talco – $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Essa fase, por sua vez, preencheu todos os picos gerados, quando realizada a comparação de cartas cadastradas no ICDD (*International Centre for Diffraction Data*).

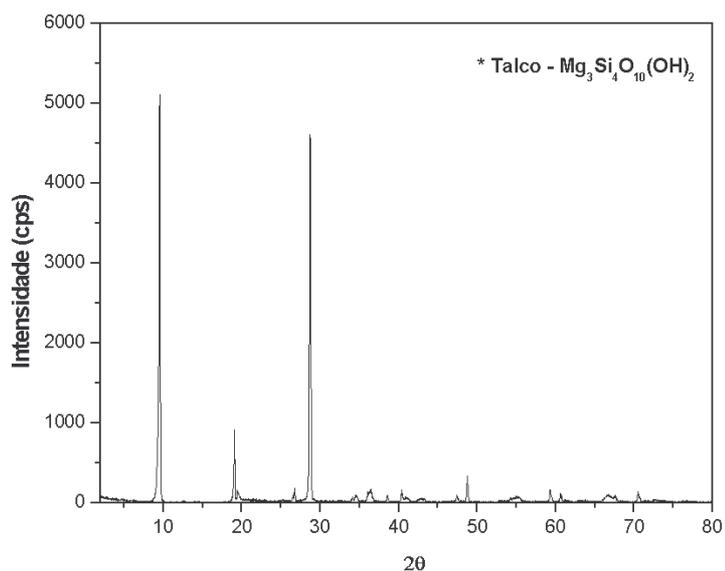


Figura 6.4 – Difratoograma de raios X do Talco.

Conforme se pode verificar no difratograma da Figura 6.5, o chamote de telha é constituído de diversas fases, dentre elas a illita, o que indica que a argila utilizada era rica deste argilomineral. Além dessa fase também identificou-se as fases de Fe_2O_3 , hematita, que é geralmente formada em temperaturas acima de 800°C ; cordierita, $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$, mineral também obtido quando a argila é queimada; além do quartzo e do feldspato anortoclásio – $(\text{Na}_{0,7}\text{K}_{0,3})(\text{Al}_{1,02}\text{Si}_{2,98}\text{O}_8)$, provavelmente, constituintes existentes desde antes da queima da massa para formar a telha.

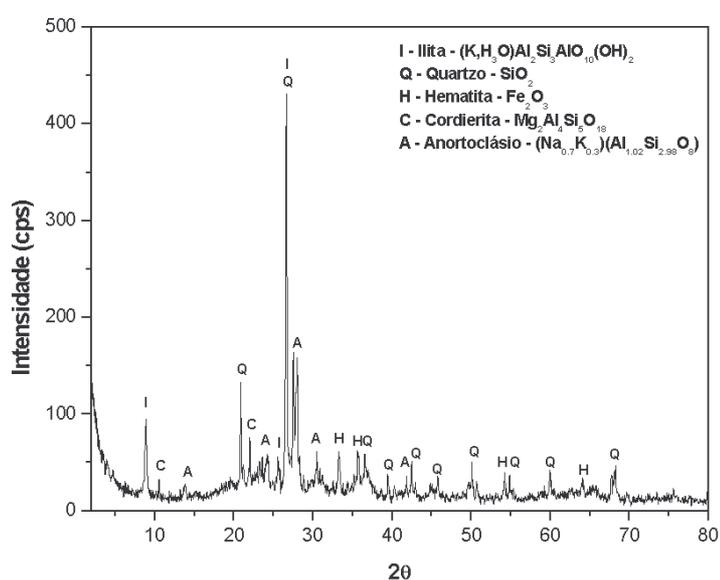


Figura 6.5 – Difratograma de raios X do Chamote.

6.1.3. Análises Térmicas

As Figuras 6.6 e 6.7 apresentam os resultados das análises termogravimétrica e termodiferencial realizadas na Argila Baldum. Nota-se uma perda de massa (TG) e um pico endotérmico (ATD) entre as temperaturas de 30°C a 115°C indicando provavelmente, a perda de água de umidade.

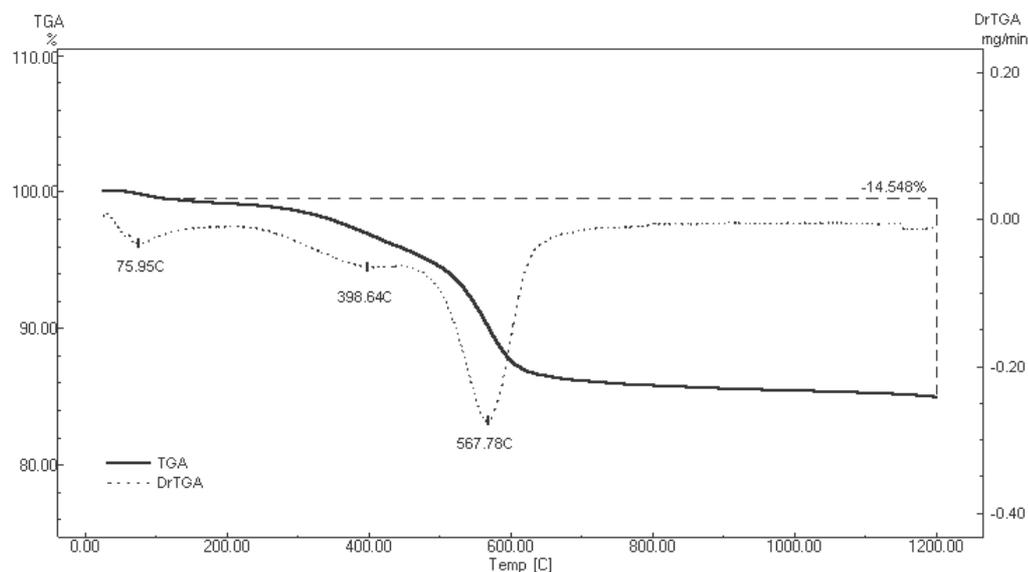


Figura 6.6 – Curva Termogravimétrica (TG) com derivada (DrTG) da Argila Baldum

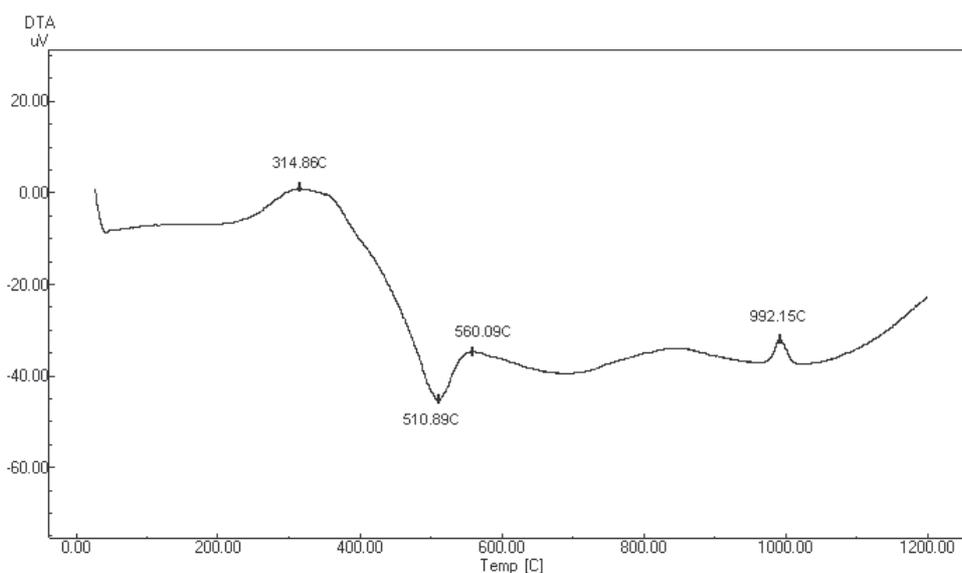


Figura 6.7 – Curva Termodiferencial (ATD) da Argila Baldum

Com os resultados apresentados nas figuras anteriores, pode-se concluir que a fração orgânica (pico exotérmico em 314,86°C) e a água higroscópica, incorporadas naturalmente à Argila Baldum, tiveram sua redução entre 200°C e 400°C aproximadamente. Como se sabe que, entre 500°C e 700°C ocorre a maior perda da água estrutural da caulinita. Na faixa de 980°C a 1010°C observa-se um pico

exotérmico situado a 992,15°C. Acredita-se que nessa temperatura tenham se formadas as fases de Espinélio Si-Al e de mulita ortorrômbica.

As Figuras 6.8 e 6.9 são representação gráfica das análises de TG e ATD respectivamente, do Feldspato. Observa-se que o valor de perda ao fogo foi de 0,461%. Acredita-se que esse valor pode ser de água adsorvida ao material. É possível que haja mica no Feldspato, como muscovita (ver comentário do resultado mineralógico para essa matéria-prima), tenha perdido hidroxilas. Observa-se ainda, um pico endotérmico aos 950°C e outro a temperatura próxima de 1145°C. Acredita-se que a albita tenha iniciado o seu processo de fusão nessa primeira temperatura, já na segunda tem-se a mudança de fase do Microclínio, KAlSi_3O_8 , para as fases Leucita, KAlSi_2O_6 e Silica amorfa de alta viscosidade.

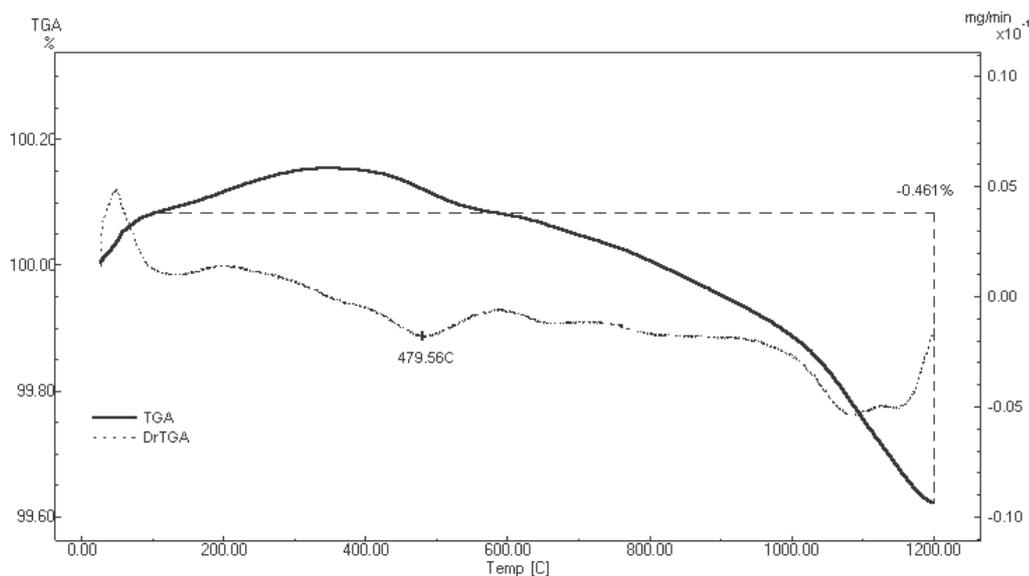


Figura 6.8 – Curva Termogravimétrica (TG) com derivada (DrTG) do Feldspato.

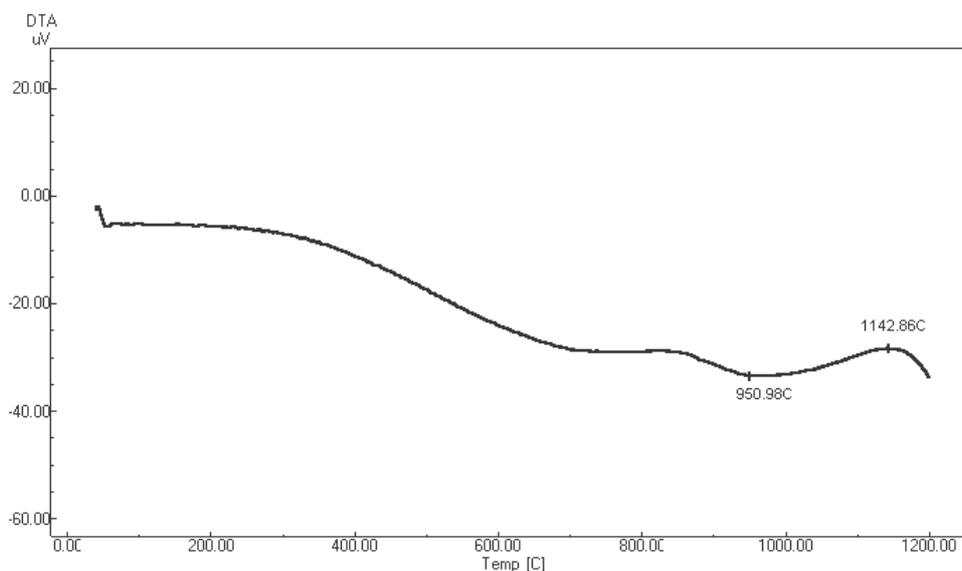


Figura 6.9 – Curva Termodiferencial (ATD) do Feldspato.

As Figuras 6.10 e 6.11 apresentam as curvas das TG e ATD, da amostra de caulim. Observa-se que somente entre 500°C e 800°C ocorre a maior perda de massa. De acordo com a literatura, é nessa faixa que a caulinita perde a água composicional. Por isso, verifica-se o pico endotérmico da ATD na temperatura de 657,27°C. Já no pico em 1002,13°C, acredita-se, por ser exotérmico, que seja uma mudança de fase similar à ocorrida na argila Baldum, surgimento de espinélio Si-Al e de mulita ortorrômbica.

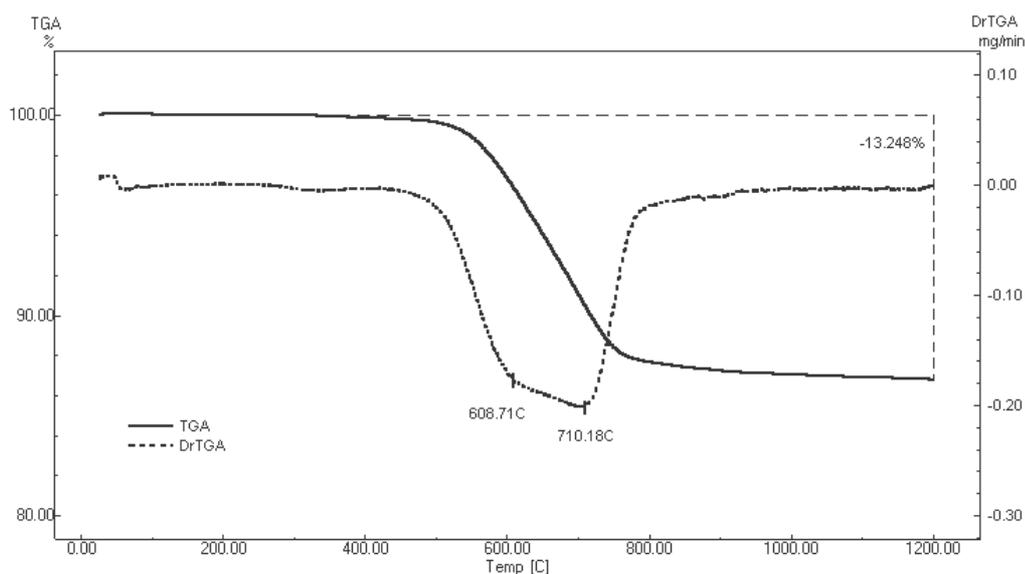


Figura 6.10 – Curva Termogravimétrica (TG) com derivada (DrTG) do Caulim.

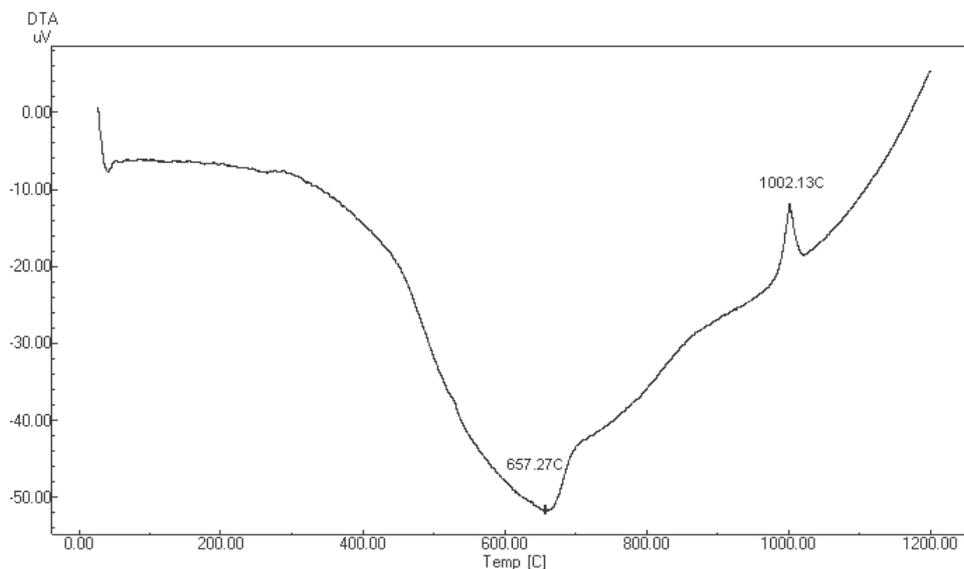


Figura 6.11. – Curva Termodiferencial (ATD) do Caulim.

As Figuras 6.12 e 6.13 apresentam o comportamento da amostra de talco durante os ensaios de TG e ATD. Observa-se que na temperatura de 1015,19 $^{\circ}\text{C}$ é quando ocorre a maior perda de massa. De acordo com **Sánchez et al. (1997)**, é nessa faixa de temperatura que ocorre a perda da hidroxila presente no talco.

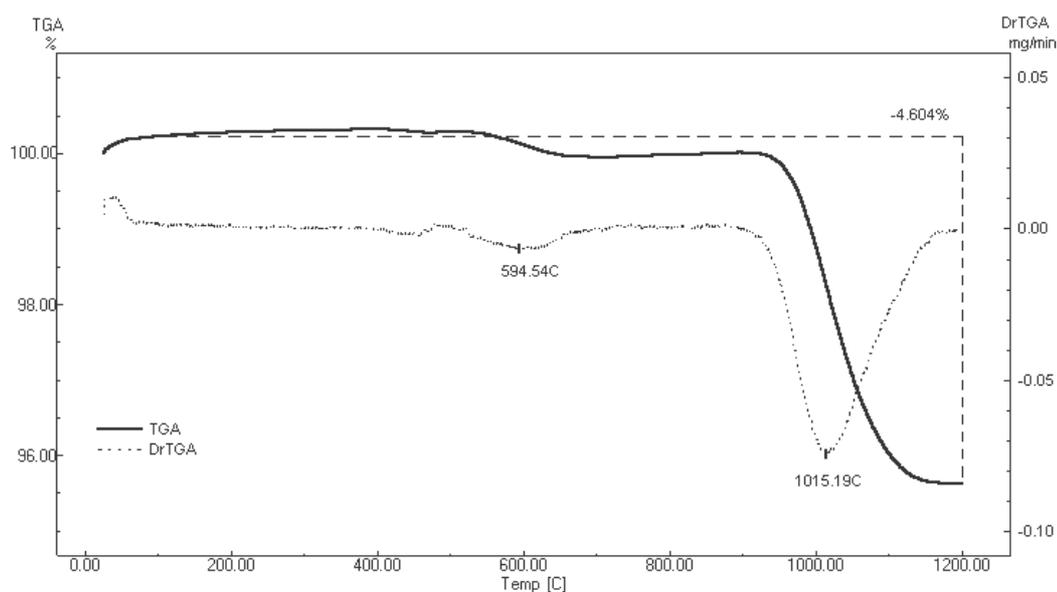


Figura 6.12 – Curva Termogravimétrica (TG) com derivada (DrTG) do Talco.

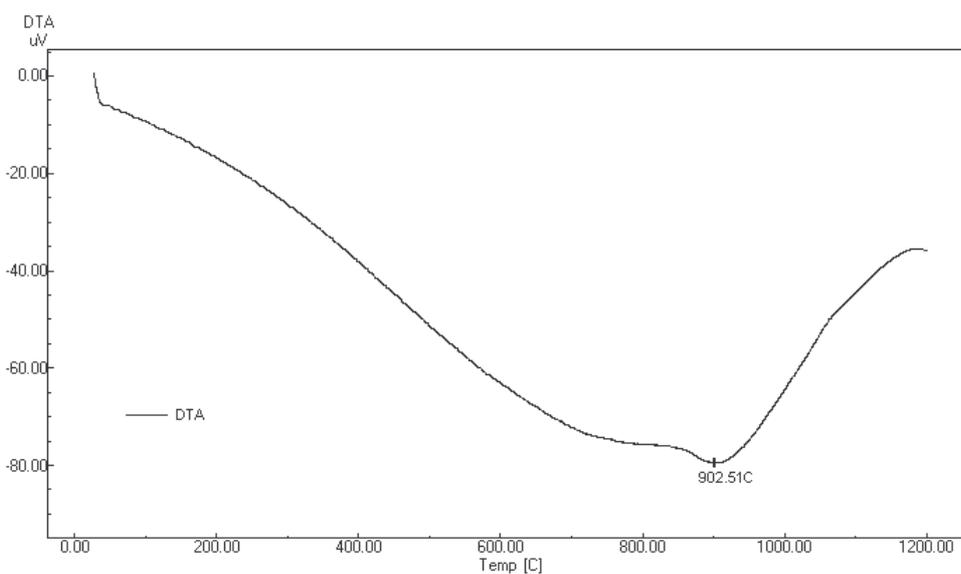


Figura 6.13 – Curva Termodiferencial (ATD) do Talco.

As Figuras 6.14 e 6.15 apresentam as curvas geradas durante os ensaios de análise termogravimétrica e termodiferencial.

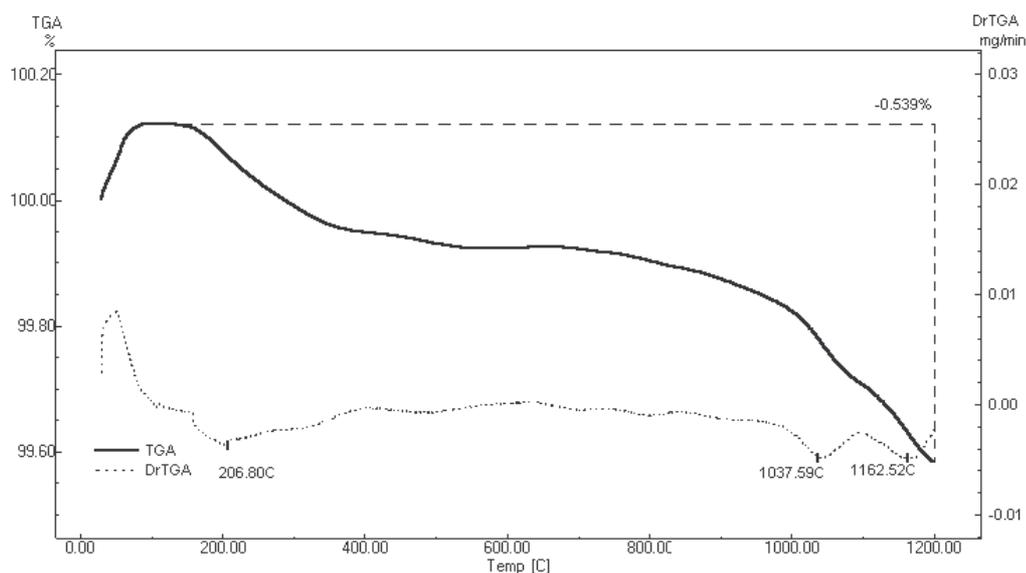


Figura 6.14 – Curva Termogravimétrica (TG) com derivada (DrTG) do Chamote.

Conforme se pode observar na figura 6.14., o comportamento térmico gravimétrico do chamote é de perda de massa. A variação entre as temperaturas 110 $^{\circ}\text{C}$ e 1200 $^{\circ}\text{C}$ foi de 0,539%. O chamote, por ser o produto da moagem de telhas queimadas, deveria apresentar estabilidade quanto a variação de massa, contudo, pelo

gráfico gerado na análise, percebe-se que tal fato não ocorreu. Acredita-se que os dois fatores principais foram: (1) pelo fato das telhas serem normalmente queimadas em faixas de temperaturas que variam entre 800°C e 1000°C (VIEIRA et al., 2003) a variação de massa ocorre, devido a análise ter se dado até temperatura bem acima da que a telha fora queimada; e (2) por as telhas serem normalmente queimadas de forma irregular, apresentando na sua quase totalidade corações negros, por exemplo, acredita-se que boa parte da fração orgânica e volátil da massa geradora de telhas, não foi liberada. Assim, como para realizar as análises térmicas é necessária a moagem da amostra, as frações que não foram reduzidas durante a queima da telha no processo fabril, encontraram maior facilidade de serem liberadas, por não mais se tratar de uma amostra compacta, mas sim, um pó fino.

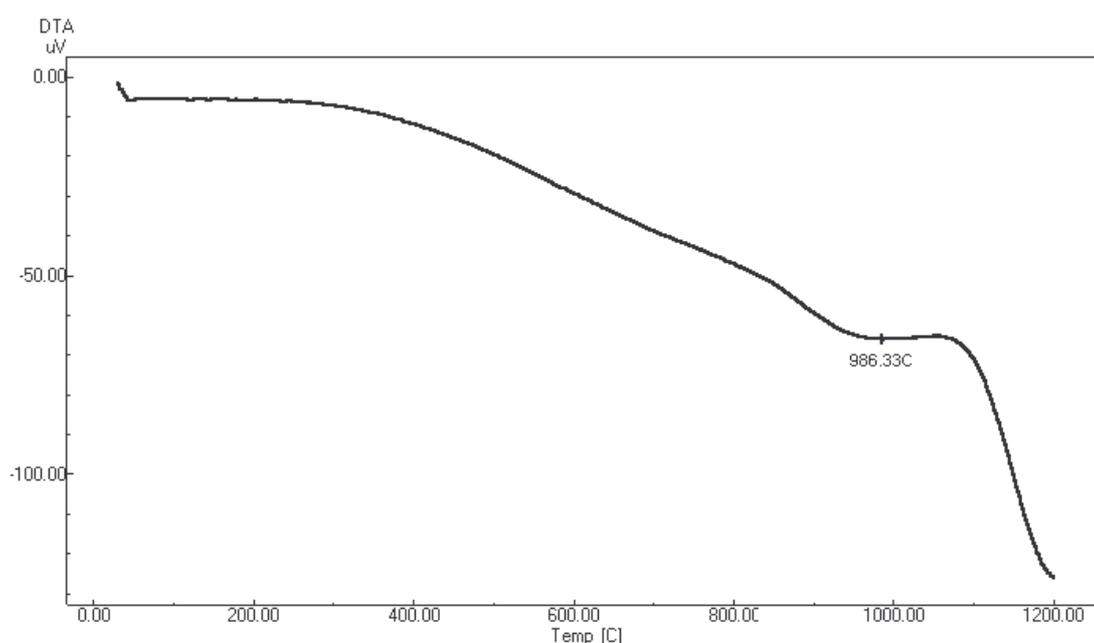


Figura 6.15 – Curva Termodiferencial (ATD) do Chamote.

O que se pode observar no resultado da análise térmica diferencial realizada no chamote, conforme mostra a Figura 6.15, é que há ausência de picos bem definidos não se podendo assim determinar todas as transformações ocorridas durante a análise. Contudo, acima da temperatura de 1050°C observa-se que o gráfico sofre uma queda brusca, o que indica, possivelmente, o início da fusão do material, visto que de acordo com Sánchez et al., 1997 o argilomineral ilita inicia sua fusão ao redor de 1050°C, e

como pôde ser visto no resultado da análise mineralógica, o chamote tem como matéria-prima majoritária uma argila ilítica.

6.1.4. Granulometria

As Figuras 6.16 a 6.20 apresentam os resultados da análise granulométrica da Argila Baldum, Feldspato, Caulim, Talco e Chamote, respectivamente.

Verifica-se que a argila apresentou a granulometria, após moída, entre 0,32 e 38 μm . Esta apresentou um valor de 37% em volume, abaixo de 2 μm , 59% entre 2 e 20 μm e somente 4% acima de 20 μm . A argila Baldum apresentou um diâmetro médio de partículas de 5,70 μm .

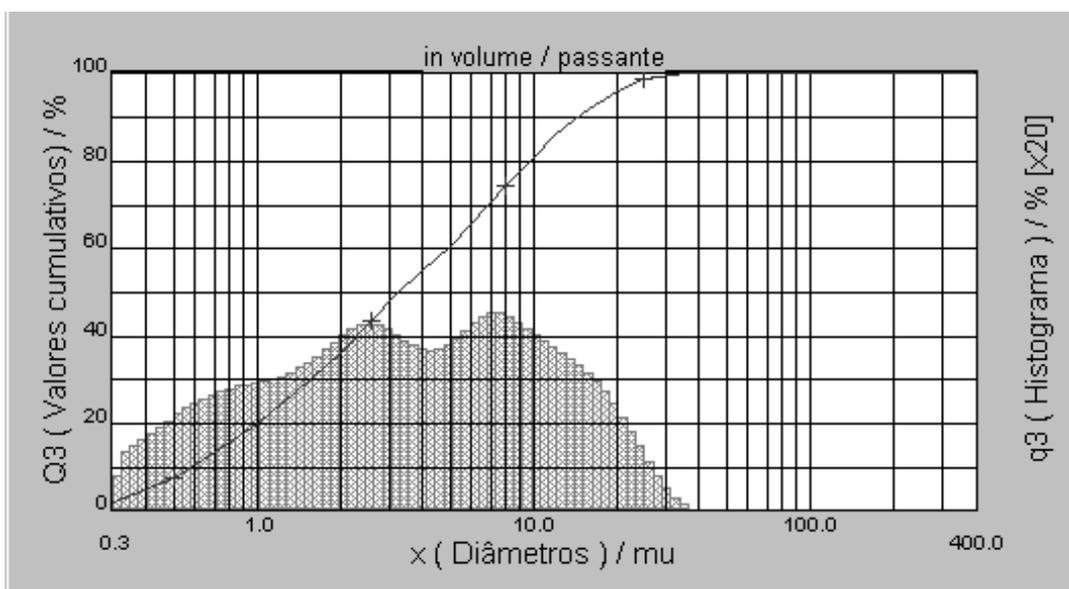


Figura 6.16 – Distribuição granulométrica da Argila Baldum.

O Feldspato depois de moído apresentou granulometria entre 0,32 μm e 40 μm , dos quais 32% em volume têm diâmetro inferior a 2 μm , 63% têm diâmetro entre 2 e 20 μm e apenas 5% têm diâmetro superior à 20 μm . O diâmetro médio para o Feldspato foi de 6,26 μm .

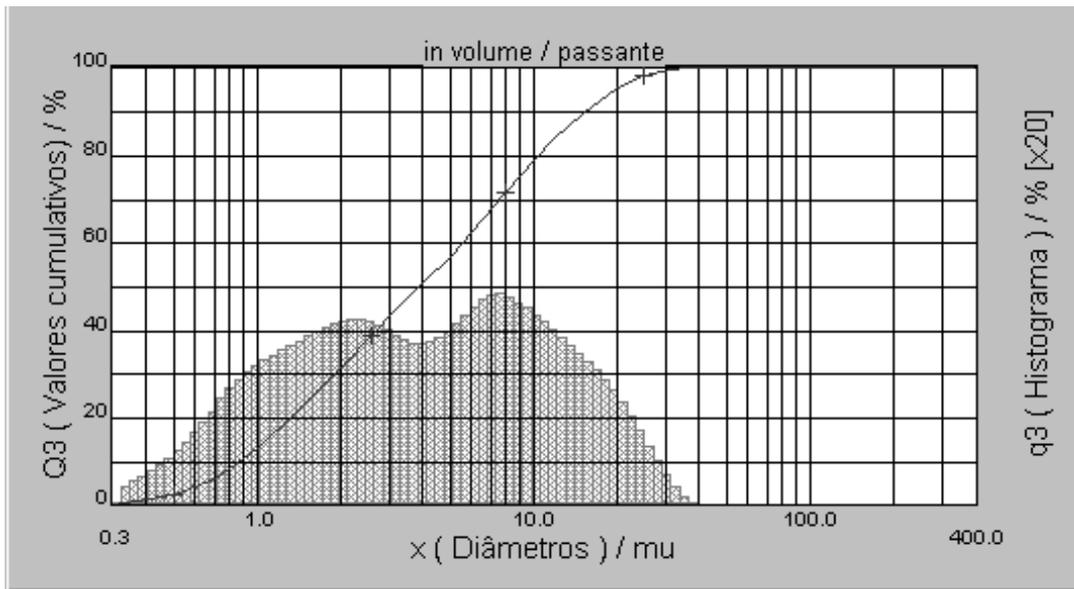


Figura 6.17 – Distribuição granulométrica do Feldspato.

O Caulim apresentou granulometria entre $0,30 \mu\text{m}$ e $30 \mu\text{m}$, dos quais 34% em volume têm diâmetro inferior a $2 \mu\text{m}$, 64% têm diâmetro entre 2 e $20 \mu\text{m}$ e apenas 2% têm diâmetro superior à $20 \mu\text{m}$. O diâmetro médio para o Caulim foi de $5,32 \mu\text{m}$.

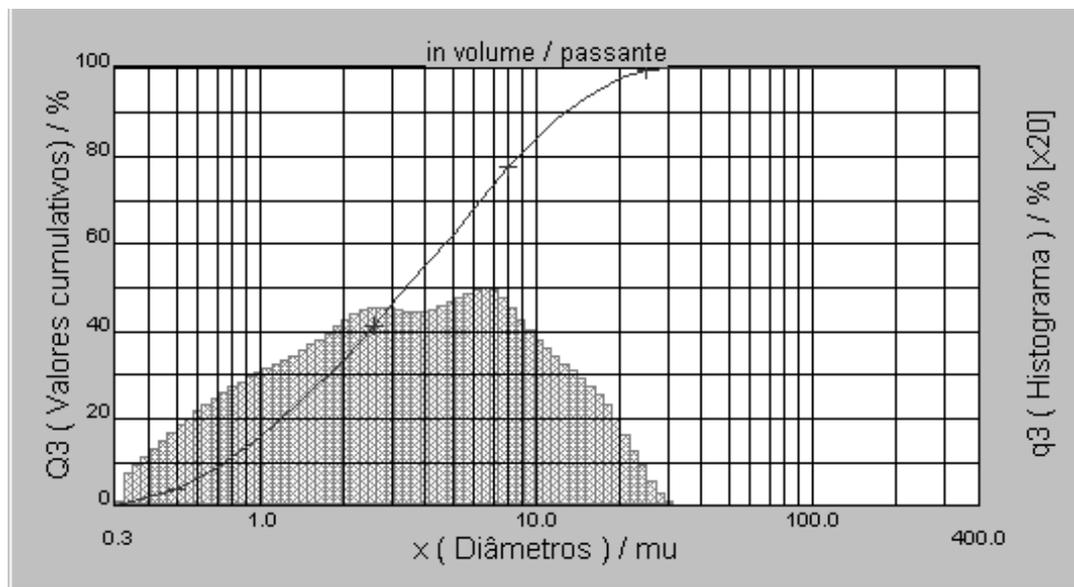


Figura 6.18 – Distribuição granulométrica do Caulim.

Conforme se observa na literatura, o caulim apresentou granulometria bem inferior aos comercialmente utilizados na produção europeia, que chega em alguns casos a apresentar cerca de 15% em volume acima de 30 μm (BIFI, 2002).

O Talco apresentou granulometria entre 1,5 μm e 180 μm , dos quais 1% em volume têm diâmetro inferior a 2 μm , 44% têm diâmetro entre 2 e 20 μm e 55% têm diâmetro superior à 20 μm . O diâmetro médio para o Talco foi de 28,8 μm .

De acordo com o encontrado na literatura, esse Talco apresentou granulometria um pouco acima, com cerca de 5% acima de 75 μm , contra 0,5% (BIFI, 2002).

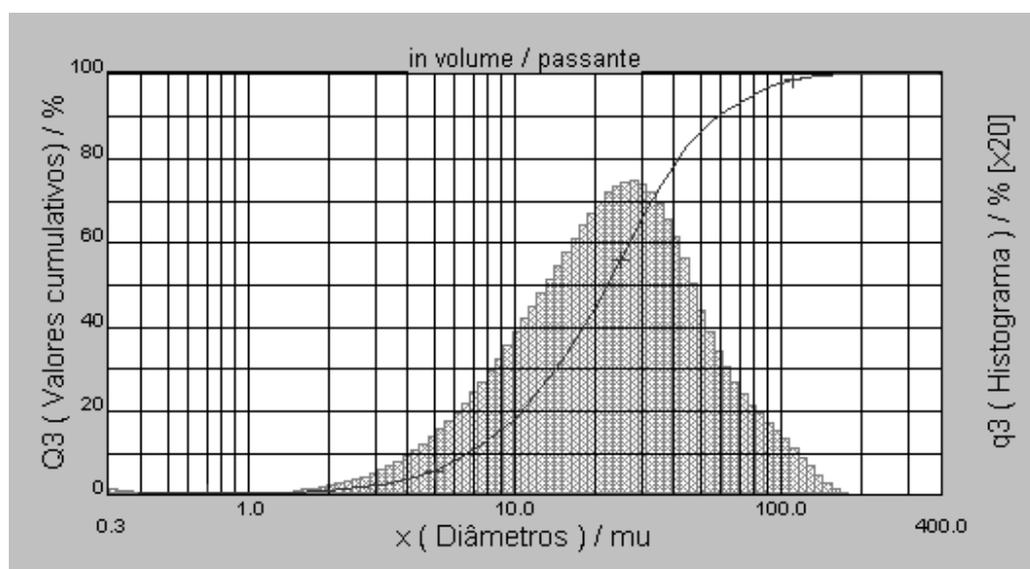


Figura 6.19 – Distribuição granulométrica do Talco.

O Chamote apresentou granulometria entre < 0,3 μm e 140 μm , dos quais 18% em volume têm diâmetro inferior a 2 μm , 57% têm diâmetro entre 2 e 20 μm e 25% têm diâmetro superior a 20 μm . O diâmetro médio para o Chamote foi de 14,33 μm .

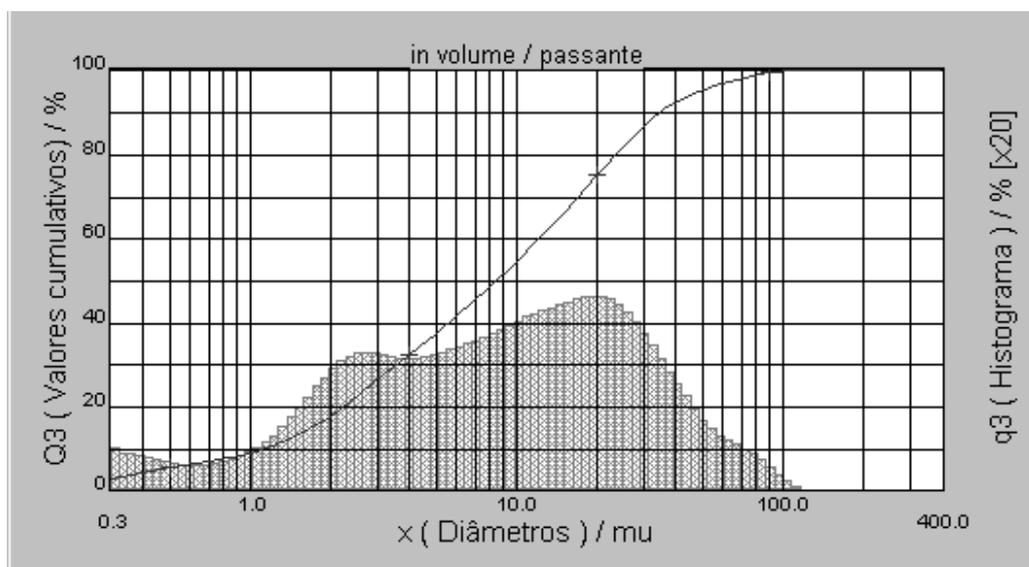


Figura 6.20 – Distribuição granulométrica do Chamote.

A Tabela 6.2. apresenta de forma simplificada a distribuição granulométrica nas três faixas descritas anteriormente ($< 2 \mu\text{m}$; $2 \mu\text{m}$ a $20 \mu\text{m}$; $> 20 \mu\text{m}$ e resíduo $> 44,0 \mu\text{m}$).

Tabela 6.2 Resumo da distribuição granulométrica das matérias-primas estudadas.

Matérias-primas	Tamanho Médio	Distribuição Granulométrica (% volume)			
		$< 2,0 \mu\text{m}$	$2,0$ a $20,0 \mu\text{m}$	$> 20,0 \mu\text{m}$	Resíduo $> 44,0 \mu\text{m}$
Argila Baldum	$5,70 \mu\text{m}$	37,0	59,0	4,0	-
Feldspato	$6,26 \mu\text{m}$	32,0	63,0	5,0	-
Caulim	$5,32 \mu\text{m}$	34,0	64,0	2,0	-
Talco	$28,80 \mu\text{m}$	1,0	44,0	55,0	18,0
Chamote	$14,33 \mu\text{m}$	18,0	57,0	25,0	5,0

De acordo com a literatura, uma massa para Grês porcelanato apresenta em granulometria média variando entre 15 e $20 \mu\text{m}$. Enquanto que o resíduo em malha de 325# se apresenta em torno de 0,5 e 1% (BIFI, 2002).

A partir da Tabela 6.2. pode-se perceber que o tamanho médio de partículas para todas as matérias-primas encontra-se abaixo do usual no mercado, exceto para o Talco. Isso de fato é positivo, visto saber-se que quanto mais fina é a granulometria de uma massa, mais rápidas ocorrem as reações de sinterização, podendo diminuir tanto o tempo e a temperatura de queima, assim como a velocidade do aquecimento, proporcionando menores custos de produção à empresa fabricante. Embora o Talco tenha sido o único a apresentar o tamanho médio maior que o encontrado nas misturas prontas, acredita-se que pouca diferença pode gerar no processo. Isso por que o Talco é acrescentado na formulação de porcelanatos em pequenas quantidades, e quando a massa como “um todo” for ser avaliada, do ponto de vista de tamanho de partículas, facilmente observar-se-á que esta se encontrará dentro, ou mesmo abaixo da faixa entre 15 e 20 μm , visto que todas as outras matérias-primas apresentaram tamanho médio de partículas bem abaixo de 20 μm .

Ainda se pode notar que o valor do resíduo > 44,0 μm para as três matérias-primas principais utilizadas, exceto o chamote, foi de zero, ou seja, não houve partículas com tamanho maior que 44,0 μm . Já o Talco e o Chamote apresentaram valores de 18 e 5%, respectivamente. Contudo pode-se verificar que ao substituir essas matérias-primas na formulação, o resíduo em alguns casos fica abaixo de 1%, e em outros fica pouco acima. As formulações M1, M1-10, M2 e M2-10 apresentam valores de resíduo acima de 44 μm abaixo de 1%. A formulação M2-20 apresentou o valor do resíduo igual a 1% e as demais – M1-20, M1-30 e M2-30 – apresentaram os valores de resíduos acima de 1%, embora não hajam passado de 2%.

6.2. Caracterização das Massas Cerâmicas

6.2.1. Evolução da Microestrutura em Função da Queima

As Figuras 6.21 a 6.28 apresentam os resultados das análises mineralógicas por difração de raios X das amostras confeccionadas a partir das massas 1 e 2. Cada figura apresenta uma comparação de cada mistura a verde com a mesma mistura sinterizada em temperaturas de 1150°C, 1200°C e 1250°C. Pode-se verificar que para todas as

amostras, quando queimadas a partir de 1200°C, uma nova fase surge, a mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). A mulita, segundo **Sánchez et al, (1997)**, é formada a partir dos espinélio e aluminossilicato amorfo obtidos a 980°C a partir de argilas, como caulinita, illita, além de outros aluminossilicatos. A formação da mulita, segundo eles, ocorre na faixa de 1150°C-1250°C. Outro ponto que se percebe em todas as figuras é que a partir da primeira queima (1150°C), nota-se um aumento da linha do difratograma em relação ao eixo da abscissa, principalmente entre 15° e 35°, enquanto que alguns picos deixam de existir. Isso indica uma maior quantidade de fases amorfas sendo parte delas, a fase vítrea gerada pela dissolução dos metais alcalinos presentes nas matérias-primas. Embora no difratograma do chamote (Figura 6.5) apareçam algumas fases como hematita, cordierita e anortoclásio, acredita-se que o fato de estarem em pequenas quantidades no chamote puro, faz com que os resultados de difração de raios X das massas com adição desse rejeito, não evidenciem seus picos característicos, visto que esses se encontram abaixo da faixa detectável, mesmo para a massa com 30% de chamote.

As Figuras 6.21 a 6.24 são as que apresentam os difratogramas para as formulações geradas a partir da massa 1.

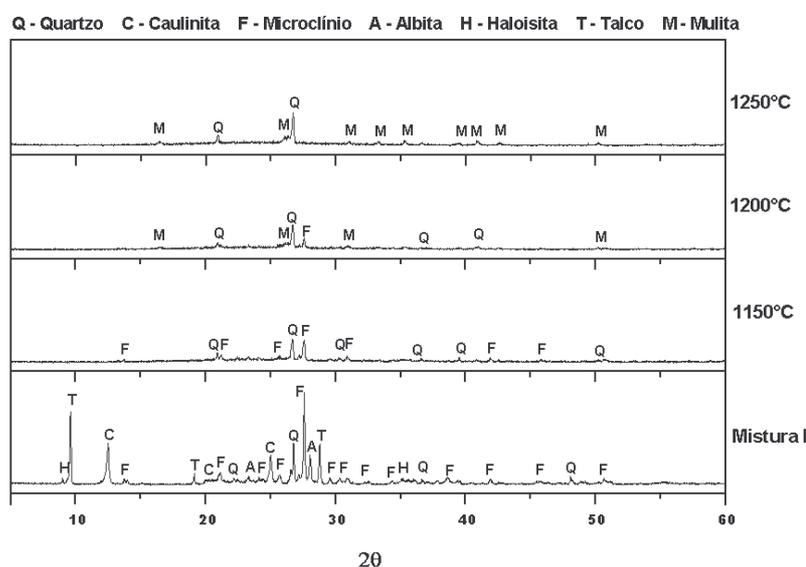


Figura 6.21 – Comparativo entre os difratogramas de raios X da massa 1 sem adição de rejeito sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde.

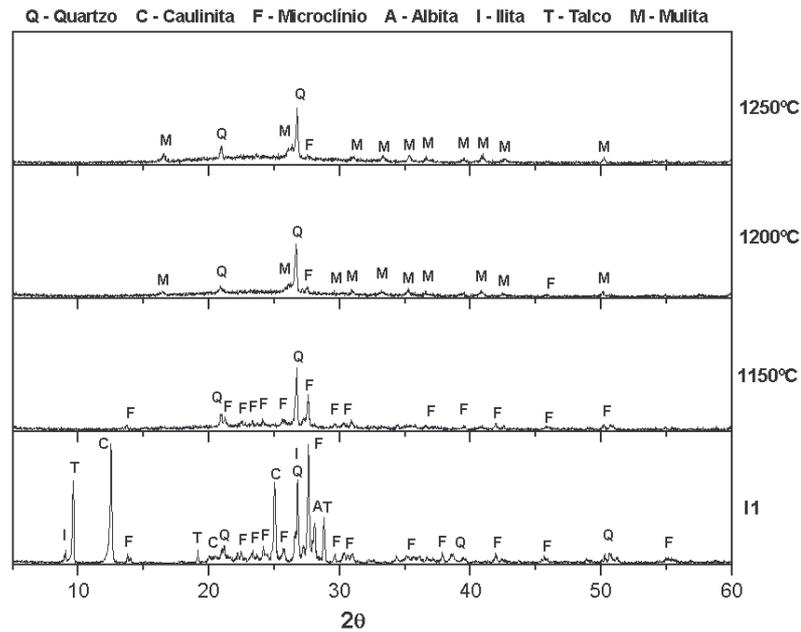


Figura 6.22 – Comparativo entre os difratogramas de raios X da massa 1 com adição de 10% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde.

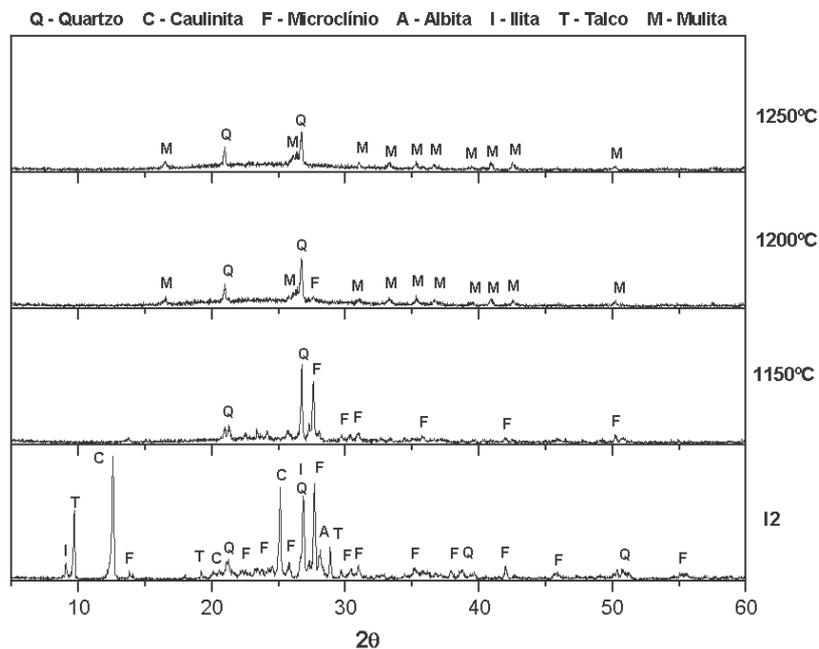


Figura 6.23 – Comparativo entre os difratogramas de raios X da massa 1 com adição de 20% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde.

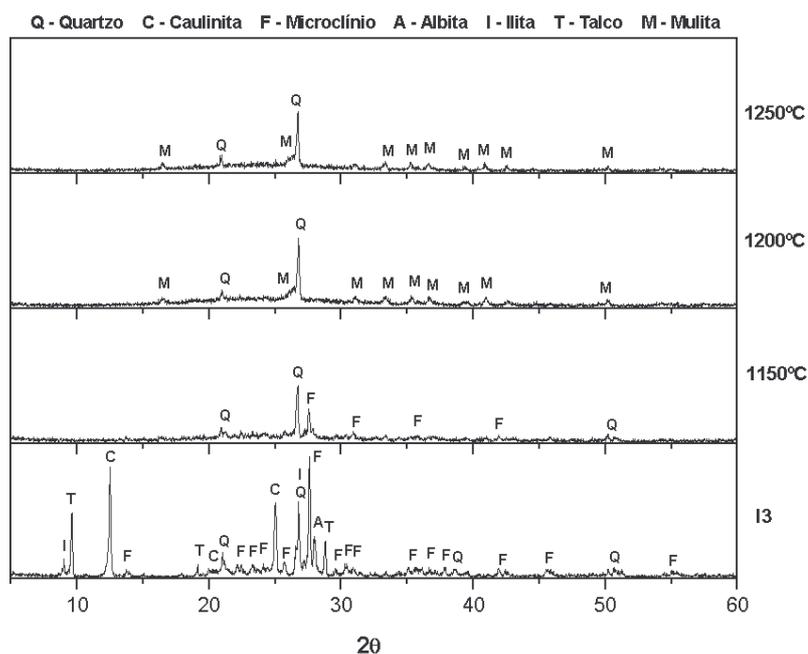


Figura 6.24 – Comparativo entre os difratogramas de raios X da massa 1 com adição de 30% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde.

Observa-se que a amostra sem rejeito (Figura 6.21) apresentou menor quantidade de quartzo, quando queimada, seja a 1150°C, 1200°C ou 1250°C, com relação às amostras com adição de chamote (Figuras 4.22, 4.23 e 4.24). Observa-se ainda, que a diferença entre a amostra a verde para a obtida a partir da 1ª queima (1150°C), em qualquer uma das formulações, os únicos constituintes que permanecem são o quartzo e o feldspato, embora percam um pouco na intensidade dos picos, o que indica que também dissolveram, embora parcialmente.

Pode-se observar também que entre a amostra sem chamote e a com 10%, o feldspato não se dissolve totalmente para a mistura com chamote na temperatura de 1250°C. Isso indica que a adição de rejeito de telha na formulação 1, no teor de 10%, ocasiona, provavelmente, um atraso na fusão do feldspato. Outro fenômeno que se verifica entre as amostras com adição de rejeitos, é que à medida que o chamote foi incrementado à mistura, de 10% a 30%, a presença do feldspato vai desaparecendo em temperaturas mais baixas, por exemplo: com 10% de rejeito de telha, encontrou-se feldspato após a queima de 1250°C. Já para a concentração de 20%, não se encontrou feldspato após a queima nessa faixa de temperatura, mas somente para 1200°C. Por fim, percebe-se também, que para 30% de chamote, só se identifica feldspato após a queima de 1150°C.

As Figuras 6.25 a 6.28 apresentam os difratogramas para as formulações geradas a partir da massa 2.

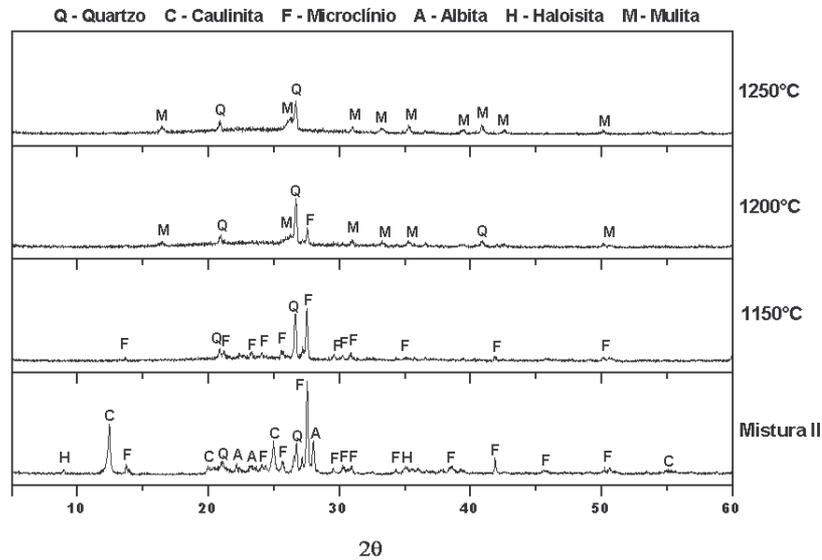


Figura 6.25 – Comparativo entre os difratogramas de raios X da massa 2 sem adição de rejeito sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde.

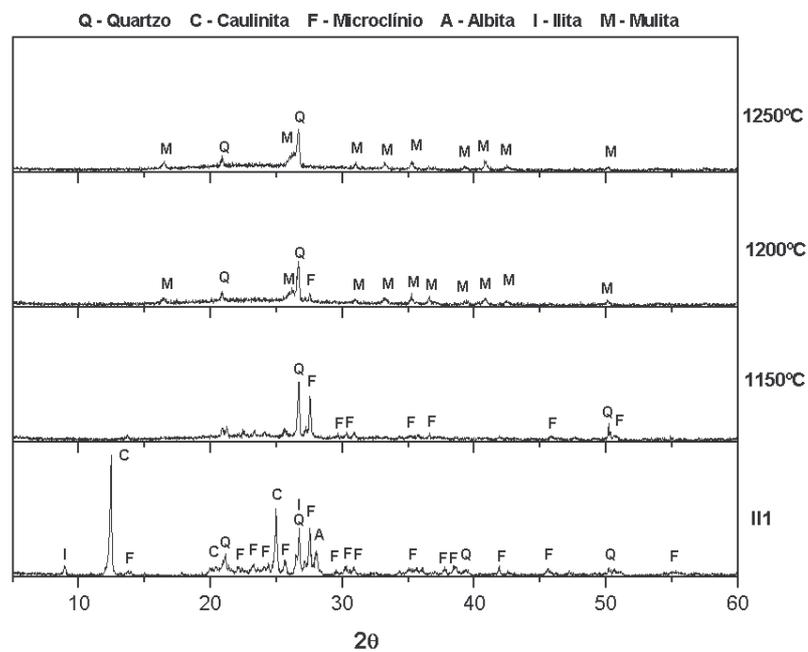


Figura 6.26 – Comparativo entre os difratogramas de raios X da massa 2 com adição de 10% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde.

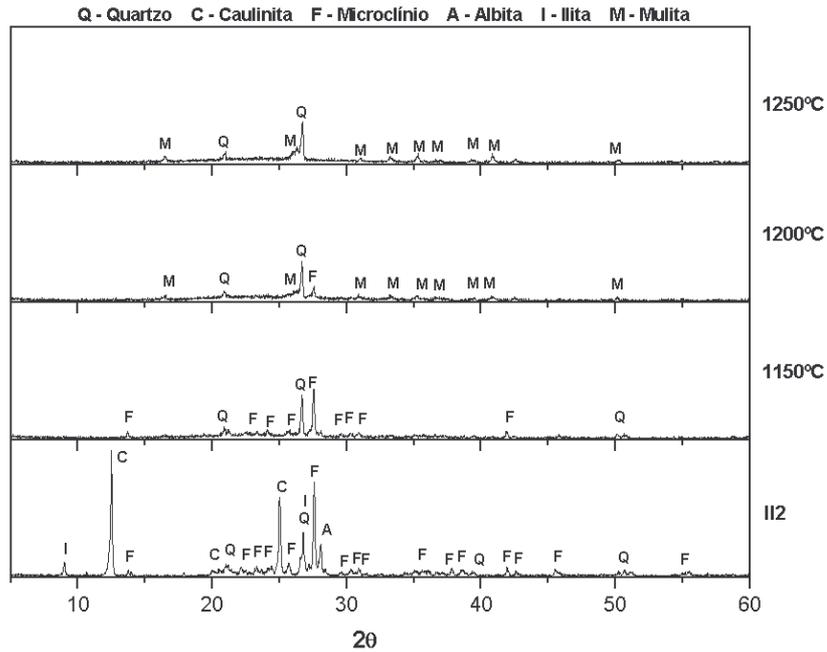


Figura 6.27 – Comparativo entre os difratogramas de raios X da massa 2 com adição de 20% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde.

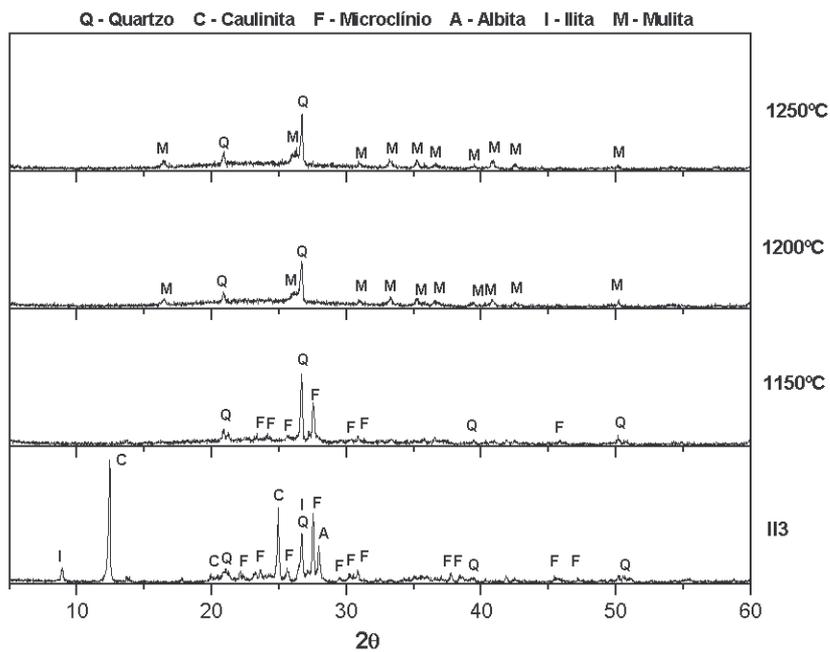


Figura 6.28 – Comparativo entre os difratogramas de raios X da massa 2 com adição de 30% de chamote sinterizada às temperaturas de 1150, 1200 e 1250°C, e a verde.

É possível observar que a presença do chamote não provocou muitas mudanças na microestrutura do material queimado, independente da temperatura e do teor da adição de rejeitos. Contudo pode-se verificar que à medida que o chamote é incrementado à massa 2, o feldspato vai se dissolvendo cada vez mais em temperatura menos elevadas, por exemplo: nota-se que na Figura 6.25 (sem adição de rejeito) que o feldspato aparece até a temperatura de 1200°C e na Figura 6.26 e 6.27 (com adição de 10% e 20% de chamote) o feldspato também aparece até 1200°C, contudo com uma intensidade do pico menor que da amostra sem chamote, o que indica que o feldspato, embora esteja presente, está em menor quantidade. Isso é melhor notado na Figura 6.28 (com adição de 30% de rejeito) quando se observa que o feldspato só aparece até a temperatura de 1150°C.

6.3. Caracterização Física dos Corpos Sinterizados

Neste subitem serão apresentados os resultados das análises físicas, realizadas em cada corpo-de-prova estudado, tais como: retração linear de queima (RL), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), massa específica aparente (MEA), módulo de ruptura à flexão (MRF).

6.3.1. Retração Linear de Queima

As Figuras 6.29 e 6.30 apresentam o comportamento da retração linear dos corpos-de-prova produzidos a partir da formulação de massa 1, que é composta de 45% de feldspato, 35 % de argila, 17% de caulim e 3% de talco (I0), com variações de 10% (I1), 20% (I2) e 30% (I3) de chamote.

A massa de partida (I0), na menor temperatura de queima testada apresentou um dos valores mais baixos para a retração (3,2%). Na temperatura de 1200°C, seu valor se torna o menor de todos (8,92%) contudo, apresenta a maior retração (11,16%) entre os valores dos corpos com adição de chamote, na temperatura máxima de queima, 1250°C. As amostras com adição de chamote, tiveram aumentadas suas retrações lineares, de acordo com aumento de temperatura, sem trocar de posição

umas com as outras. Por sinal, observa-se que a retração aumenta, de acordo com a concentração de chamote. Isso deve ocorrer, devido à maior formação de fase líquida durante a queima, possibilitada pela maior concentração de ilita, contida no chamote. Contudo, para os teores de 20% e 30%, nota-se uma certa estabilidade dimensional entre as temperaturas de 1200 e 1250°C.

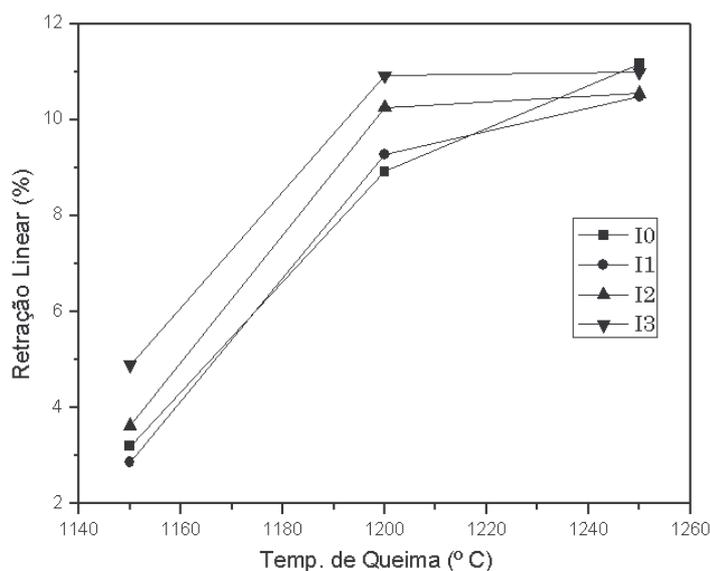


Figura 6.29 – Retração linear dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas.

A Figura 6.30 comprova a informação acerca da estabilidade dimensional entre 1200°C e 1250°C, uma vez que se observa pouco aumento na faixa de 20% a 30% nas temperaturas referidas. O gráfico ainda demonstra que somente para a temperatura de queima de 1200°C houve aumento constante de retração linear em função da adição de chamote. Para as outras temperaturas, verifica-se que há sempre um decréscimo no valor da retração, para 10% de chamote, mas passa a aumentar a partir de 20% de adição do rejeito. Ainda se pode perceber que tanto para a temperatura de 1200°C como para a de 1250°C, a retração foi praticamente a mesma, para o valor de 30% de chamote.

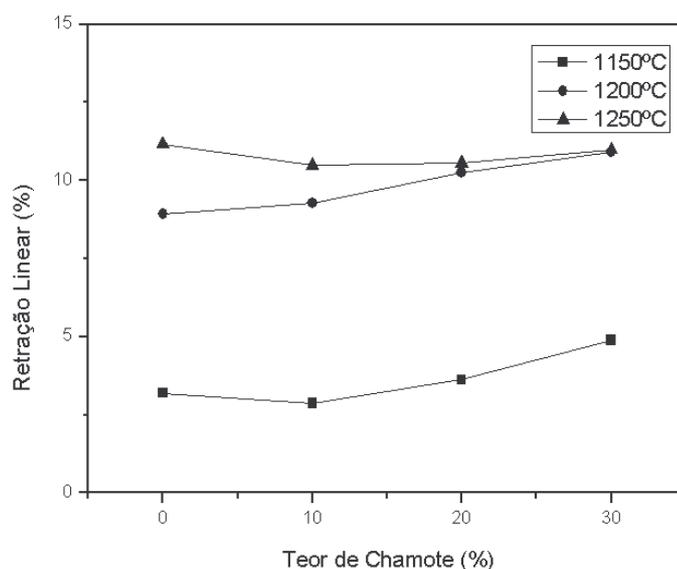


Figura 6.30 – Retração linear dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote.

As Figuras 6.31 e 6.32 apresentam o comportamento da retração linear dos corpos-de-prova produzidos a partir da formulação de massa 2, que é composta de 40% de feldspato, 40% de argila e 20% de caulim (II0), com variações de 10% (II1), 20% (II2) e 30% (II3) de chamote.

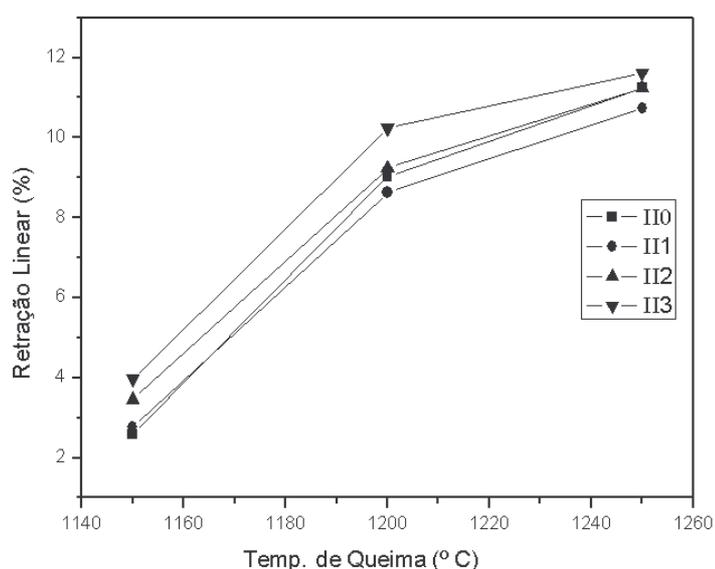


Figura 6.31 – Retração linear dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas.

De acordo com a Figura 6.31, verifica-se que da mesma forma que ocorreu com os corpos-de-prova confeccionados a partir da massa 1, a retração aumentou de acordo com a temperatura, o que é normal, bem como com o aumento da concentração de chamote nos corpos-de-prova. Contudo, neste caso, verifica-se que a amostra de partida (II0), não apresentou maior retração na temperatura de 1250°C. Observa-se também que os corpos-de-prova com adição de 20% e 30% de chamote, sofreram aumento da retração linear entre 1200°C (10,24%) e 1250°C (11,62%), diferentemente da formulação I, que permaneceu estabilizada.

As Figuras 6.31 e 6.32 demonstram claramente que com o aumento da temperatura de queima, a retração sempre aumenta, independente do teor de chamote. Na Figura 6.32 verifica-se que somente para a temperatura de 1150°C houve um aumento da retração, de acordo com a adição de chamote. Contudo, para as temperaturas de 1200°C e 1250°C, estas provocam uma diminuição na retração linear nos corpos-de-prova para o teor de 10% de chamote.

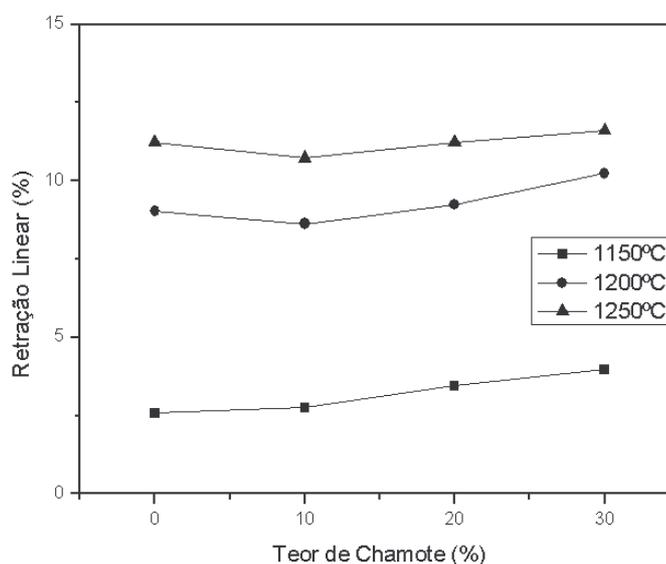


Figura 6.32 – Retração linear dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote.

A Tabela 6.3 apresenta os valores de retração linear (%) para cada série de amostras queimadas nas três temperaturas.

Tabela 6.3 – Retração linear dos corpos-de-prova sinterizados a partir das formulações 1 e 2, nas temperaturas estudadas.

Temperatura	Retração Linear (%)			
	I	I – 10%	I – 20%	I – 30%
1150°C	3,20 ± 0,31	2,87 ± 0,48	3,63 ± 0,50	4,89 ± 1,24
1200°C	8,92 ± 0,50	9,28 ± 0,16	10,26 ± 0,19	10,92 ± 0,21
1250°C	11,16 ± 0,11	10,48 ± 0,13	10,55 ± 0,05	10,99 ± 0,23
	II	II – 10%	II – 20%	II – 30%
1150°C	2,59 ± 0,49	2,76 ± 0,59	3,46 ± 0,49	3,97 ± 0,54
1200°C	9,03 ± 0,26	8,63 ± 0,34	9,24 ± 0,28	10,24 ± 0,44
1250°C	11,24 ± 0,18	10,74 ± 0,09	11,24 ± 0,17	11,62 ± 0,40

Como se pode perceber, para as temperaturas de 1150 e 1200°C, a presença do chamote nas duas formulações de partida aumentou a retração linear de queima, em quase todos os teores adicionados, exceto para a adição de 10% na formulação 2. Conforme foi comentado no resultado da ATD do chamote (item 6.13, Figura 6.15), o argilomineral ilita inicia sua fusão em torno de 1050°C. Com isso, acredita-se que a ilita presente no chamote tenha penetrado nos poros existentes, ocorrendo uma retração maior da amostra, para essas duas temperaturas. Por isso, em todos os casos, exceto no já mencionado, o teor de chamote, rico em ilita, influenciou na retração, de forma progressiva. Contudo se pode verificar que a 1250°C a mistura 1, sem adição de rejeito, foi a que mais retraiu. Acredita-se que isso tenha ocorrido, pela maior presença de feldspato potássico, que segundo **Sánchez et al. (1997)**, este só tem início de sua fusão a partir de 1180°C. Desta forma, como o teor de Feldspato na mistura 1 é superior ao do chamote na mistura 1 com adição de rejeito de 30%, nessa temperatura, este foi mais significativo que a ilita presente no chamote, no fenômeno de retração linear de queima. Já na mistura 2, verifica-se que a 1250°C a que apresentou maior retração foi a que continha 30% de chamote. Neste caso, acredita-se que os efeitos de retração ocasionados pelos fundentes (ilita no chamote, e microclínio no Feldspato) se somaram e proporcionaram maior retração na amostra da mistura 2 com 30% de rejeito.

6.3.2. Absorção de Água

As Figuras 6.33 e 6.34 apresentam o comportamento da absorção de água dos corpos-de-prova produzidos a partir da formulação de massa 1, com a adição do chamote, conforme foi descrita anteriormente.

De acordo com o que se verifica na Figura 6.33, os valores de absorção de água, para cada formulação, diminuem à medida que a temperatura máxima de queima aumenta. Observa-se que há grande diferença no valor da absorção (praticamente o dobro) entre os corpos da massa de partida (I0) – 16,81% – para os corpos-de-prova com adição de chamote (I1, I2 e I3) – ~ 8,38% – , queimados na temperatura de 1150°C. Para a temperatura de queima de 1200°C, nota-se facilmente que à medida que o chamote é incorporado na formulação do corpo-de-prova, sua absorção de água diminui. Já à temperatura de 1250°C observa-se uma nova reaproximação dos valores de absorção de água de todas as formulações, incluindo a formulação de partida. Os corpos-de-prova da massa de partida apresentaram valor acima (0,67%) do limite máximo de absorção de água para um grês porcelanato, que é de 0,5%. Contudo, os corpos com adição de chamote apresentaram seus valores de absorção de água abaixo do limite máximo. I-10 = 0,46%; I-20 = 0,26%; e I-30 = 0,20%. Com esses valores, que embora estejam bem próximos uns dos outros, ainda se consegue observar que para a temperatura de queima de 1250°C, a quantidade de chamote influencia na absorção da água de forma decrescente, ou seja, quanto mais chamote, menos absorção de água.

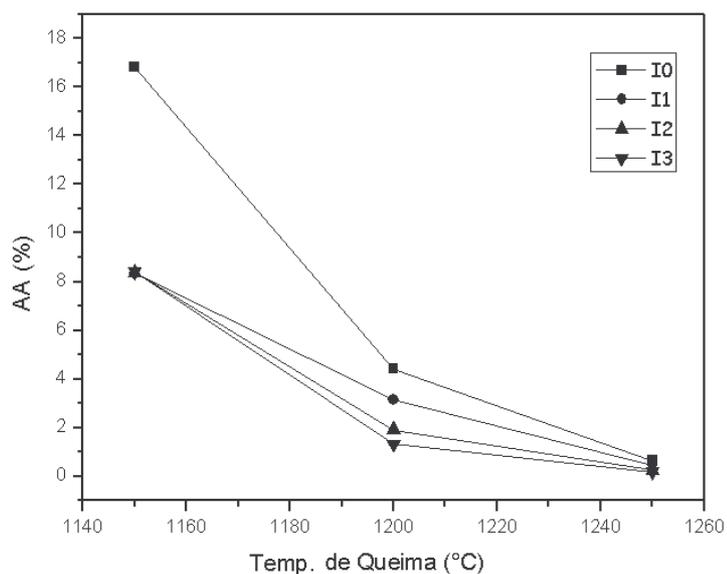


Figura 6.33 – Absorção de água dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas.

A Figura 6.34 comprova a informação de que à medida que o chamote é incorporado à formulação de partida, os valores de absorção de água diminuem, para temperaturas de 1200°C e 1250°C. Contudo, para a temperatura de 1150°C, nota-se uma certa estabilidade no valor da absorção, independente da quantidade de chamote, exceto quando este não está presente na amostra, devido ao fato de, como foi citado anteriormente, o valor de absorção de água para uma amostra contendo chamote entre a faixa de 10 a 30% é praticamente a metade da amostra com composição similar, sem adição de chamote.

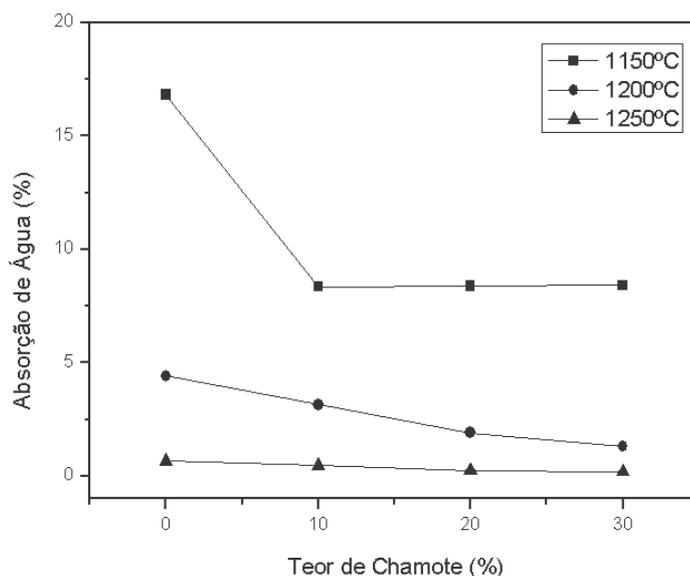


Figura 6.34 – Absorção de água dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote.

De uma forma similar às variações da absorção de água da massa 1, ocorreu com a massa 2. Observa-se pela Figura 6.35 que para cada formulação, os valores de absorção de água também diminuem à medida que a temperatura máxima de queima aumenta.

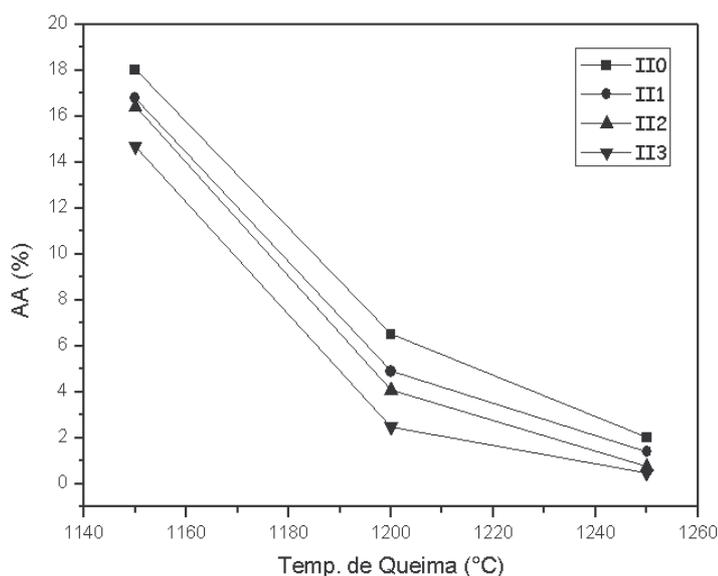


Figura 6.35 – Absorção de água dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas.

Já na Figura 6.36 pode-se perceber que quanto mais chamote foi adicionado, menor foi a absorção de água, visto que todas as curvas estão decrescentes. Observa-se assim que os porcelanatos confeccionados a partir da massa dois sem adição de chamote (II0) e com adição de 10 (II-10) e 20% (II-20) apresentaram AA acima (2,03%, 1,41% e 0,77%) do limite máximo de absorção de água para um grês porcelanato, que é de 0,5%. Contudo, os corpos com adição de chamote em 30% (II-30) apresentaram seus valores de absorção de água um pouco abaixo do limite máximo (II-30 = 0,48%). Com esses valores, que embora na maioria estejam acima do valor permitido para um grês porcelânico, se consegue observar facilmente que para todas as temperaturas de queima, a quantidade de chamote influencia também na absorção da água de forma decrescente.

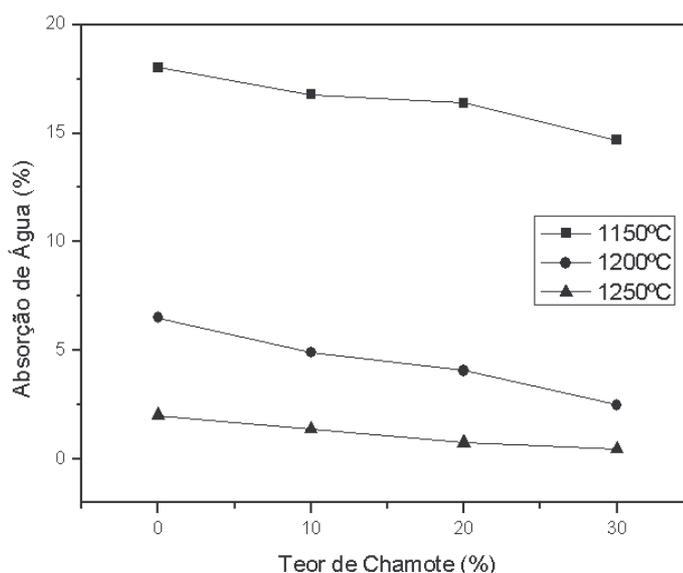


Figura 6.36 – Absorção de água dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote.

Para os resultados de Absorção de Água, pôde-se observar que para as duas formulações de partida, a formulação 1 foi a que melhor resultados obteve com a adição de chamote, uma vez que para todos os teores de chamote incrementado à massa, quando queimado a 1250°C, apresentou AA abaixo de 0,5%, enquanto que

para a massa 2, somente a adição de 30% de chamote, quando queimado a 1250°C, apresentou valor abaixo de 0,5% de AA.

Foi na temperatura de 1250°C que ocorreram os fenômenos de maior fechamento da porosidade aberta, conforme se pode concluir pelos resultados de AA. Contudo se observa que para as formulações a partir da mistura 1, os valores de AA para essa temperatura máxima de queima, se aproximam. Acredita-se que isso se dê nas amostras com rejeito, pela maior fundência da ilita contida no chamote. Já na mistura 1 sem rejeito, o maior fechamento da porosidade aberta se deu devido a temperatura de queima ter sido superior à da fusão do feldspato potássico, que associado ao talco, teve a possibilidade de ter diminuída a sua viscosidade e ocorrendo o fechamento dos poros abertos pelas forças de capilaridade.

Na mistura 2 não se observa a mesma aproximação entre os valores de AA quando foram sinterizadas a 1250°C. Neste caso, acredita-se que a ausência do talco foi o principal agente, uma vez que sem ele, o feldspato encontrou menos facilidade para fundir, uma vez que o talco diminui o ponto eutético entre este e o feldspato (BIFFI, 2002). Assim, os teores de chamote não eram suficientes para auxiliar a formação do ponto eutético com o feldspato, nem suficiente, para sozinho fechar toda a porosidade aberta necessária para se ter um grês porcelanato, exceto na adição de 30%.

A Tabela 6.4 apresenta os valores de absorção de água (%) para cada série de amostras queimadas nas três temperaturas.

Tabela 6.4 – Absorção de água dos corpos-de-prova sinterizados a partir das formulações 1 e 2, nas temperaturas estudadas.

Temperatura	Absorção de água (%)			
	I	I – 10%	I – 20%	I – 30%
1150°C	16,81 ± 1,88	8,35 ± 0,57	8,38 ± 1,55	8,42 ± 2,10
1200°C	4,41 ± 1,53	3,14 ± 0,46	1,92 ± 0,42	1,33 ± 0,48
1250°C	0,67 ± 0,14	0,46 ± 0,10	0,26 ± 0,06	0,20 ± 0,06
	II	II – 10%	II – 20%	II – 30%
1150°C	18,03 ± 1,96	16,78 ± 0,35	16,40 ± 0,75	14,68 ± 1,01
1200°C	6,52 ± 2,30	4,90 ± 0,91	4,08 ± 0,56	2,50 ± 0,67
1250°C	2,03 ± 0,49	1,41 ± 0,17	0,77 ± 0,27	0,48 ± 0,23

6.3.3. Porosidade Aparente

Os resultados de Porosidade Aparente dos corpos-de-prova cerâmicos formulados a partir da massa 1 e da massa 2 com adição de chamote, estão apresentados nas Figuras 6.37 a 6.42.

Pode-se observar em todas as Figuras que as amostras sofrem muita influência, do ponto de vista da porosidade aparente, quando adicionado chamote à formulação, seja em qualquer uma das concentrações estudadas, seja em qualquer uma das massas de partida (1 e 2) e seja em qualquer temperatura de queima. As Figuras 6.37 e 6.39 demonstram bem essa influência, quando comparando as curvas para todas as formulações a partir da massa 1 e a partir da massa 2.

Ao observar-se a Figura 6.37 nota-se que a massa 1 apresenta PA de 30,25% para a queima a 1150°C, 9,80% para 1200°C e 1,57% para 1250°C, todas sem adição de chamote. Em contra partida observa-se que para todos os resultados das amostras a partir da massa 1 com adição de Chamote, os valores encontram-se abaixo de 0,5%, independente do teor e da temperatura máxima de queima.

A Figura 6.38 apresenta apenas as curvas de Porosidade Aparente para as amostras sinterizadas a partir da massa 1 com adição de chamote. Essa curva se fez necessária para se distinguir a diferença provocada na PA, não mais pela adição ou não de rejeito, mas sim, pelo teor de rejeitos incorporados à massa 1. Com isso se pode verificar que, embora os valores de PA estejam bem próximos para cada faixa de temperatura máxima de queima, o teor de chamote também influencia no valor de PA, exceto para a temperatura de 1250°C. Observa-se que para a temperatura de 1150°C obteve-se valores de PA iguais a 0,29%, 0,28% e 0,26%, para os teores de 10%, 20% e 30% de chamote, respectivamente. Para a temperatura de 1200°C, os valores encontrados foram de 0,07%, 0,05% e 0,03%, também para os teores de 10%, 20% e 30%. Para a temperatura máxima de queima de 1250°C, a variação foi bem baixa para os teores diferentes de chamote. Para 10% e 20%, a PA foi de 0,1% e para 30% a PA foi de 0,005%.

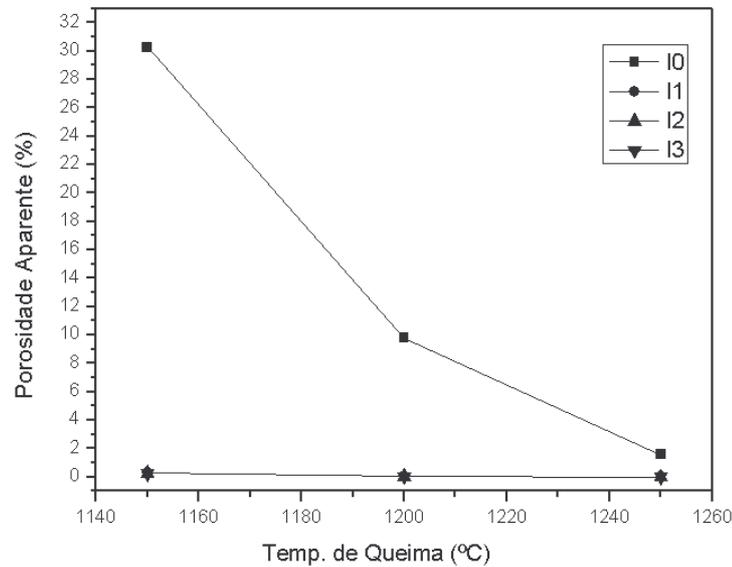


Figura 6.37 – Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas.

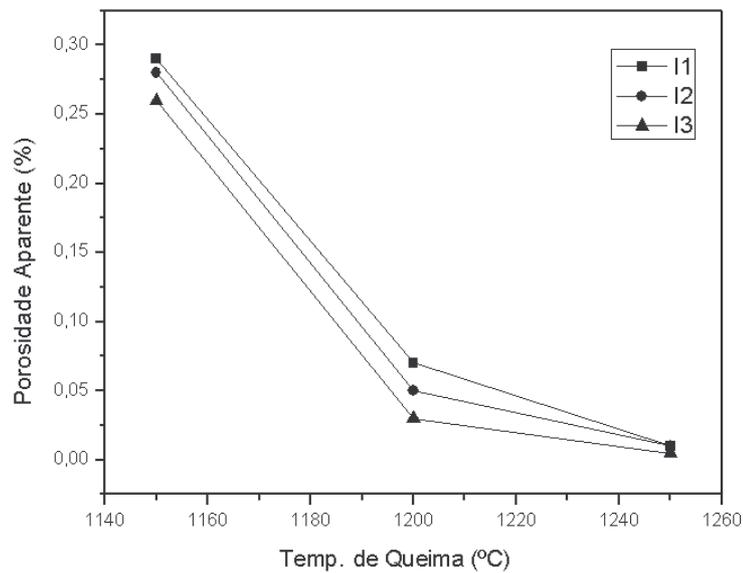


Figura 6.38 – Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas (somente com adição de chamote).

Observar-se na Figura 6.39 que os valores de Porosidade Aparente para as massas com adição de chamote, a partir da formulação 2, encontram-se todos abaixo de 0,5%, independentes do teor e da temperatura máxima de queima, enquanto que os resultados de PA para as amostras sem adição do rejeito foram: 31,80%, 14,05% e 4,76% para as temperaturas de queima de 1150°C, 1200°C e 1250°C, respectivamente.

A Figura 6.40 apresenta apenas as curvas de Porosidade Aparente para as amostras sinterizadas a partir da massa 2 com adição de chamote. Essa curva também se fez necessária para se distinguir a diferença provocada na PA pelo teor de chamote incorporado à massa 2. Nesse caso também foi possível perceber que o teor de adição do chamote à massa 2, influenciou os valores de PA. Observa-se que para a temperatura de 1150°C obteve-se valores de PA iguais a 0,32%, 0,30% e 0,29%, para os teores de 10%, 20% e 30% de chamote, respectivamente. Para a temperatura de 1200°C, os valores encontrados foram de 0,11%, 0,09% e 0,06%, também para os teores de 10%, 20% e 30%. Para a temperatura máxima de queima de 1250°C, a variação também foi bem baixa para os teores diferentes de chamote. Os valores de PA para 10%, 20% e 30%, foram de 0,03%, 0,02% e 0,01%, respectivamente.

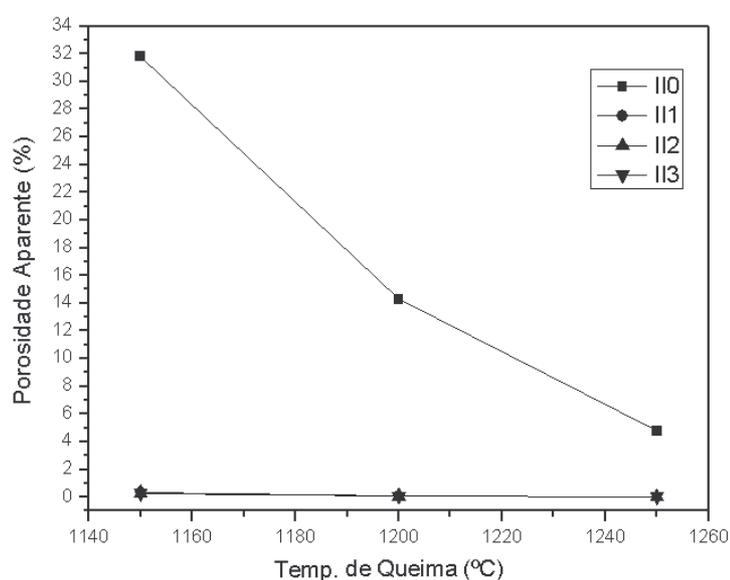


Figura 6.39 – Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas.

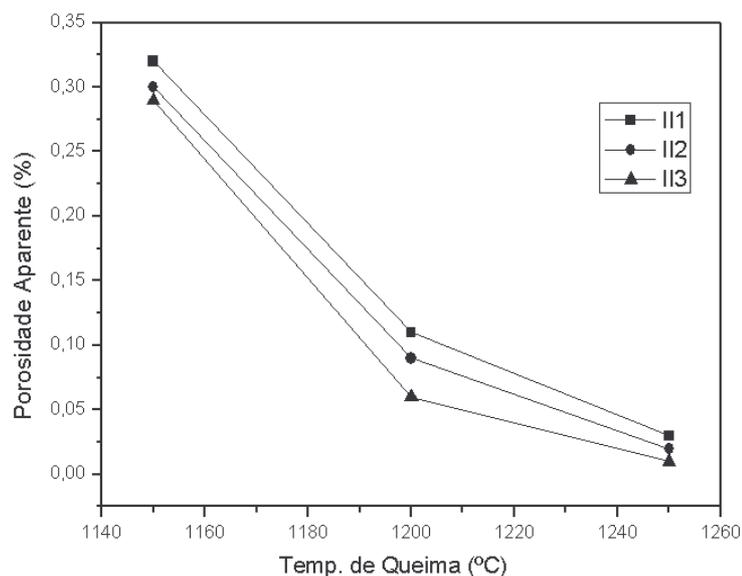


Figura 6.40 – Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas (somente com adição de chamote).

As Figuras 6.41 e 6.42 demonstram mais claramente que à medida que o chamote é incorporado às massas, sejam elas a 1 ou a 2, os valores de porosidade baixam para menos de 0,5%, o que de fato é positivo, visto que, porosidade alta em grês porcelanato, assim como alta absorção de água, é algo ruim.

Desta forma, acredita-se que a porosidade tenha sido diminuída significativamente, devido à forte presença de material fundente, que provocou o fechamento da porosidade aberta, mesmo para as temperaturas mais baixas estudadas.

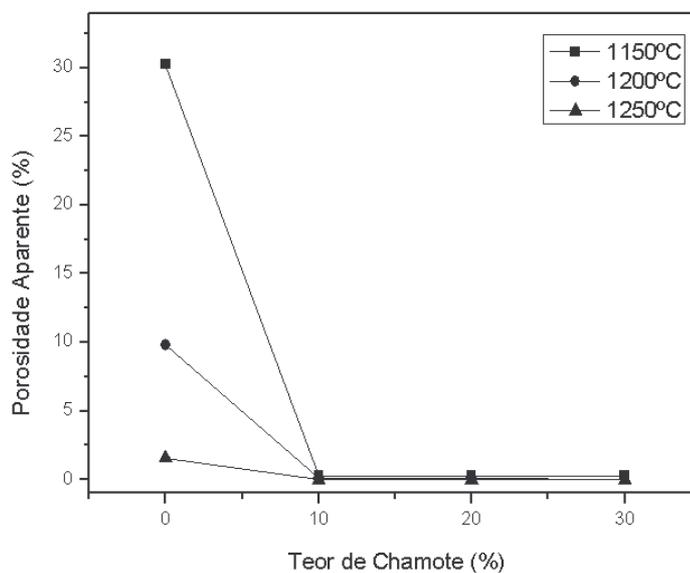


Figura 6.41 – Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote.

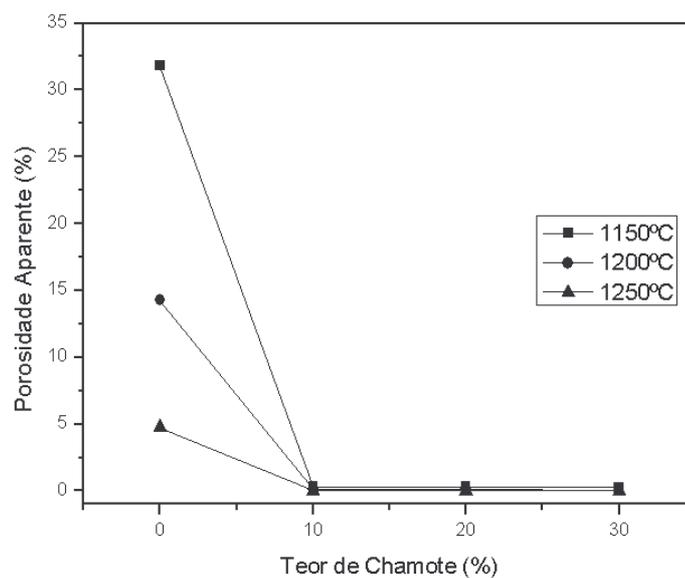


Figura 6.42 – Porosidade Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote.

A Tabela 6.5 apresenta os valores de porosidade aparente (%) para cada série de amostras queimadas nas três temperaturas.

Tabela 6.5 – Porosidade aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir das formulações 1 e 2, nas temperaturas estudadas.

Temperatura	Porosidade Aparente (%)			
	I	I – 10%	I – 20%	I – 30%
1150°C	30,25 ± 2,34	0,29 ± 0,01	0,28 ± 0,02	0,26 ± 0,03
1200°C	9,80 ± 2,24	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,05 ± 0,01
1250°C	1,57 ± 0,31	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,00
	II	II – 10%	II – 20%	II – 30%
1150°C	31,80 ± 2,34	0,32 ± 0,02	0,30 ± 0,01	0,29 ± 0,04
1200°C	14,28 ± 1,97	0,11 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,06 ± 0,01
1250°C	4,76 ± 1,07	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01

6.3.4. Massa Específica Aparente

As Figuras 6.43 a 6.46 apresentam o comportamento da massa específica aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir das massas 1 e 2 em função da temperatura máxima de queima e do teor de adição de rejeito de telhas. Em todas as amostras estudadas os valores obtidos para esta propriedade ficaram na faixa de 1,77 a 2,38g/cm³. Os valores mais baixos de MEA foram as das amostras confeccionadas a partir da massa 2, queimadas a temperatura de 1150°C, sem adição de rejeito. Já as amostras mais densas foram as confeccionadas a partir da massa 1 com 30% de chamote, queimadas a 1200°C e as confeccionadas a partir da massa 2 com 20% e 30% de chamote, queimadas a 1250°C.

A Figura 6.43 apresenta o valor obtido de MEA das amostras a partir da massa 1 com adição de 10%, 20% e 30 de chamote, em função da temperatura máxima de queima. Conforme se pode observar, para as massas sem chamote e com 10%, o aumento da MEA foi proporcional à temperatura, ou seja, à medida que a temperatura máxima de queima foi maior, a MEA também foi maior. Já para as amostras com 20% e 30% de chamote, nota-se um decréscimo no valor da MEA da temperatura 1200°C para a de 1250°C. Para as amostras a partir da massa 1, observou-se que o menor valor de MEA foi para as amostras sem adição de chamote na temperatura de 1150°C

(1,81g/cm³), enquanto que o maior valor foi para a amostra com 30% de chamote na temperatura de 1200°C (2,38 g/cm³).

O aumento do valor da MEA para todas as amostras, à medida que a temperatura de queima se eleva, está possivelmente ligado ao aumento da porosidade fechada das amostras com maiores teores de chamote. Isso pode ser observado na Figura 6.44. Verifica-se que para as queimas ocorridas nas temperaturas de 1200°C e 1250°C, ocorre um cruzamento entre essas duas curvas, quando atinge o teor de 20% de chamote.

O aumento de porosidade fechada pode ter ocorrido devido à alta concentração de constituintes fundentes, tais como talco, feldspato, e nesse caso, principalmente a ilita presente no chamote, visto que quando tais constituintes fundem, gases são gerados. Pelo fato da porosidade aberta já se encontrar bem pequena, os gases ficam situados no interior da amostra, gerando poros fechados contidos na fase vítrea. Isso faz com que o material deixe de retrair e comece a expandir, mantendo a mesma massa. Como resultado sua densidade diminui.

Além dos próprios gases gerados pela fusão dos elementos alcalinos, é possível que também gases tenham sido gerados pela oxidação de material orgânico ainda existente no chamote, devido ao processo de formação de coração negro nas telhas durante seu processo de fabricação, conforme já discutido na seção da análise térmica do chamote (Figura 6.14). De toda forma, o assunto voltará a ser abordado quando da análise da microestrutura dos corpos-de-prova sinterizados.

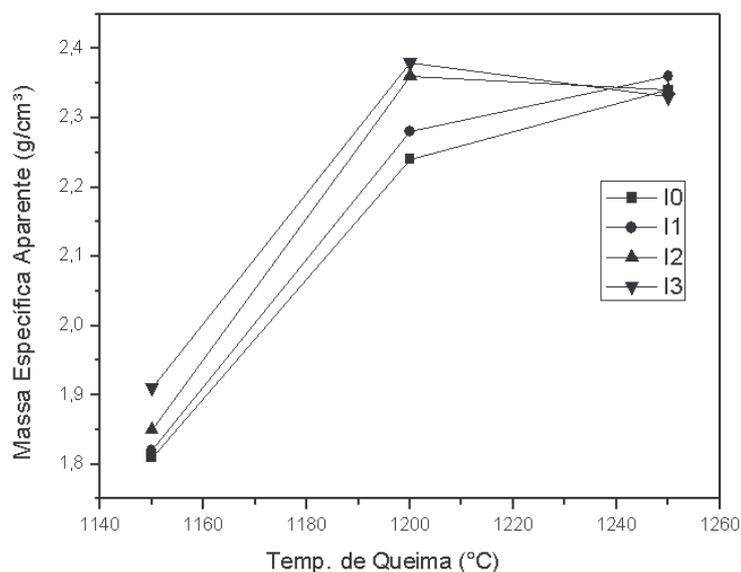


Figura 6.43 – Massa Específica Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas.

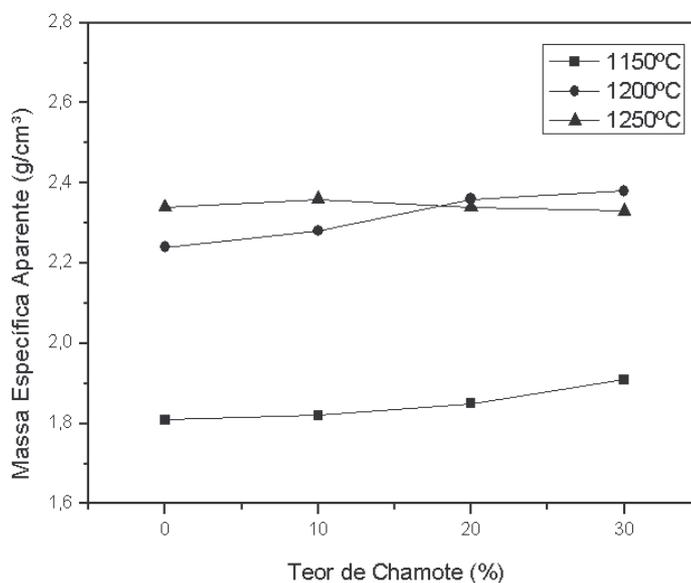


Figura 6.44 – Massa Específica Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote.

A Figura 6.45 apresenta o valor obtido de MEA das amostras a partir da massa 2 com adição de 10%, 20% e 30% de chamote, em função da temperatura máxima de queima. Conforme se pode verificar, diferentemente das amostras a partir da massa 1,

não houve decréscimo da MEA para cada formulação. Contudo na Figura 6.46 se pode observar, que para a mesma temperatura, variando o teor de chamote, não foi observado um crescimento contínuo da MEA. Das amostras confeccionadas a partir da massa 2, as que apresentaram menor valor de MEA, foram as que não tiveram adição de rejeito e que foram queimadas a temperatura de 1150°C (1,77 g/cm³), enquanto que o maior valor foi para as amostras com 20% e 30% de chamote queimadas a temperatura de 1250°C (2,38 g/cm³).

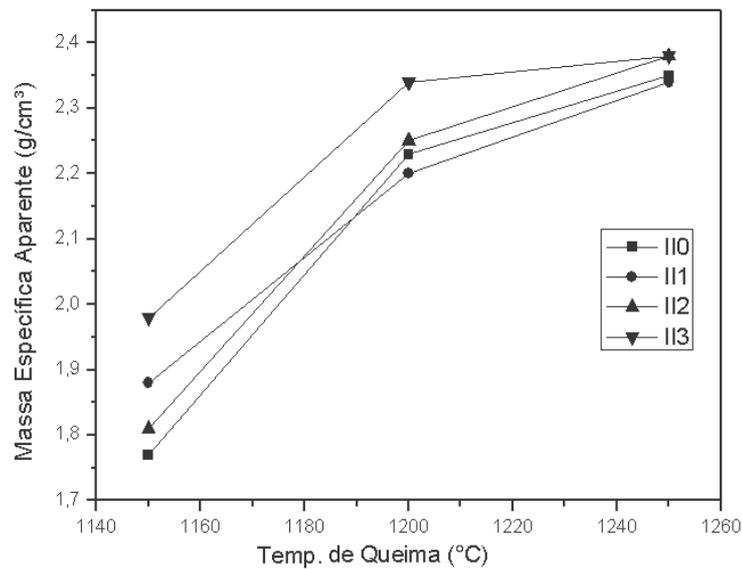


Figura 6.45 – Massa Específica Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas.

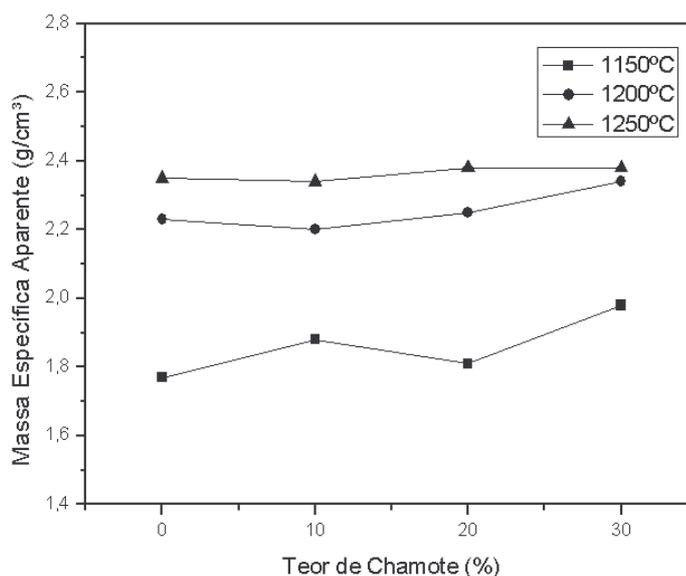


Figura 6.46 – Massa Específica Aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote.

Como se sabe, a norma europeia **EN 87, (1992)** que trata das definições e classificações de revestimentos, incluindo o grês porcelanato, determina que o grês porcelanato deve apresentar $MEA \geq 2,30\text{g/cm}^3$. Com isso, se verifica que para a queima a 1150°C , nenhuma amostra ficou acima desse valor. Já para 1200°C de temperatura máxima de queima, se observou que para a formulação 1, as amostras com 20% e 30% de rejeito apresentaram MEA acima do mínimo exigido, já para a formulação 2, somente as amostras com 30% de rejeito foram capazes de superar o valor exigido pela norma. Por outro lado, para a temperatura de 1250°C , todas as amostras, incluindo as que não tiveram adição de rejeito, superaram o valor de $2,30\text{g/cm}^3$ exigido pela EN 87.

A Tabela 6.6 apresenta os valores de massa específica aparente (g/cm^3) para cada série de amostras queimadas nas três temperaturas.

Tabela 6.6 – Massa específica aparente dos corpos-de-prova sinterizados a partir das formulações 1 e 2, nas temperaturas estudadas.

Temperatura	Massa Específica Aparente (g/cm ³)			
	I	I – 10%	I – 20%	I – 30%
1150°C	1,81 ± 0,06	1,82 ± 0,02	1,85 ± 0,05	1,91 ± 0,08
1200°C	2,24 ± 0,07	2,28 ± 0,02	2,36 ± 0,03	2,38 ± 0,02
1250°C	2,34 ± 0,04	2,36 ± 0,00	2,34 ± 0,02	2,33 ± 0,04
	II	II – 10%	II – 20%	II – 30%
1150°C	1,77 ± 0,06	1,88 ± 0,13	1,81 ± 0,02	1,98 ± 0,23
1200°C	2,23 ± 0,04	2,20 ± 0,04	2,25 ± 0,03	2,34 ± 0,04
1250°C	2,35 ± 0,04	2,34 ± 0,01	2,38 ± 0,01	2,38 ± 0,01

6.3.5. Tensão de Ruptura à Flexão

As Figuras 6.47 a 6.50 apresentam o comportamento da resistência mecânica à flexão dos corpos-de-prova em função da temperatura máxima de queima e da concentração de chamote nas duas formulações de partida. Em todas as formulações testadas, para a temperatura de 1150°C de queima, a variação da TRF foi de 5,78 a 10,73 MPa. Já para a temperatura de 1200°C foi de 19,05 a 27,00 MPa. Enfim, para a temperatura de 1250°C a variação foi de 21,82 a 30,10 MPa.

A Figura 6.47 apresenta os valores de tensão de ruptura para os corpos-de-prova preparados a partir da massa 1, com adição de chamote, em função da temperatura máxima de queima. Conforme se pode observar, nota-se claramente, que à medida que a temperatura de queima é elevada, a resistência mecânica à flexão dos corpos-de-prova também aumenta, independente da concentração de chamote. Nota-se que a menor resistência mecânica obtida para as formulações a partir da massa 1 foi a dos corpos-de-prova com 10% de chamote queimados em 1150°C, com o valor de 6,73 MPa e que a maior TRF foi para as amostra com 30% de chamote queimadas a 1250°C, com o valor de 30,10 MPa. Pode-se observar também, que as amostras sem adição de chamote queimadas a 1200°C apresentam TRF maior que as demais (29,80 MPa), para a mesma temperatura, e apresenta também TRF maior, quando

comparadas às outras formulações queimadas a 1250°C, exceto para a com 30% de chamote.

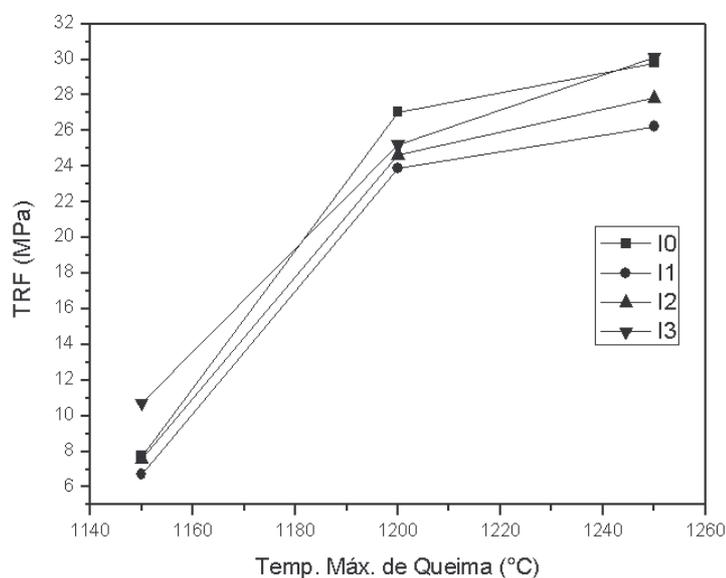


Figura 6.47 – Tensão de Ruptura à Flexão dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas.

A Figura 6.47 demonstra que à medida que o chamote vai sendo incorporado à massa de partida 1, os valores de TRF aumentam, exceto para o teor de 10%, quando comparado à formulação sem chamote. Observa-se também que para o teor de chamote de 30%, quando incorporado à massa 1, o valor da resistência mecânica à flexão, fica acima daquele apresentado pela amostra sem chamote para todas as temperaturas estudadas, exceto para a de 1200°C.

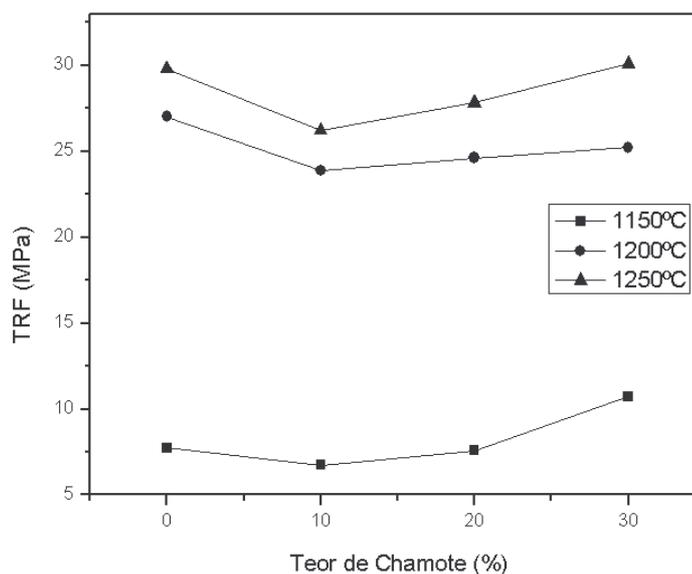


Figura 6.48 – Tensão de Ruptura à Flexão dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 1, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote.

A Figura 6.49 apresenta os valores de tensão de ruptura para os corpos-de-prova preparados a partir da massa 2, com adição de chamote, em função da temperatura máxima de queima. Conforme se pode observar, nota-se claramente, que, assim como ocorreu com as misturas a partir da formulação 1 com adição de rejeito, os corpos-de-prova queimados a partir da massa 2 apresentaram um crescimento da tensão de ruptura à flexão, à medida que a temperatura de queima é elevada, independente da concentração de chamote, exceto para as amostras sem adição do rejeito, que tiveram sua resistência diminuída de 26,84 MPa para 25,42 MPa entre as queimas de 1200 e 1250°C. Verifica-se que a menor TRF obtida para as formulações a partir da massa 2 foi a dos corpos-de-prova com 10% de chamote queimados em 1150°C, com o valor de 5,78 MPa e que a maior resistência mecânica à flexão foi também para as amostra com 30% de chamote queimadas a 1250°C, com o valor de 27,87 MPa.

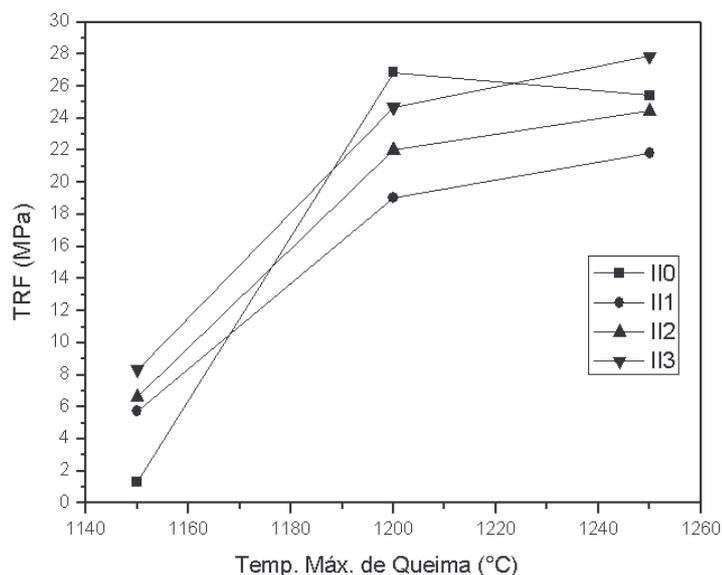


Figura 6.49 – Tensão de Ruptura à Flexão dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2 com adição de chamote, em função das temperaturas estudadas.

A Figura 6.50 apresenta resultado visual similar ao das amostras formuladas a partir da massa 1. Como se pode verificar, percebe-se que à medida que o chamote vai sendo incorporado à massa de partida 2, os valores de TRF também aumentam, exceto para o teor de 10%, quando comparado à formulação sem chamote. Também se observa que para o teor de 30% de rejeito de telhas, quando agregados à massa 2, o valor da resistência mecânica à flexão, fica acima do da amostra sem chamote para todas as temperaturas estudadas, exceto para a de 1200°C.

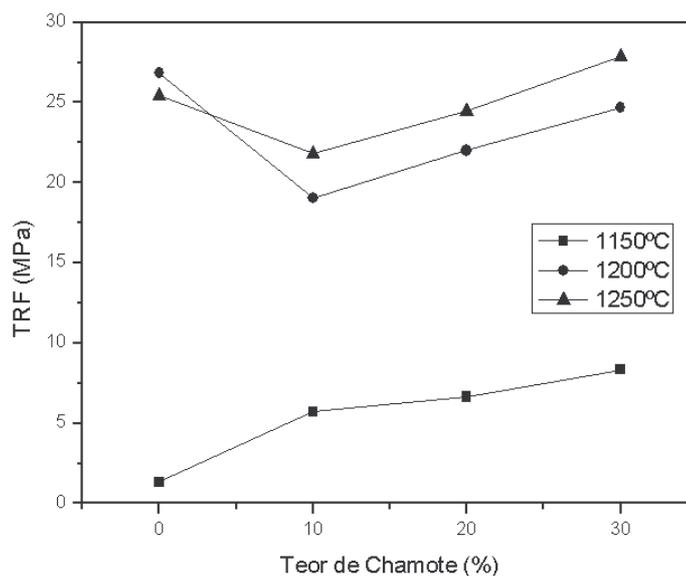


Figura 6.50 – Tensão de Ruptura à Flexão dos corpos-de-prova sinterizados a partir da massa 2, nas temperaturas estudadas, em função da adição de chamote.

A Tabela 6.7 apresenta os valores de tensão de ruptura à flexão (MPa) para cada série de amostras queimadas nas três temperaturas.

Tabela 6.7 – Tensão de ruptura à flexão dos corpos-de-prova sinterizados a partir das formulações 1 e 2, nas temperaturas estudadas.

Temperatura	Tensão de Ruptura à Flexão (MPa)			
	I	I – 10%	I – 20%	I – 30%
1150°C	7,75 ± 1,55	6,73 ± 0,95	7,59 ± 1,47	10,73 ± 2,00
1200°C	27,03 ± 2,54	23,89 ± 1,01	24,62 ± 2,37	25,22 ± 2,29
1250°C	29,81 ± 1,60	26,23 ± 1,31	27,82 ± 1,27	30,10 ± 1,41
	II	II – 10%	II – 20%	II – 30%
1150°C	1,33 ± 0,16	5,73 ± 0,64	6,64 ± 0,63	8,32 ± 1,48
1200°C	26,85 ± 1,65	19,05 ± 0,79	22,00 ± 1,07	24,69 ± 1,96
1250°C	25,42 ± 2,20	21,82 ± 1,13	24,45 ± 1,60	27,87 ± 0,80

6.3.6. Microestrutura dos Corpos-de-Prova Sinterizados

6.3.6.1. Avaliação das Porosidades Aberta e Fechada

As Figuras 6.51 e 6.52 apresentam as microestruturas das superfícies das amostras que apresentaram maior e menor porosidade aparente por formulação, para a queima de 1250°C, conforme se pode verificar na Tabela 6.5.

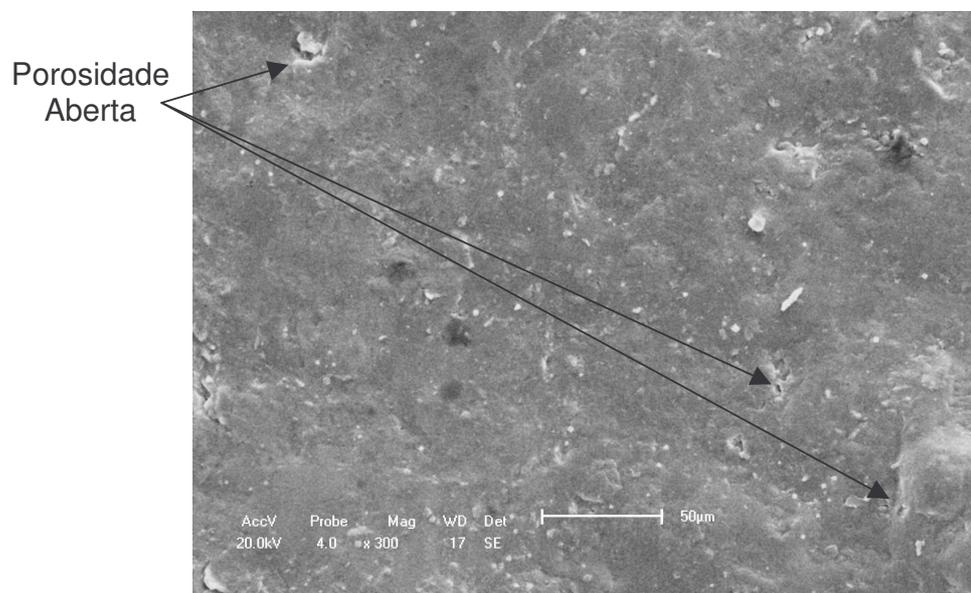


Figura 6.51 – Micrografia por MEV da superfície do corpo-de-prova a partir da formulação 1 sem adição chamote, sinterizado a 1250°C.

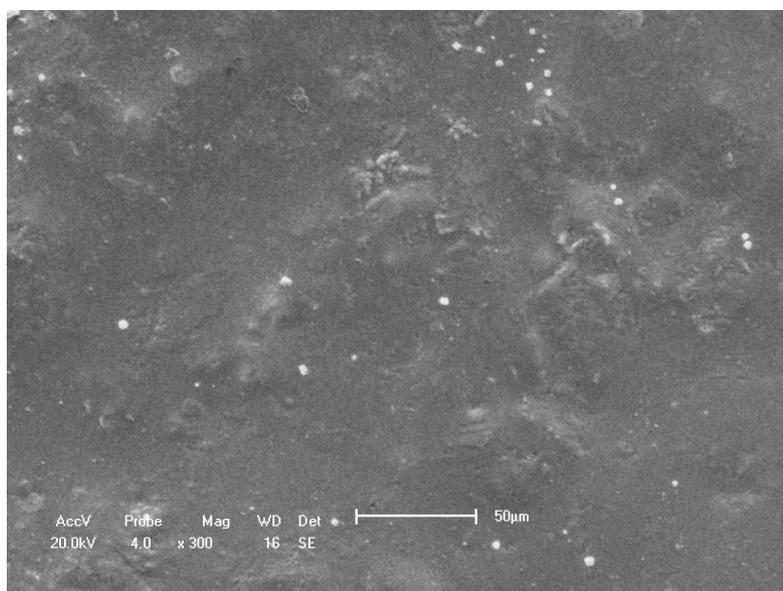


Figura 6.52 – Micrografia por MEV da superfície do corpo-de-prova a partir da formulação 1 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C.

Como se pode visualizar, observa-se que a amostra a partir da formulação 1 sem adição de rejeito (Figura 6.51) apresenta superfície mais rugosa que a amostra com adição de 30% de chamote (Figura 6.52). Isso se dá, provavelmente, pelo fato de a amostra com rejeito apresentar mais teor de fundentes, o que proporciona maior fase líquida durante o processo de sinterização. Assim, a parte mais lisa é um indicativo de que mais fase vítrea foi formada durante a queima. Observa-se também que a amostra sem adição de chamote apresenta porosidade aberta, enquanto que a amostra com 30% de rejeito não, para um mesmo aumento.

As Figuras 6.53 e 6.54 apresentam as micrografias por MEV, na superfície de fratura das amostras a partir da formulação 1 sem rejeito e com adição de 30% deste.

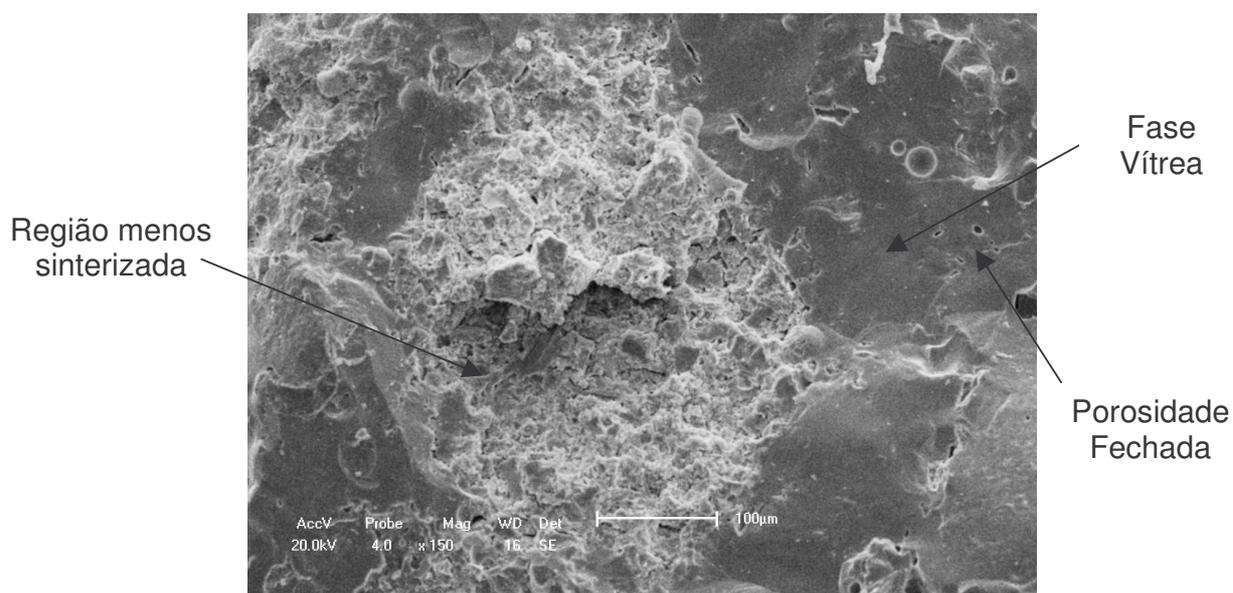


Figura 6.53 – Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 1 sem adição de chamote, sinterizado a 1250°C.

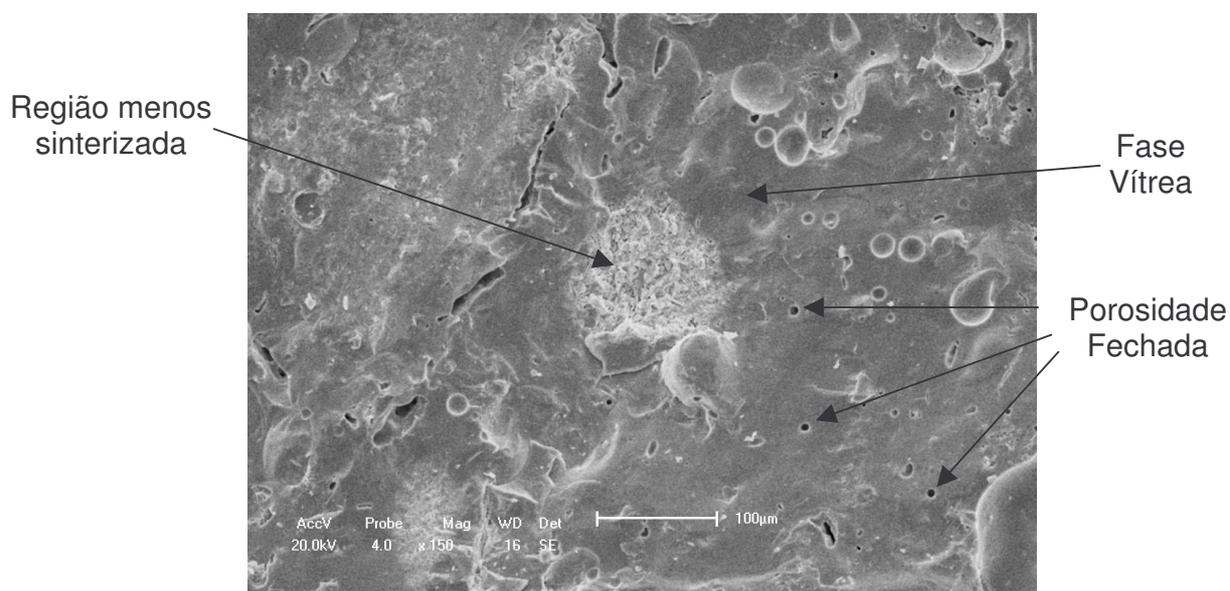


Figura 6.54 – Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 1 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C.

De acordo com as Figuras 6.53 e 6.54 verifica-se que a superfície de fratura analisada, da amostra a partir da formulação 1 sem adição de rejeito, apresenta uma região com menor quantidade de fase vítrea, quando comparado à amostra com adição

de 30% de chamote, para um mesmo aumento (150 vezes). Contudo, se observa algo inverso do que ocorre para a superfície externa das amostras. Observa-se que a quantidade de poros (porosidade fechada) da amostra sem adição de rejeitos é menor, que a com 30% de chamote. Acredita-se que isso pode se dar devido ao fato de a amostra com rejeito possuir mais fundentes, o que provoca a liberação de mais gases provenientes da decomposição das inclusões ricas em voláteis, segundo **Muñoz et al., (2002)**, ocasionando assim o surgimento de mais porosidade fechada. Isso por que uma vez que a porosidade aberta já não mais está presente na amostra, os gases não encontram caminho para serem liberados da parte interna do corpo-de-prova. Por isso talvez, observa-se que a MEA da amostra sem rejeito é mais elevada que a com 30% de chamote.

As Figuras 6.55 e 6.56 apresentam a superfície das amostras a partir da formulação 2 sem adição de chamote e com 30% de rejeito.

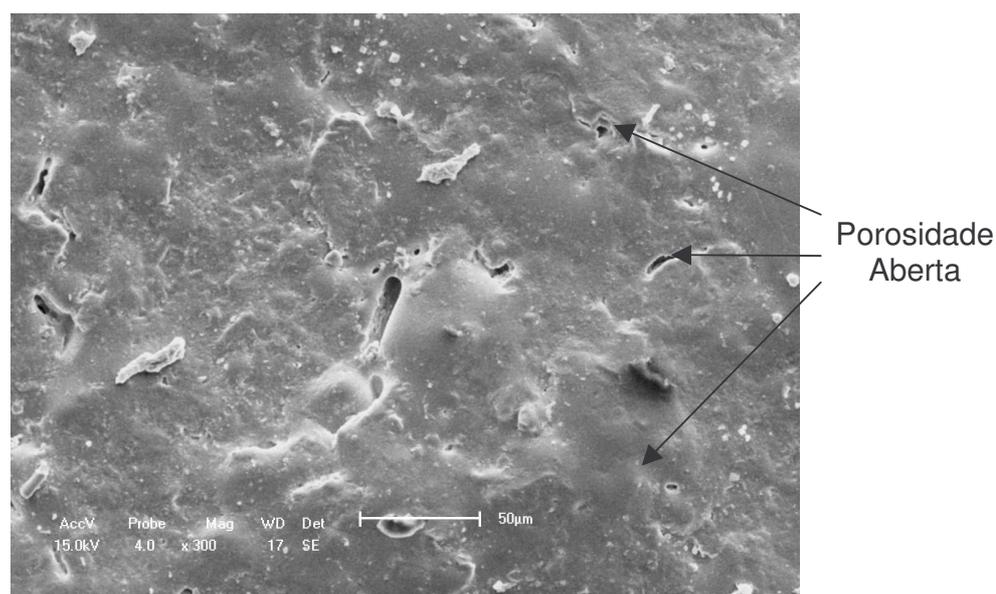


Figura 6.55 – Micrografia por MEV da superfície do corpo-de-prova a partir da formulação 2 sem adição de chamote, sinterizado a 1250°C.

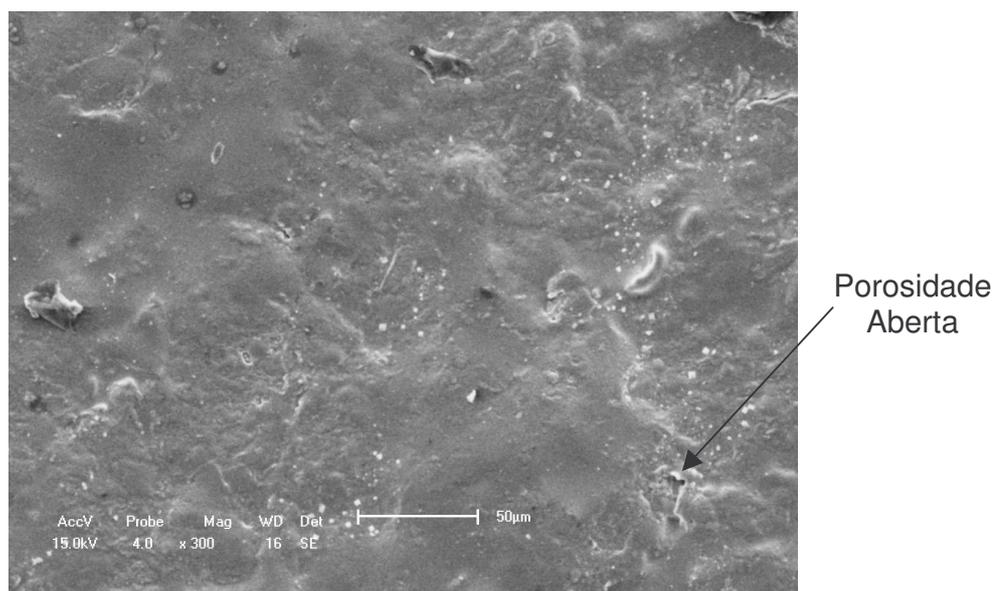


Figura 6.56 – Micrografia por MEV da superfície do corpo-de-prova a partir da formulação 2 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C.

É possível verificar que a amostra sem adição de rejeito (Figura 6.55) possui uma porosidade aberta bem maior que a amostra com 30% de chamote (Figura 6.56). Justamente por isso, essas duas imagens demonstram de forma visual o porquê que a amostra 2 sem adição de chamote absorve mais água e apresenta porosidade aparente mais elevada que a amostra 2 com 30% de rejeito.

Conforme se pode verificar nas Figuras 6.57 e 6.58, observa-se que a amostra 2 (Figura 6.57) sem adição de rejeito apresentou um maior volume de regiões não vitrificadas enquanto que a com 30% de chamote (Figura 6.58) apresentou a superfície de fratura constituída praticamente de fase vítrea, o que indica que a adição de chamote influencia na fusão da amostra formulada a partir da mistura 2.

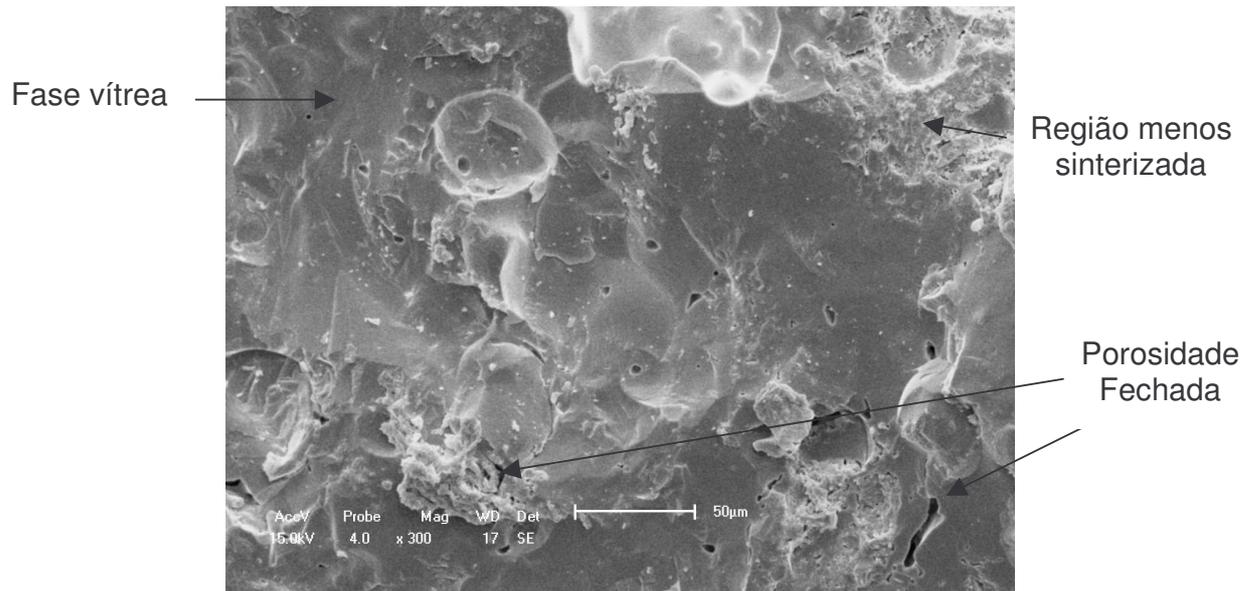


Figura 6.57 – Micrografia por MEV com da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 2 sem adição de rejeito, sinterizado a 1250°C.

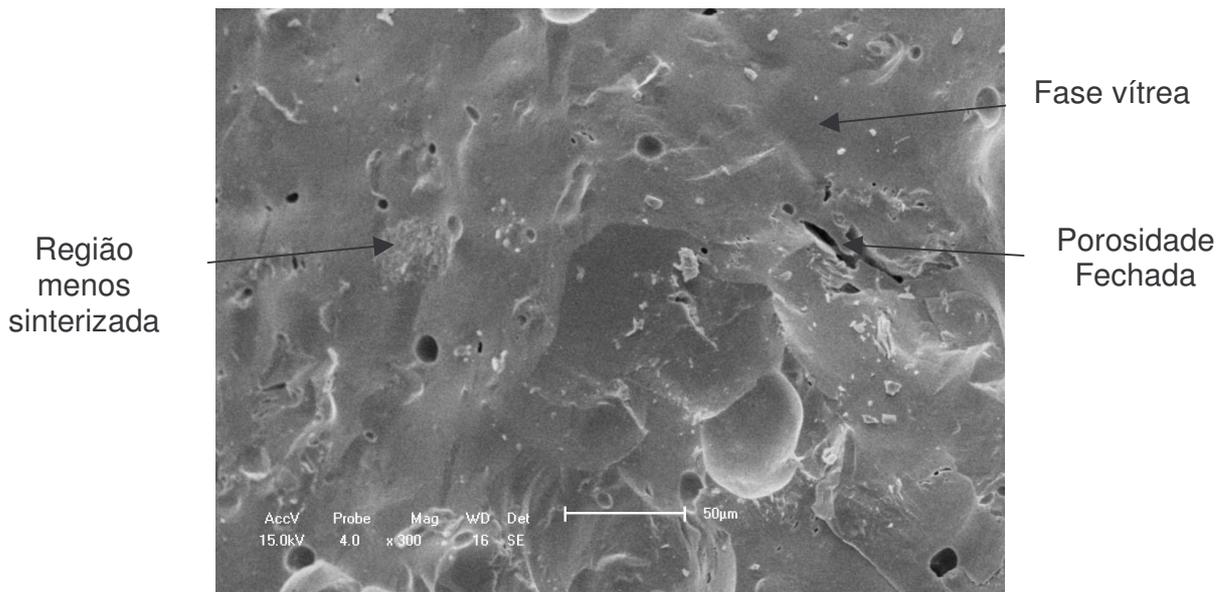


Figura 6.58 – Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 2 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C.

6.3.6.2. Avaliação da Mulita

As Figuras 6.59 a 6.64 apresentam a superfície de fratura atacada com HF a 2% em H₂O das amostras a partir das formulações 1 e 2 com 30% de adição de chamote, nas temperaturas de queima de 1150, 1200 e 1250°C.

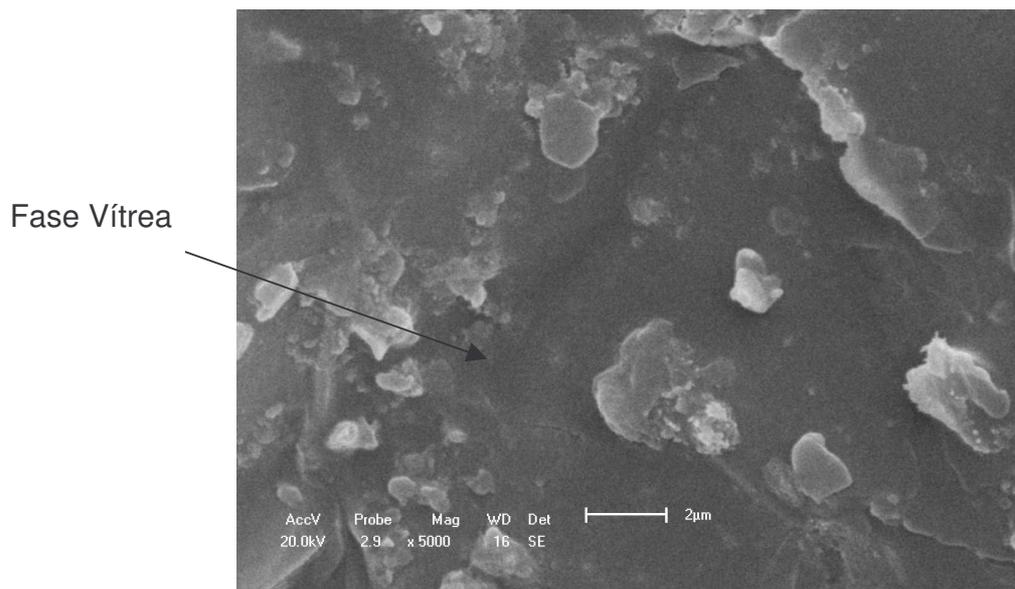


Figura 6.59 – Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 1 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1150°C, atacada com HF a 2% em H₂O.

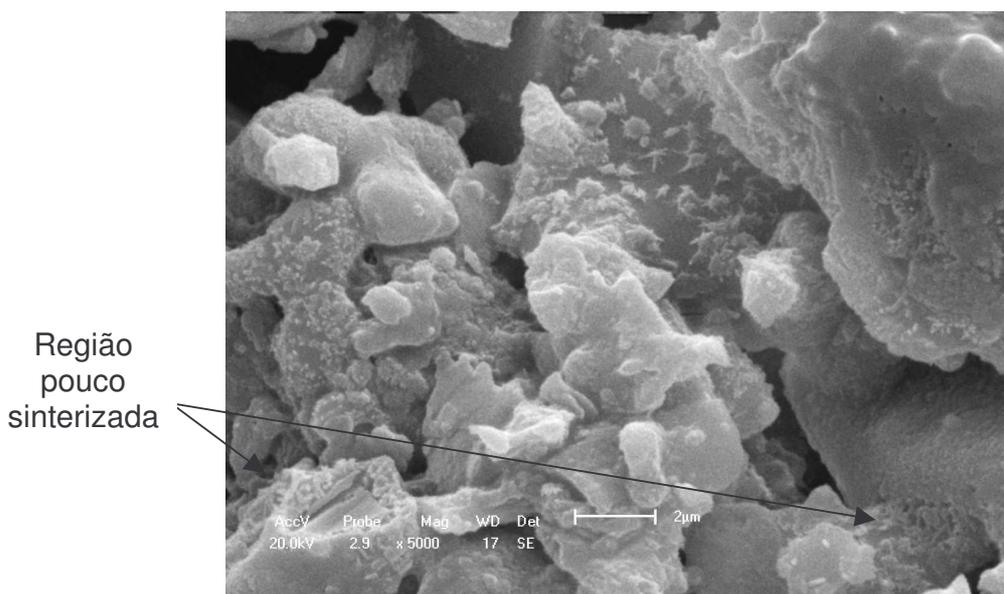


Figura 6.60 – Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 2 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1150°C, atacada com HF a 2% em H₂O.

Conforme se pode observar, para ambas amostras queimadas a 1150°C, a presença de mulita não ocorreu, conforme se pôde verificar nos resultados apresentados no item 6.2.1 quando da análise da variação mineralógica em função da queima. Pode-se verificar também, que para as duas amostras sinterizadas a temperatura de 1150°C, a amostra com a massa 1 apresentou bem menos porosidade e mais sinterização, enquanto que na outra se observa além de porosidades, regiões pouco sinterizadas, para um mesmo aumento de 5000x.

As Figuras 6.61 e 6.62 apresentam as micrografias da superfície fraturada dos corpos-de-prova atacados para a temperatura de 1200°C.

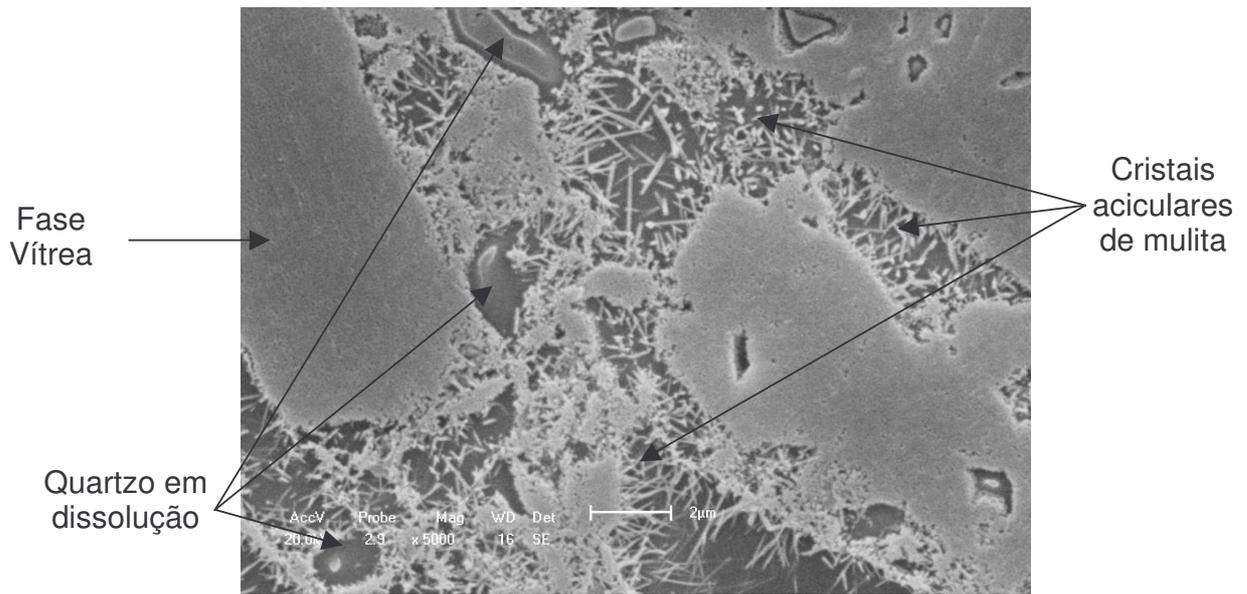


Figura 6.61 – Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 1 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1200°C, atacada com HF a 2% em H₂O.

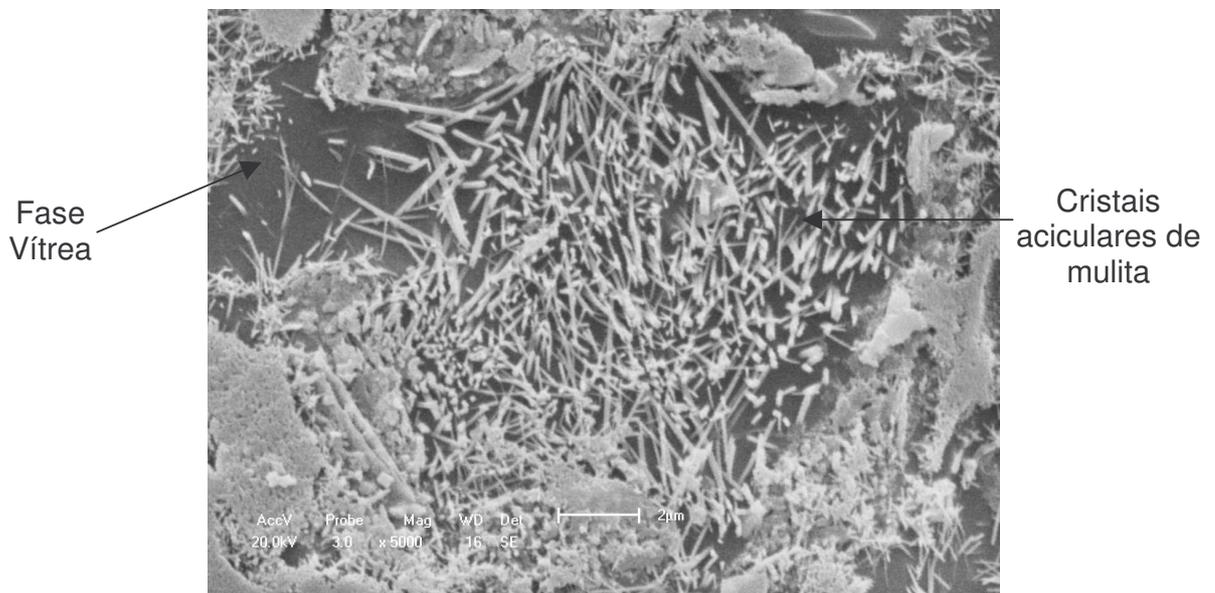


Figura 6.62 – Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 2 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1200°C, atacada com HF a 2% em H₂O.

Como se pode verificar, em ambas amostras, a mulita surgiu em grande quantidade. Na mistura 1 com 30% (Figura 6.62), a 1200°C, consegue se verificar alguns grãos de quartzo em fase de dissolução, e uma grande região vitrificada. Acredita-se que essa fase está mais presente nessa amostra que na mistura 2, devido à presença do talco, que possibilita a fusão do feldspato em temperaturas mais baixas. Contudo se observa na Figura 6.63, que apresenta a região fraturada da amostra a partir da mistura 2 com 30% de chamote, uma maior presença de cristais aciculares de mulita. É possível que isso tenha se dado devido a uma maior concentração do argilomineral caulinita nessa mistura, presente nas matérias-primas – Argila Baldum e Caulim.

As Figuras 6.63 e 6.64 apresentam as micrografias por MEV com aumento de 5000x das amostras sinterizadas a 1250°C.

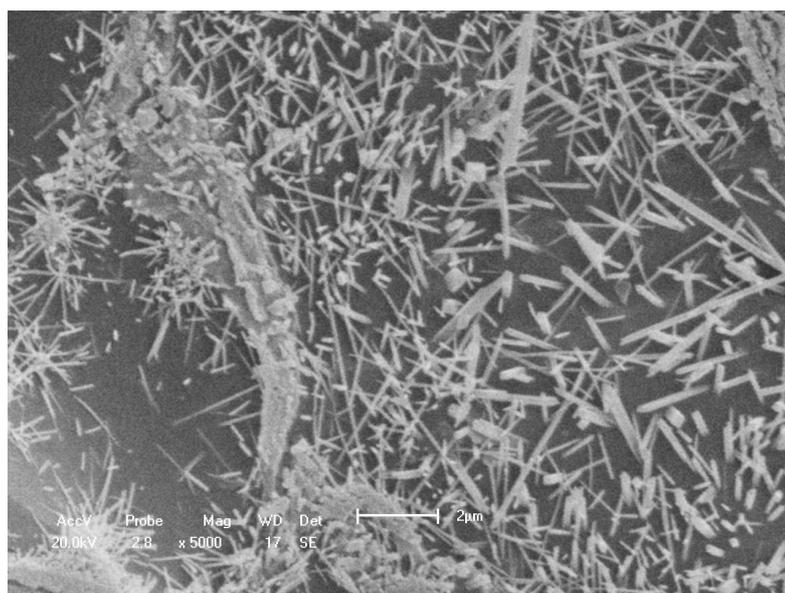


Figura 6.63 – Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 1 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C, atacada com HF a 2% em H₂O.

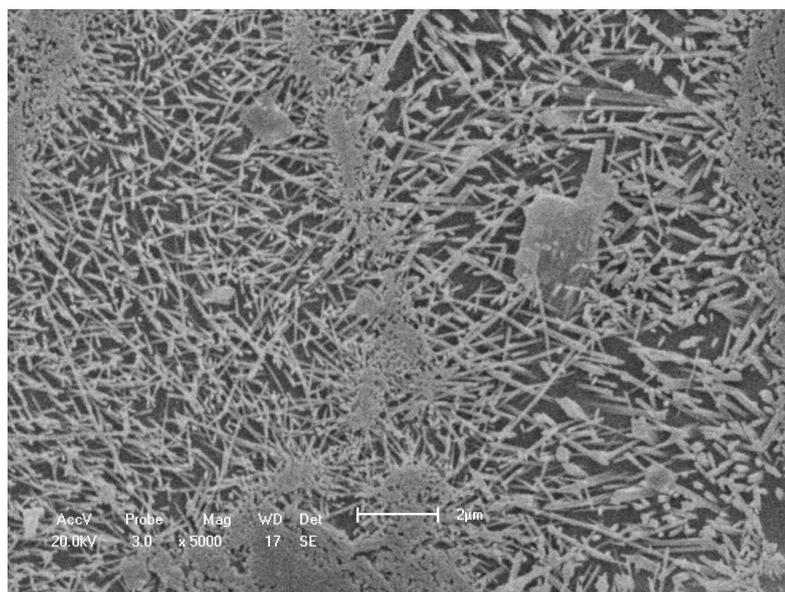


Figura 6.64 – Micrografia por MEV da superfície de fratura do corpo-de-prova a partir da formulação 2 com adição de 30% de chamote, sinterizado a 1250°C, atacada com HF a 2% em H₂O.

Para a sinterização a 1250°C, observou-se que o teor de mulita aumentou em ambas amostras. Contudo, ainda se observa uma diferença no teor da mulita entre as duas amostras. Para a amostra a partir da mistura 1 com adição de 30% de chamote, se verificou um teor menor de mulita, e um maior espaçamento entre seus cristais, com relação à amostra a partir da mistura 2 com 30% de rejeito.

Ao se comparar o teor de mulita presente nas duas amostras com os resultados do ensaio de tensão de ruptura à flexão, em três pontos, verifica-se que a amostra que apresentou maior quantidade de mulita, teve a resistência mecânica inferior, em todas as temperaturas de sinterização. Por exemplo, a 1250°C, onde a mulita se fez mais presente nas duas amostras, se observou na amostra a partir da mistura 1 com 30% de rejeito um valor para a TRF de 30,10 MPa enquanto que a outra mistura com o mesmo teor de rejeito apresentou 27,87 MPa. Isso de fato, é confirmado pela literatura, uma vez que segundo **Biffi, (2002)**, maior presença de mulita e quantidade de fase amorfa mais baixa, se reflete em resistência mecânica mais baixa. Por isso se observa na mistura 1, além de uma menor quantidade de mulita, um maior teor de fase vítrea.

Normalmente, amostras de grês porcelanato apresentam cristais de mullita, contudo, em concentrações bem mais baixas que as encontradas no presente trabalho. Acredita-se que isso se tenha dado, devido à velocidade lenta de aquecimento e resfriamento durante a queima, quando comparada às dos processos convencionais da indústria de grês porcelanatos, em fornos a rolo.

6.3.7. Avaliação do Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

As Figuras 6.65 a 6.70 apresentam o comportamento de dilatação térmica linear entre ~30 e 1000°C para os corpos-de-prova sinterizados a 1250°C com adição de 10, 20 e 30% de chamote, apresentando o coeficiente da dilatação entre as temperaturas de 300 a 500°C.

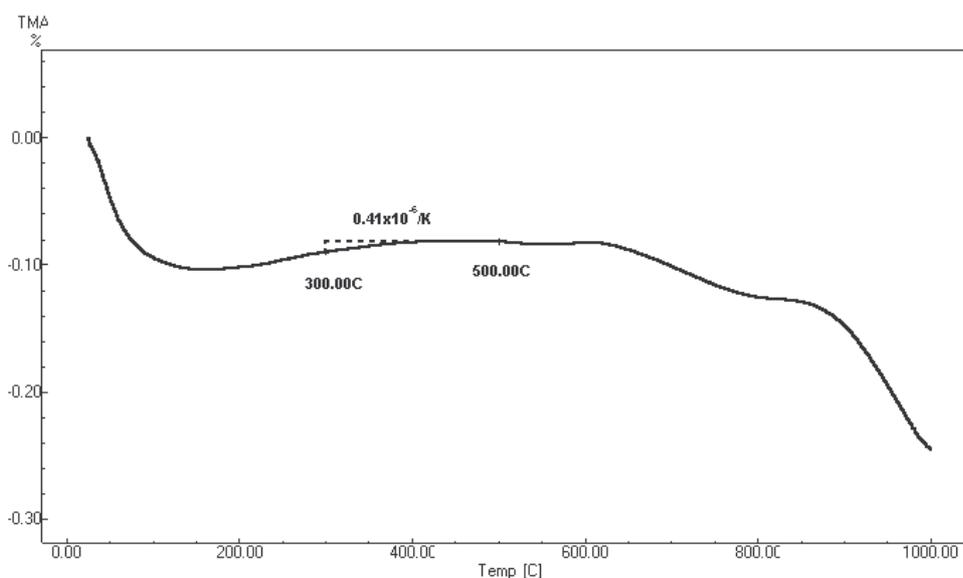


Figura. 6.65 – Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 1 com 10% de rejeito.

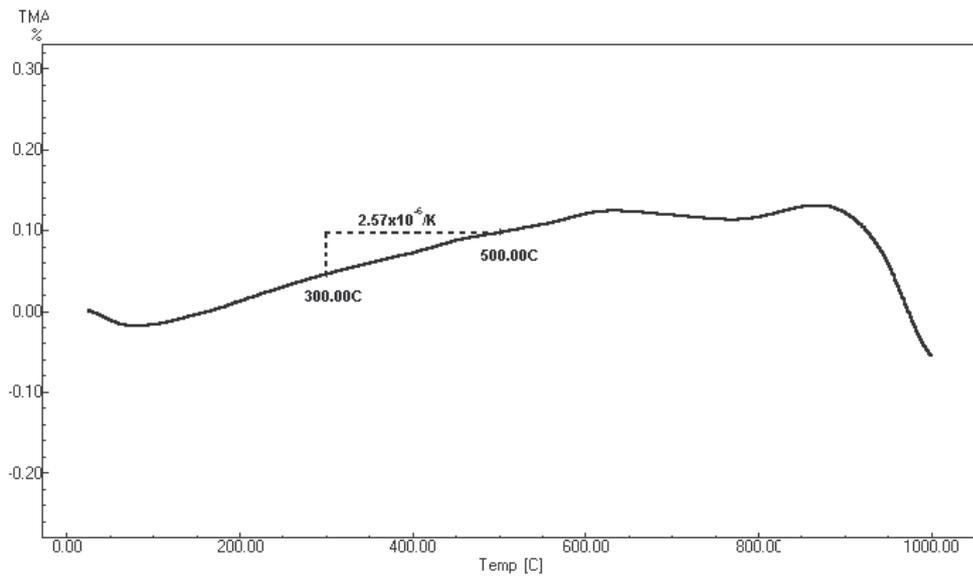


Figura. 6.66 – Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 1 com 20% de rejeito.

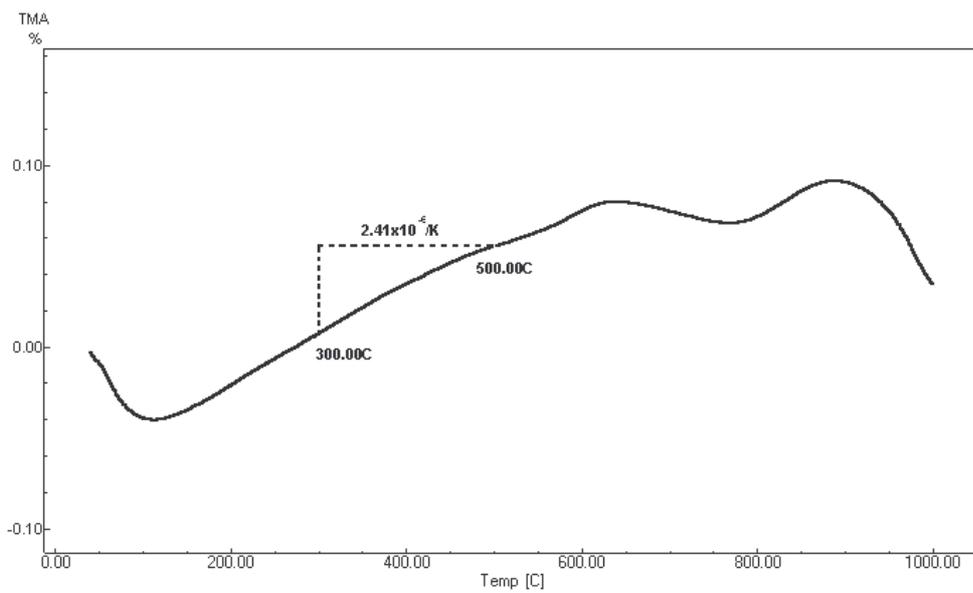


Figura. 6.67 – Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 1 com 30% de rejeito.

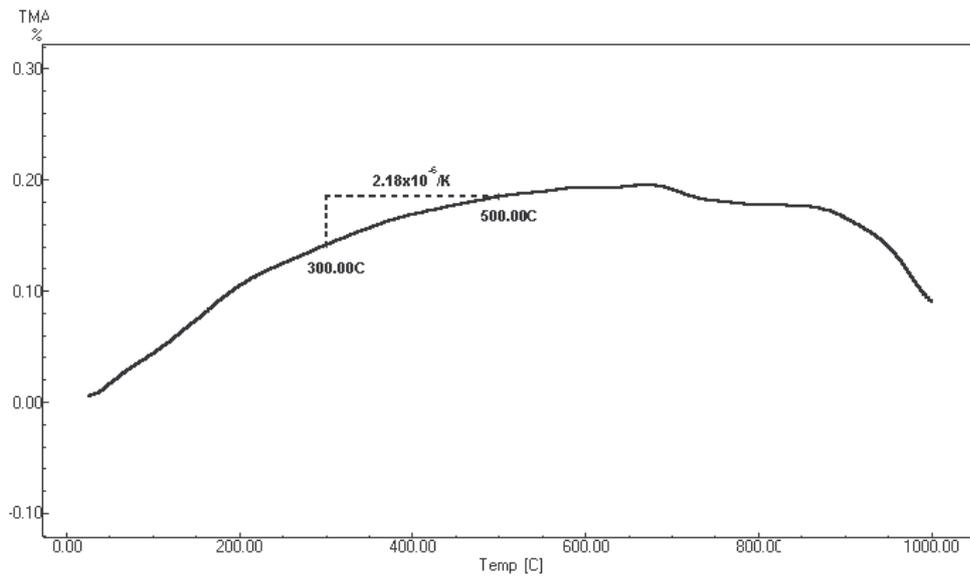


Figura. 6.68 – Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 2 com 10% de rejeito.

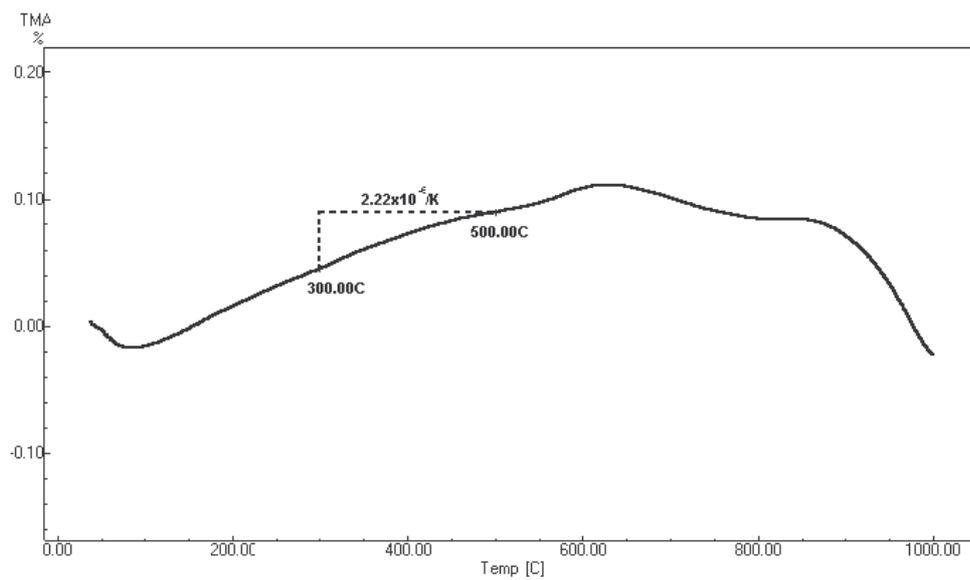


Figura. 6.69 – Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 2 com 20% de rejeito.

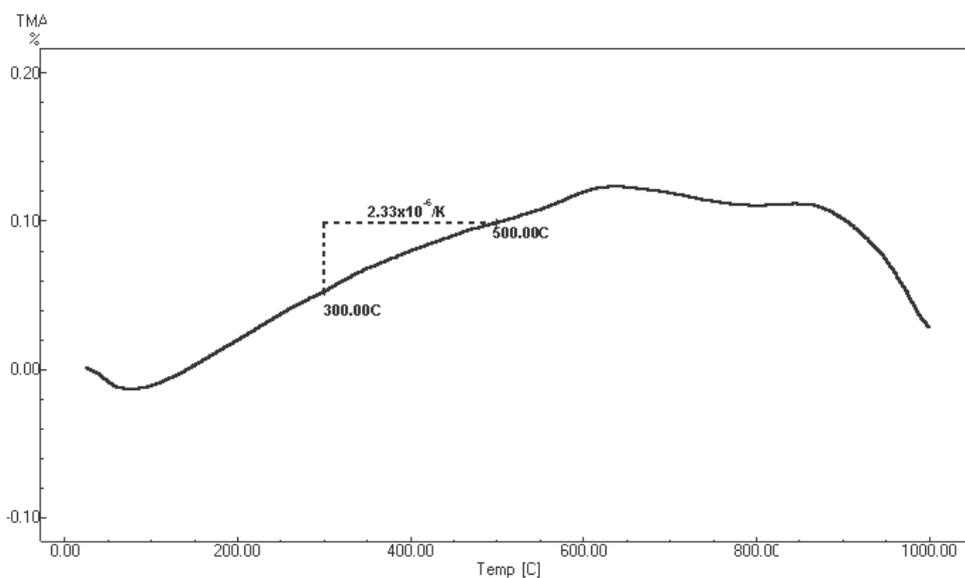


Figura. 6.70 – Gráfico de dilatação do corpo-de-prova da mistura 2 com 30% de rejeito.

Conforme se pode notar, o coeficiente de dilatação térmica linear entre 300 e 500°C, para todas as amostras analisadas, apresentou-se dentro do limite permitido para um grês porcelanato, que deve ser menor que $9,0 \times 10^{-6}/^{\circ}C$.

7. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

7.1. Conclusões

Baseado nos resultados apresentados e discutidos no capítulo anterior, chega-se às seguintes conclusões:

1. A introdução do chamote na formulação 1, influenciou de forma significativa a retração linear nas temperaturas de 1150°C e 1200°C, contudo, para 1250°C observa-se que a variação dimensional foi maior para a amostra sem chamote. Já para a formulação 2, a adição do resíduo somente com 20% e 30% proporcionou maior retração nas amostras, para todas as temperaturas estudadas, enquanto que com o teor de 10% de chamote só apresentou maior retração do que a amostra sem resíduo, quando queimado à 1150°C;
2. Do ponto de vista da absorção de água, a adição do chamote, em todos os teores, para a formulação 1 queimada à 1250°C, foi capaz de diminuí-la, proporcionando assim, uma absorção menor que 0,5%. Já para a formulação 2, somente o teor de 30% de chamote, queimada à 1250°C foi capaz de deixar a absorção de água abaixo do teor exigido para um grês porcelanato;
3. A adição de chamote, em qualquer teor e temperatura de queima estudados, para as formulações 1 e 2, diminuiu a porosidade aparente para abaixo de 0,35%. Conclui-se também que quanto mais chamote (dentro da faixa estudada), menor a porosidade;

4. Quanto à massa específica aparente, observa-se que para todas as amostras queimadas a 1250°C em ambas formulações, o valor foi superior ao mínimo exigido pela norma europeia EN 87. Para a queima de 1200°C observou-se que na formulação 1, o valor ficou acima do mínimo para os teores de 20% e 30% de chamote, e na formulação 2, somente para 30% de resíduo;
5. Observou-se que todas as misturas com adição do chamote, exceto a 10%, para a formulação 1 queimadas a 1250°C, resistência superior a 27 MPa, ou seja, acima do valor exigido na norma europeia EN 100, além das amostras sem adição, queimadas a 1200°C e 1250°C. Já para a formulação 2, somente com 30% de chamote e queimada a 1250°C foi capaz de adquirir resistência mecânica à flexão acima do estabelecido pela norma europeia;
6. Comprovou-se que quanto maior o teor de mulita e menor de fase vítrea, no caso estudado, menor é o valor da resistência mecânica do porcelanato, visto que a amostra a partir da mistura 1 com 30% de resíduo, apresentou menos mulita e mais fase vítrea que na outra mistura com o mesmo teor de resíduo, e teve assim, o maior valor de TRF de todas as formulações estudadas, 30,10 MPa.
7. Conclui-se também que a queima a gás natural é eficaz no processamento cerâmico para queima de grês porcelanato, visto que várias massas estudadas apresentaram características de grês porcelanato;
8. Verificou-se assim, que a adição de chamote tanto na formulação 1 como na 2, melhorou as características, de uma forma geral. Inclusive, após a adição de 30% do chamote, na formulação 2, que antes apresentava características mais distantes do grês porcelanato que a formulação 1, as amostras adquiriram propriedades que fizeram que esta também passasse a ser considerada um porcelanato;

9. Ficou demonstrado que o chamote de telha é uma matéria-prima com grande potencial de ser utilizada na formulação de grês porcelanato, melhorando ainda, suas qualidades técnicas, de uma forma geral.

7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

Este trabalho deu ênfase ao estudo da adição de resíduos de telhas na formulação de grês porcelanato. Contudo a pesquisa se fixou apenas no âmbito laboratorial, assim, sugere-se outros temas a serem pesquisados a partir dessa dissertação:

1. Avaliação de teores mais elevados de chamote na incorporação da massa de grês porcelanato base, ou em outros materiais que se aproximam das propriedades deste, de modo a observar se com a adição desse resíduo, tornam-se mais resistentes e menos absorvedores de água, como ocorreu com a formulação 2, testada nesse trabalho;
2. Pesquisa com outros resíduos, como por exemplo, vidro, em substituição de fundentes, ou de resíduos de revestimentos cerâmicos em substituição ao quartzo, na incorporação desse produto de alto valor agregado;
3. Estudo de viabilidade econômica sobre a produção desses produtos tomando por base todas as etapas, desde a seleção de matérias-primas, até o processo de queima, avaliando os tempos de queima, buscando sempre reduzi-lo de modo a minimizar a energia consumida no processo;
4. Avaliação da redução do impacto ambiental ocasionado pela utilização do rejeito de telhas, na incorporação do grês porcelanato;
5. Realizar estudo com a incorporação de aditivos, de modo a deixar o produto com maior alvura.
6. Realizar estudo, de modo a avaliar a dureza, desgaste e abrasão, do produto obtido.

Referências

ABRELPE – Associação brasileira de empresas públicas e resíduos especiais. Disponível em www.abrelpe.com.br. Acessado em: fevereiro de 2006.

ANFACER. Guia de assentamento de revestimento cerâmico. 4. ed. São Paulo: Anfacer, 2002.

ANFACER. Distribuição regional do mercado brasileiro. Brasil, 2003. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br>> . Acessado em: fevereiro de 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia. ABNT - NBR 13.816/1997.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Placas cerâmicas para revestimento – Classificação. ABNT - NBR 13.817/1997.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. ABNT - NBR 13.818/1997.

BARROTE, Luiz Gustavo. Utilização de rejeitos (cacos) de mármore em massas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44, 2000, São Pedro. **Anais....** São Paulo: ABCERAM, (2000), **220**, 01-11.

BIFFI, Giovanni. O grês porcelanato: manual de fabricação e técnicas de emprego. 3. ed. São Paulo: Faenza Editrice do Brasil Ltda, 2002.

BORBA, Cristina D. G. ; NETO, Joao B. R. ; OLIVEIRA, Antônio P. N. ; ECHUDE, Elza C. F. ; ALARCÓN, Orestes E. Estudo de matérias-primas fundentes. *Cerâmica Industrial*, 1 (34-39) Março/Abril, 1996.

BOSCHI, Anselmo O.; ARANTES, Flávio J. S.; GALES, Douglas F.; QUINTEIRO, Eduardo. O manchamento e a porosidade fechada de grês porcelanato. *Cerâmica Industrial*, 6 (18-25) Maio/Junho, 2001.

BOSCHI, Anselmo O.; PAULA, Gustavo R. de; QUINTEIRO, Eduardo. Efeito do teor de umidade e pressão de prensagem sobre as características de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, 2 (3/4) Maio/Agosto, 1997.

BOSCHI, Anselmo Ortega. O pólo de Santa Gertrudes e a indústria brasileira de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, 9 (7-12) Maio/Junho, 2004.

BRUGUERA, Jordi. Manual práctico de cerámica. Barcelona/Espanha. Ediciones Omega, S.A. – 1986.

CALLISTER JUNIOR, Willian D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2002.

CASAGRANDE, M. C. ; OLIVEIRA, A. P. Novaes de ; HOTZA, D. ; ALEXANDRE, L. R. ; MAGAGNIN, F. S. ; SARTOR, M. N. ; MONTEDO, O. R. K. Reciclagem de chamote em massa cerâmica de pavimento gresificado. SENAI/CTC, Criciúma, 2001.

CTGÁS. Usos e vantagens do GN. Informações, 2004. Disponível em: <www.ctgas.com.br>. Acessado em: fevereiro de 2006.

FIERN-SENAI. Perfil industrial da cerâmica vermelha no Rio Grande do Norte. Natal-RN: Senai, 2001.

FLORÊNCIO, R. V. S. ; MARQUES, J. A. C. C. Adição de resíduos da clarificação de óleos comestíveis em cerâmica estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44, 2000, São Pedro. **Anais**.... São Paulo: ABCERAM, (2000), **487**, 01-13.

FOLGUERAS, M. V. ; FEIJÃO, J.P. Marana ; OLIVEIRA, A. P. Novaes ; Alarcon, O. E. Obtenção de materiais vitrocerâmicos a partir de escórias de alto forno e cinzas volantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43, 1999, Florianópolis. **Anais**... São Paulo: ABCERAM, (1999), **033**, 01-11.

GAZETA MERCANTIL. Análise setorial: a indústria cerâmica vol. I. Panorama Setorial, agosto de 2000.

GAZETA MERCANTIL. Análise setorial: a indústria cerâmica vol. II. Panorama Setorial, agosto de 2000.

HECK, Clarice. Grês porcelanato. *Cerâmica Industrial*, 1 (21-24) Ago/Dez, 1996.

HILDELBRANDO, E. A. ; SOUZA, J. A. S. ; NEVES, R. F. Adição do rejeito do processo Bayer (lama vermelha) como matéria-prima na indústria de cerâmica industrial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43, 1999, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: ABCERAM, (1999), **281**, 01-11.

HOLANDA, J. N. F. ; SOUZA, G. P. ; SANTOS, R. S. Caracterização preliminar de um resíduo proveniente do setor petrolífero. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44, 2000, São Pedro. **Anais....** São Paulo: ABCERAM, (2000), **600**, 01-09.

ICDD – *International Centre for Diffraction Data*. Disponível em www.icdd.com . Acessado em fevereiro de 2006.

JORDÃO, M. A. Pacheco. Curso Internacional de Treinamento em Grupo em Tecnologia Cerâmica. IPT/JICA, 1988.

SIQUEIRA JÚNIOR, Amaury Antunes de. Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato. 2003. 199f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Departamento de Engenharia e Construção Civil, Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELCHIADES, Fábio G. ; QUINTEIRO, Eduardo. ; BOSCHI, Anselmo O. A curva de gresificação: parte 1. *Cerâmica Industrial*, 4 (30-31) Agosto/Dezembro, 1996.

MENEGAZZO, A.P.M. ; PASCHOAL, J.O.A. ; GOUVÊIA, D. ; CARVALHO, J.C. ; NÓBREGA, R.S.N. Avaliação da Resistência Mecânica e Módulo de Weibull de Produtos Tipo Grês Porcelanato e Granito. *Cerâmica Industrial*, 7 (24-32) Janeiro/Fevereiro, 2002.

MENEGAZZO, A.P.M. ; LEMOS, F.L.N. ; PASCHOAL, J.O.A. ; GOUVÊIA, D. ; CARVALHO, J.C. ; NÓBREGA, R.S.N. Grês porcelanato. Parte I: uma abordagem mercadológica. *Cerâmica Industrial*, 5 (1-10) Setembro/Outubro, 2000.

MODESTO, C. ; BRISTOT, V. ; MENEGALI, G. ; BRIDA, M. ; MAZZUCCO, M.; MAZON, A. ; BORBA, G. ; VIRTUOSO, J. ; GASTALDON, M. ; OLIVEIRA, A. P. Novaes. Obtenção e caracterização de materiais cerâmicos a partir de resíduos sólidos industriais. *Cerâmica Industrial*, 8 (14-18) Julho/Agosto, 2003.

MONSTEDO, O. R. K. ; OLIVEIRA, A. P. N. ; KLEIN, A. N. Thin Glass-Ceramic glazes for porcelainized stoneware tiles. Anais do QUALICER'2002. Castellón, Espanha, 189-192, março/2002.

MUÑOZ, L. Sánchez. ; CAVA, S. da S. ; PASKOCIMAS, C. A. ; CERISUELO, E. ; LONGO, E. ; CARDA, J. B. Modelamento do processo de gresificação de massas cerâmicas de revestimento. *Cerâmica* 48, 308 (217-222) Out/Nov/Dez 2002.

MUÑOZ, L. Sánchez. ; CASTELLÓ, Juan B. Carda.; Fabricación de baldosas cerâmicas por monococión. ITC – Instituto de Tecnologia Cerámica. Curso ministrado em Rio Claro, outubro/2003.

NERI, Judas Tadeu da C. F.; SILVA, Wellington P. da; SANTOS, Zanoni T. S. dos; MEDEIROS, Gilson G. Conversão de fornos cerâmicos para gás natural – a expansão do CTGÁS no Rio Grande do Norte. IBP – Brazilian Petroleum Institute. Trabalho apresentado no *Rio Oil Gas Expo and Conference* em 2000, Rio de Janeiro. IBP – 30200.

NEVES, Gelmires de Araújo ; FERREIRA, H. Carlos ; SILVA, Maria Cláudia. Potencial de utilização de resíduo da serragem de granito na fabricação de revestimentos cerâmicos – parte 1. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44, 2000, São Pedro. **Anais...** São Paulo: ABCERAM, (2000), **199**, 01-14.

OLIVEIRA, Antônio Pedro Novaes. Grês porcelanato: aspectos mercadológicos e tecnológicos. *Cerâmica Industrial*, 3 (34-41) Maio/Junho, 1998.

PONTES, Ivan Falcão e JÚNIOR, Antônio Stellin. Utilização de finos de serrarias do Espírito Santo nas indústrias de construção civil. In JORNADAS IBERMAC MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 2001, Madri. **Anais...** Madri: IBERMAC, (2001), 01-09.

PINHEIRO, Andréa Santos. Produção de grês porcelanato a partir de matérias-primas do Rio Grande do Norte e queima a gás natural. 2006. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

ROCHA, C. V. ; CARDOSO, A. V. Preparação e caracterização de vidros a base de escória de alto-forno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43, 1999, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: ABCERAM, (1999), **257**, 01-12.

RODRIGUES, A. W. B. ; BRASILEIRO, M. I. ; OLIVEIRA, D. F. ; PATRÍCIO, S. M. R. ; BEZERRA, R. L. ; NEVES, G. A. ; SILVA, M. C. Utilização de resíduos da construção civil para produção de blocos com função estrutural – parte II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44, 2000, São Pedro. **Anais...** São Paulo: ABCERAM, (2000), **407**, 01-12.

RODRIGUES, E. de P. ; OLIVEIRA, M. C. de A. ; ARTUR, A. C. Ardósia como matéria-prima para cerâmica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44, 2000, São Pedro. **Anais...** São Paulo: ABCERAM, (2000), **074**, 01-08.

RODRIGUEZ, Adriana Marin ; PIANARO, Sidnei Antônio ; BERG, Egon Antônio Torres ; Santos, Alessandro Hilário. Propriedades de matérias-primas selecionadas para a produção de grês porcelanato. *Cerâmica Industrial*, 9 (33-38) Janeiro/Fevereiro, 2004.

ROSA, F. G. ; FOLGUERAS, M. V. ; LONGO, A. L. ; CECHENEL, A. ; OLIVEIRA, A. P. Novaes ; HOTZA, D. ; ALARCON, O. E. Caracterização de resíduos industriais para uso na composição de massas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43, 1999, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: ABCERAM, (1999), **096**, 01-12.

SANCHEZ, E. ; ORTS, M.J. ; GARCÍA-TEN, J. ; CANTAVELLA, V. Efeito da Composição das Matérias-Primas empregadas na fabricação de grês porcelanato sobre as fases formadas durante a queima e as propriedades do produto final. *Cerâmica Industrial*, 5 (15-22) Setembro/Outubro, 2001.

SÁNCHEZ, E.; BARBA, A.; FELIU, C.; GARCÍA, J.; GINÉS, F.; SANZ, V.; BELTRÁN, V. Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas. Castellón, Espanha: Instituto de Tecnología Cerámica – AICE/ITC, 1ª Ed. 1997.

SANTOS, P. Souza. Ciência e Tecnologia de Argilas. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1989.

UNI – EN-87. Ceramic floor and wall tiles – definitions, classification, characteristics and marking. 1992.

VALERA, T. S. ; SAKAI, R. ; COELHO, A. C. Vieira ; WIEBECK, H. ; TOFFOLI, S. M. Reaproveitamento do resíduo de lapidação de vidros como carga em polímero de engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 44, 2000, São Pedro. **Anais....** São Paulo: ABCERAM, (2000), **404**, 01-08.

VIEIRA, Francisco Antônio. Processamento e caracterização de materiais cerâmicos obtidos através da incorporação de resíduos de mármore e granito provenientes das indústrias do RN. 2004. 150f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

VIEIRA, C. M. F.; SOARES, T. M.; MONTEIROS.N. Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de queima. *Cerâmica*, vol.49, (245-250) São Paulo, Out/Dez - 2003.

ZIMMER, A. ; BERGMANN, C. P. Cinzas de carvão mineral como material-prima para massas cerâmicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 46, 2002, São Paulo. **Anais**.... São Paulo: ABCERAM, (2002), 914-922.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)