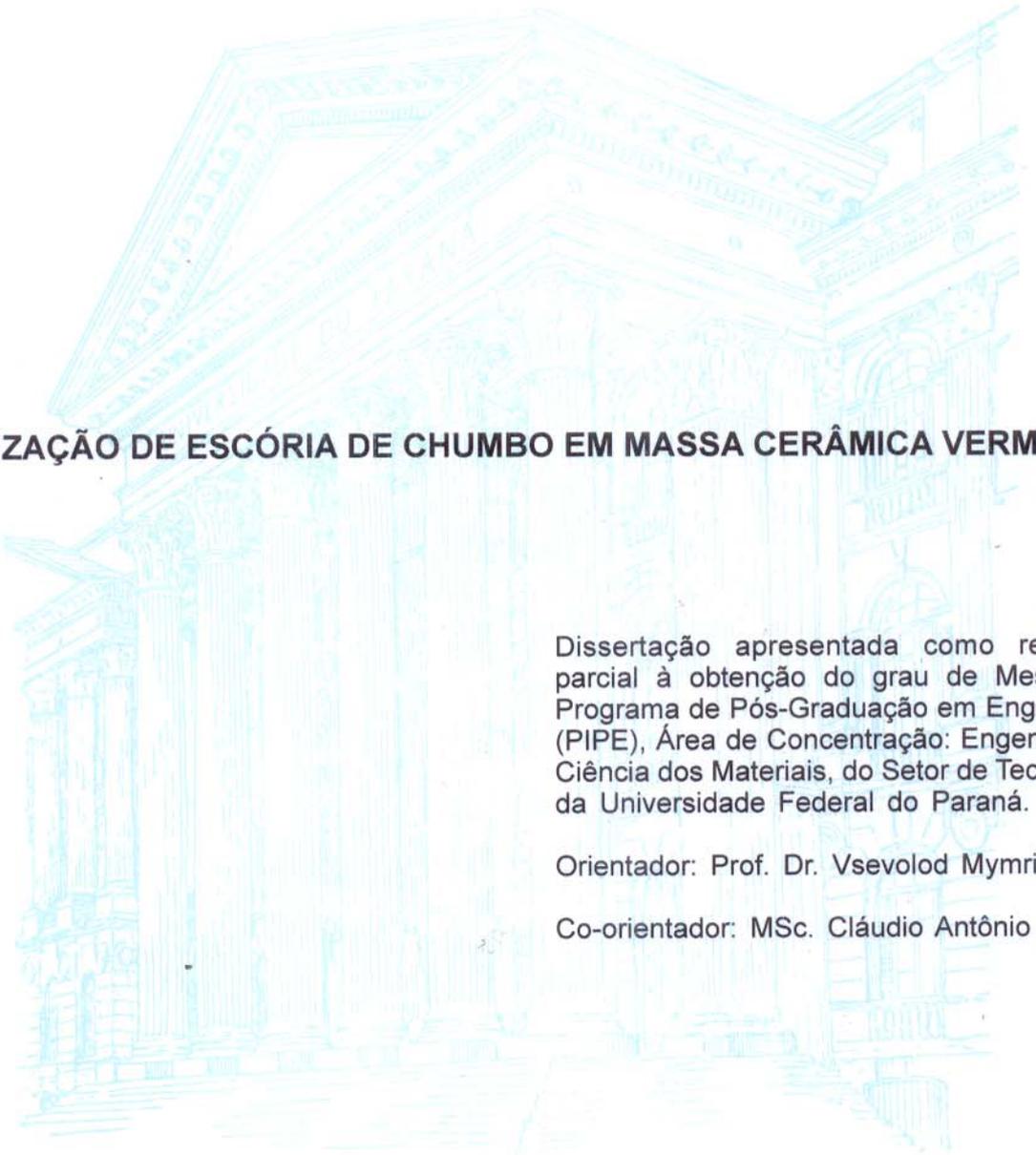


EDUARDO MONTEIRO BIGÉLLI



**UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE CHUMBO EM MASSA CERÂMICA VERMELHA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia (PIPE), Área de Concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais, do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Vsevolod Myrmine

Co-orientador: MSc. Cláudio Antônio Gazda

CURITIBA

2005

**EDUARDO MONTEIRO BIGÉLLI**

**UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE CHUMBO EM MASSA CERÂMICA VERMELHA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre ao Programa de Pós-graduação em Engenharia (PIPE), Área de Concentração de Engenharia e Ciência dos Materiais, do Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. DrSc. Vsevolod Mymrine

Co-orientador: MSc. Cláudio Antônio Gazda

**CURITIBA**

**2005**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia - PIPE  
Setor de Tecnologia

## RELATÓRIO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

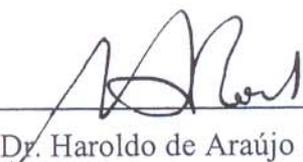
Aos Vinte quatro dias do mês de junho de 2005, no Salão Nobre do Setor de Tecnologia no 2º andar Prédio de Administração Centro Politécnico - UFPR, foi instalada pelo Prof. Dr. Fernando Wypych coordenador do PIPE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, a Banca Examinadora para a nonagésima terceira defesa de mestrado na área de concentração: Engenharia e Ciência de Materiais. Estiveram presentes no Ato, além do coordenador do Curso de Pós-Graduação, professores, alunos e visitantes. A Banca Examinadora, atendendo a determinação do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia, foi constituída pelos professores doutores Anselmo Ortega Boschi (UFSCar), Haroldo de Araújo Ponte (UFPR) e Vsevolod Mymrine (UFPR). Às 14:00 horas, a banca iniciou os trabalhos, convidando o candidato **Eduardo Monteiro Bigelli** a fazer a apresentação da dissertação de mestrado intitulada “Utilização de Escória de Chumbo em Massa Cerâmica Vermelha”. Encerrada a apresentação, iniciou-se a fase de arguição pelos membros participantes.

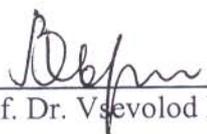
Tendo em vista a dissertação e a arguição, a banca decidiu pela \_\_\_\_\_

APROVAÇÃO do candidato,  
(de acordo com a determinação dos Artigos 62 e 63 da Resolução 62/03 de 22.07.03).

Curitiba, 24 de junho de 2005.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Anselmo Ortega Boschi

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Haroldo de Araújo Ponte

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Vsevolod Mymrine

## MENSAGEM

*"Há o suficiente no mundo para todas as necessidades humanas, mas não há o suficiente para a cobiça do homem".*

(Mahatma Gandhi)

## AGRADECIMENTOS

A decisão de se elaborar um trabalho desta natureza é árdua e dificilmente se concretiza sem a ajuda inestimável de outras pessoas. Nesta pesquisa, os agradecimentos vão especialmente ao orientador deste trabalho Dr. Vsevolod Mymrine ; ao co-orientador MSc. Cláudio Antônio Gadza; e aos professores dos Programas de Pós-graduação; em Engenharia – PIPE.

À CAPES pela fornecimento de uma bolsa de estudos, sem a qual a realização desse trabalho não teria sido possível.

Agradeço ao Dr. José Manuel do Departamento de Geologia, que abriu as portas do Laboratório de Análise de Minerais e Rochas, e ao quadro de funcionários, Elisiane, Paola, Ana, Rodrigo, Luciane, e Aldini, pela cordialidade, presteza e gentileza que fui sempre atendido.

Agradeço ao Prof. Dr. Haroldo de Araújo Ponte, à paciência e discussões técnicas ligadas à ciência dos materiais.

Agradeço à Débora, Sandra, Patrícia, Nice, Marcio, Marisa, e Adalberto pelo incentivo.

Agradeço ao Marcelo e ao Bertussi por terem me proporcionado a oportunidade de aprender as questões relativas a problemática dos resíduos sólidos, e terem sido os grandes incentivadores para a realização desse curso de mestrado.

Agradeço aos amigos Ghizzi, Claudio, Zé, e a todos que não foram incluídos nesta lista. Muito obrigado.

Eduardo Monteiro Bigélli

## SUMÁRIO

<b>MENSAGEM</b> .....	<b>III</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	<b>XXVIII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>XXIX</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>XXXI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XXXII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>2</b>
1.1. MOTIVAÇÃO PARA O TRABALHO .....	2
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO.....	3
1.2.1. Objetivo Geral .....	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO .....	4
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>6</b>
2.1. ESCÓRIA DE CHUMBO .....	6
2.1.1. O Chumbo.....	6
2.1.2. Produção Mundial de Chumbo .....	9
2.1.3 Produção Primária .....	11
2.1.4 A Reciclagem de Chumbo – Produção Secundária.....	12
2.1.5 A Escória de Chumbo .....	15
2.1.6. Composição Química da Escória de Chumbo .....	16
2.1.7. Composição Mineralógica da Escória de Chumbo .....	21
2.1.8. Técnicas de Reutilização de Escória de Chumbo. ....	22
2.2. CERÂMICA VERMELHA.....	23
2.2.1 Compactação dos Pós.....	26
2.2.2 Sinterização .....	27
2.3. RESÍDUOS EM MASSAS CERÂMICAS VERMELHA.....	29
2.3.1 Resíduos de vidro .....	29
2.3.2 Resíduos de Escória.....	31
2.3.3. Resíduos do Processamento de Rochas Ornamentais .....	36

2.3.4 Outros Resíduos em Argila.....	39
2.4 – VIDROS DE CHUMBO.....	44
2.4.1 – Vidro.....	44
2.4.2 – Vidros de chumbo.....	52
2.2.4.1. Lixiviação dos Vidros de Chumbo.....	53
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
3.1. RESUMO DOS PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NESTA PESQUISA.....	56
3.2 MATERIAIS, DISPOSITIVOS E EQUIPAMENTOS.....	59
3.3 ENSAIOS E PROCEDIMENTOS NA MASSA CERÂMICA.....	61
3.3.1 Coleta da massa cerâmica.....	61
3.3.2 Análise granulométrica da massa cerâmica.....	62
3.3.3 Análise Química – fluorescência de raios X (FRX).....	62
3.3.4 Caracterização dos argilominerais presentes.....	62
3.4 ENSAIOS E PROCEDIMENTOS NA ESCÓRIA DE CHUMBO.....	63
3.4.1 Coleta da escória de chumbo.....	63
3.4.2 Análise Química – por fluorescência de raios X (FRX).....	63
3.4.3 Caracterização dos minerais presentes.....	63
3.4.4 Ensaio de Lixiviação e Solubilização de Resíduos.....	64
3.5 ENSAIOS E PROCEDIMENTOS NAS COMPOSIÇÕES DE ESTUDO.....	64
3.5.1 - Nomenclatura adotada.....	64
3.5.2 Identificação dos minerais presentes.....	66
3.5.3 Procedimentos nos corpos-de-prova.....	66
3.5.3.1 Determinação do volume pós-compactação – “V <sub>pc</sub> ”.....	66
3.5.3.2 Determinação densidade pós-compactação – “D <sub>pc</sub> ”.....	67
3.5.3.3 Determinação do volume pós-secagem – “V <sub>ps</sub> ”.....	67
3.5.3.4 Determinação da densidade pós-secagem – “D <sub>ps</sub> ”.....	67
3.5.3.5 Determinação da retração linear de secagem – “RS”.....	68
3.5.3.6 Queima dos corpos-de-prova.....	68
3.5.3.7 Determinação do volume pós-queima – “V <sub>pq</sub> ”.....	68
3.5.3.8 Determinação da densidade pós-queima – “D <sub>pqs</sub> ”.....	69
3.5.3.9 Determinação da retração linear após-queima – “RQ”.....	69
3.5.3.10 Determinação da absorção de água – “AA”.....	69
3.5.3.11 Determinação da porosidade aparente – “PA”.....	70

3.5.3.12 Determinação da Resistência à flexão após-queima – “RF” .....	70
3.5.3.13 Caracterização mineralógica das composições pós-queima .....	71
3.5.3.14 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	71
3.5.3.15 Teste de lixiviação e solubilização.....	71
3.6 – TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS .....	72
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>74</b>
4.1. FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....	74
4.2. RESULTADOS OBTIDOS NA CARACTERIZAÇÃO NAS MATÉRIAS-PRIMAS, E SUAS MISTURAS.....	75
4.2.1. Massa Cerâmica .....	75
4.2.1.1. Análise Granulométrica.....	75
4.2.1.2. Análise Química e Perda ao Fogo .....	76
4.2.1.3. Análise Mineralógica.....	77
4.2.2. Escória de Chumbo .....	78
4.2.2.1. Análise Química e Perda ao Fogo .....	78
4.2.2.2. Análise Mineralógica .....	79
4.2.2.4. Teste de Lixiviação e Solubilização .....	80
4.2.3. Composições Estudadas .....	81
4.2.3.1. Análise Química e Perda ao Fogo – Calculado .....	81
4.2.3.2. Análise Mineralógica .....	82
4.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS NOS CORPOS DE PROVA.....	85
4.3.1. Resultados dos Ensaios nos Corpos Cerâmicos Antes da Queima93	
4.3.1.1. Densidade pós compactação (Dens PC).....	93
4.3.1.2. Densidade pós secagem (Dens S).....	94
4.3.1.3. Teor de umidade (U).....	95
4.3.1.4. Retração de secagem (Retr S).....	96
4.3.2. Resultados dos Ensaios nos Corpos Cerâmicos Após a Queima97	
4.3.2.1. Densidade pós-queima (Dens PQ).....	97
4.3.2.2. Retração Linear de Queima (RQ).....	99
4.3.2.3. Perda de Peso (Perda P) .....	100
4.3.2.4. Absorção de Água (AA).....	101
4.3.2.5. Porosidade Aparente (PA).....	102
4.3.2.6. Resistência à Flexão (RF) .....	103

4.3.2.7. Caracterização Mineralógica das Composições.....	104
4.3.2.8. Microscopia Eletrônica de Varredura.....	105
4.3.2.9. Teste de Lixiviação e Solubilização.....	114
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>116</b>
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>118</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>120</b>
<b>APÊNDICE 1 – RESULTADOS POR CORPO-DE-PROVA, POR COMPOSIÇÃO E CICLO DE QUEIMA.....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICE 2 – DADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>204</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação entre a obtenção de chumbo por extração mineral e por reciclagem (WINCKEL E RICE, 1998).....	9
Figura 2 - Comparação entre o consumo de chumbo da indústria de baterias automotivas e a produção de origem secundária (ROBERTS, 2003). ....	11
Figura 3 - Diagrama de fase – Na <sub>2</sub> S-FeS. ....	14
Figura 4 - Foto de uma Pedra de Escória, e regiões da análise de KREUSCH (2005). ....	19
Figura 5 - Difratoograma de Raios X – Escória de chumbo (DE ANGELIS, 2002). ....	21
Figura 6 - Distribuição da densidade num molde sob várias condições de prensagem: a) prensagem de um só lado; b) prensagem dos dois lados. (NORTON, 1973). ....	27
Figura 7 - Resultados de GODINHO (2004), em função da temperatura de queima: a) absorção de água; b) retração linear; e c) resistência à flexão. ....	31
Figura 8 - Resultados de MARGHUSSIAN (1999), em função da temperatura de queima: a) absorção de água; b) retração linear; e c) resistência à flexão. ....	33
Figura 9 - Resultados de GHOSH (2002), resistência à flexão, absorção de água e contração linear de queima para queima por duas horas a: a) 1150 <sup>o</sup> C; b) 1175 <sup>o</sup> C; e c) 1200 <sup>o</sup> C. ....	34
Figura 10 - Resultados obtidos por OLIVEIRA (2004), com: a) densidade aparente; b) retração linear de queima; c) absorção de água; e d) resistência à flexão. ....	36
Figura 11 - Resultados obtidos da adição de pó de aciaria à massa de cerâmica vermelha esmaltada: ♦Retração de secagem (%); ■ % Retração de queima (%);▲ Absorção de água (%); ● % Resistência mecânica (N/mm <sup>2</sup> ). ME: massa de cerâmica vermelha esmaltada; ME2: massa de cerâmica vermelha esmaltada contendo 2% em peso de pó de aciaria; ME3: massa de cerâmica vermelha esmaltada contendo 3% em peso de pó de aciaria; ME5: massa de cerâmica vermelha esmaltada contendo 5% em peso de pó de aciaria; ME10: massa de cerâmica vermelha esmaltada contendo 10% em peso de pó de aciaria. ....	43
Figura 12 - Curva da distribuição granulométrica da massa cerâmica. ....	75
Figura 13 - Gráfico das freqüências dos tamanhos de partícula. ....	76
Figura 14 - Difratoograma da massa cerâmica. ....	78

Figura 15 - Difratograma da escória de chumbo. ....	80
Figura 16 - Difratograma da composição B (95% de massa cerâmica e 5% de escória). ....	82
Figura 17 - Difratograma da composição C (92,5% de massa cerâmica e 7,5% de escória). ....	82
Figura 18 - Difratograma da composição D (90% de massa cerâmica e 10% de escória). ....	83
Figura 19 - Correlação entre a densidade pós-queima e a resistência à flexão. ....	92
Figura 20 - Gráfico da densidade pós compactação por composição e ciclo de queima. ....	93
Figura 21 - Gráfico da densidade pós secagem por composição e ciclo de queima. ....	94
Figura 22 - Gráfico do teor de umidade por composição e ciclo de queima. ....	95
Figura 23 - Gráfico da retração de secagem por composição e ciclo de queima. ....	96
Figura 24 - Gráfico da densidade pós queima por composição e ciclo de queima. ....	98
Figura 25 - Gráfico da retração linear de queima por composição e ciclo de queima. ....	99
Figura 26 - Gráfico da perda de peso por composição e ciclo de queima. ....	101
Figura 27 - Gráfico da absorção de água por composição e ciclo de queima. ....	102
Figura 28 - Gráfico da porosidade aparente por composição e ciclo de queima. ....	103
Figura 29 - Gráfico da resistência à flexão por composição e ciclo de queima. ....	104
Figura 30 - Micrografias da superfície de fratura da composição A, sinterizada a 900 °C por 1 hora. A) x200; B) x700; C) x2000; D) e E) x4000. ....	107
Figura 31 - Micrografias da superfície de fratura da composição A, sinterizada a 1200 °C por 1 hora. A) x200; B) x700; C) x2000; D) e E) x4000. ....	108
Figura 32 - Micrografias da superfície de fratura da composição A, sinterizada a 1200 °C por 2 horas. A) x200; B) x700; C) x2000; D) e E) x4000. ....	109
Figura 33 - Micrografias da superfície de fratura da composição B, sinterizada a 1200 °C por 2 horas. A) x200; B) x700; C) x2000; D) e E) x4000. ....	110
Figura 34 - Micrografias da superfície de fratura da composição D, sinterizada a 900 °C por 1 hora. A) x200; B) x700; C) x2000; e D) x4000. ....	111
Figura 35 - Micrografias da superfície de fratura da composição D, sinterizada a 1200 °C por 1 hora. A) x200; B) x700; C) e D) x2000; e E) x4000. ....	112
Figura 36 - Micrografias da superfície de fratura da composição D, sinterizada a 1200 °C por 2 horas. A) x200; B) x700; C) x2000; D) e E) x4000. ....	113

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Utilização do chumbo e suas ligas.....	7
Tabela 2 – Composição típica de uma bateria SLI.....	13
Tabela 3 – Composição química de escória - MACHADO (2002).....	17
Tabela 4 – Composição química da escória - LEWIS e BEAUTEMENT (2002).....	17
Tabela 5 – Composição química de escória - DE ANGELIS (2002).....	17
Tabela 6 – Composição química da escória - AQUINO (2004).....	18
Tabela 7 – Composição química da escória.....	19
Tabela 8 – Composição química de escória - KREUSCH (2005).....	20
Tabela 9 – Resumo dos resultados apresentados por SETZ (2001).....	30
Tabela 10 – Composição Química – MARGHUSSIAN (1999).....	32
Tabela 11 – Composição química dos resíduos de granito.....	37
Tabela 12 - Óxidos formadores, modificadores e intermediários.....	46
Tabela 13 - Composição química de diferentes tipos de vidros comerciais.....	46
Tabela 14 – Resumo geral dos ensaios e procedimentos utilizados nesta pesquisa.....	58
Tabela 15 – Resultados da composição química da massa cerâmica.....	77
Tabela 16 – Composição química da escória de chumbo.....	78
Tabela 17 – Cálculo da composição química das composições de estudo.....	81
Tabela 18 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 900 °C por 1 hora.....	86
Tabela 19 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 900 °C por 2 horas.....	87
Tabela 20 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 1050 °C por 1 hora.....	88
Tabela 21 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 1050 °C por 2 horas.....	89
Tabela 22 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 1200 °C por 1 hora.....	90

Tabela 23 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 1200 °C por 2 horas. ....	91
Tabela 24 – Resumos do parâmetro densidade pós-compactação. ....	93
Tabela 25 – Resumos do parâmetro densidade pós-secagem. ....	94
Tabela 26 – Resumos do parâmetro teor de umidade. ....	95
Tabela 27 – Resumos do parâmetro retração de secagem. ....	96
Tabela 28 – Resumos do parâmetro densidade pós-queima. ....	97
Tabela 29 – Resumos do parâmetro retração linear de queima. ....	99
Tabela 30 – Resumos do parâmetro perda de peso. ....	100
Tabela 31 – Resumos do parâmetro absorção de água. ....	101
Tabela 32 – Resumos do parâmetro porosidade aparente. ....	102
Tabela 33 – Resumos do parâmetro resistência à flexão. ....	103
Tabela 34 – Resumos da DRX nas composições pós queima. ....	105
Tabela A 1 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=900 °C, por 1 hora. ....	127
Tabela A 2 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=900 °C, por 1 hora. ....	128
Tabela A 3 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=900 °C, por 2 horas. ....	129
Tabela A 4 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=900 °C, por 2 horas. ....	130
Tabela A 5 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=1050 °C, por 1 hora. ....	131
Tabela A 6 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=1050 °C, por 1 hora. ....	132
Tabela A 7 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=1050 °C, por 2 horas. ....	133

Tabela A 8 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=1050 °C, por 2 horas.....	134
Tabela A 9 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=1200 °C, por 1 hora.....	135
Tabela A 10 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=1200 °C, por 1 hora.....	136
Tabela A 11 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=1200 °C, por 2 horas.....	137
Tabela A 12 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=1200 °C, por 2 horas.....	138
Tabela A 13 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=900 °C, por 1 hora.....	139
Tabela A 14 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=900 °C, por 1 hora.....	140
Tabela A 15 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=900 °C, por 2 horas.....	141
Tabela A 16 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=900 °C, por 2 horas.....	142
Tabela A 17 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=1050 °C, por 1 hora.....	143
Tabela A 18 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=1050 °C, por 1 hora.....	144
Tabela A 19 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=1050 °C, por 2 horas.....	145
Tabela A 20 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=1050 °C, por 2 horas.....	146
Tabela A 21 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=1200 °C, por 1 hora.....	147

Tabela A 22 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=1200 °C, por 1 hora.....	148
Tabela A 23 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=1200 °C, por 2 horas. ....	149
Tabela A 24 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=1200 °C, por 2 horas. ....	150
Tabela A 25 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora. ....	152
Tabela A 26 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	152
Tabela A 27 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 horas.....	152
Tabela A 28 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	153
Tabela A 29 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora. ....	153
Tabela A 30 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	153
Tabela A 31 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	154
Tabela A 32 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas. ....	154
Tabela A 33 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	154
Tabela A 34 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas. ....	155
Tabela A 35 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	155

Tabela A 36 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas. ....	155
Tabela A 37 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora. ....	156
Tabela A 38 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas. ....	156
Tabela A 39 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora. ....	156
Tabela A 40 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas. ....	157
Tabela A 41 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora. ....	157
Tabela A 42 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas. ....	157
Tabela A 43 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora. ....	158
Tabela A 44 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas. ....	158
Tabela A 45 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora. ....	158
Tabela A 46 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas. ....	159
Tabela A 47 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora. ....	159
Tabela A 48 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas. ....	159
Tabela A 49 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora. ....	160

Tabela A 50 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas. ....	160
Tabela A 51 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora. ....	160
Tabela A 52 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas. ....	161
Tabela A 53 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora. ....	161
Tabela A 54 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas. ....	161
Tabela A 55 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora. ....	162
Tabela A 56 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas. ....	162
Tabela A 57 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora. ....	162
Tabela A 58 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas. ....	163
Tabela A 59 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora. ....	163
Tabela A 60 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas. ....	163
Tabela A 61 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora. ....	164
Tabela A 62 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas. ....	164
Tabela A 63 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora. ....	164

Tabela A 64 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	165
Tabela A 65 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	165
Tabela A 66 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	165
Tabela A 67 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	166
Tabela A 68 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	166
Tabela A 69 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	166
Tabela A 70 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	167
Tabela A 71 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	167
Tabela A 72 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	167
Tabela A 73 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	168
Tabela A 74 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	168
Tabela A 75 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	168
Tabela A 76 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	169
Tabela A 77 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	169

Tabela A 78 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	169
Tabela A 79 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	170
Tabela A 80 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	170
Tabela A 81 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	170
Tabela A 82 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	171
Tabela A 83 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	171
Tabela A 84 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	171
Tabela A 85 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	172
Tabela A 86 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	172
Tabela A 87 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	172
Tabela A 88 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	172
Tabela A 89 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	172
Tabela A 90 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	173
Tabela A 91 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	173

Tabela A 92 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	173
Tabela A 93 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	173
Tabela A 94 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	173
Tabela A 95 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	174
Tabela A 96 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	174
Tabela A 97 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	174
Tabela A 98 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	174
Tabela A 99 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	174
Tabela A 100 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	175
Tabela A 101 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	175
Tabela A 102 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	175
Tabela A 103 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	175
Tabela A 104 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	175
Tabela A 105 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	176

Tabela A 106 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	176
Tabela A 107 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	176
Tabela A 108 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	176
Tabela A 109 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	176
Tabela A 110 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	177
Tabela A 111 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	177
Tabela A 112 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	177
Tabela A 113 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	177
Tabela A 114 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	177
Tabela A 115 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	178
Tabela A 116 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	178
Tabela A 117 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	178
Tabela A 118 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	178
Tabela A 119 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	178

Tabela A 120 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	179
Tabela A 121 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	179
Tabela A 122 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	179
Tabela A 123 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	179
Tabela A 124 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	179
Tabela A 125 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	180
Tabela A 126 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	180
Tabela A 127 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	180
Tabela A 128 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	180
Tabela A 129 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	180
Tabela A 130 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	181
Tabela A 131 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	181
Tabela A 132 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	181
Tabela A 133 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	181

Tabela A 134 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	181
Tabela A 135 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	182
Tabela A 136 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	182
Tabela A 137 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	182
Tabela A 138 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	182
Tabela A 139 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	182
Tabela A 140 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	183
Tabela A 141 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	183
Tabela A 142 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	183
Tabela A 143 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	183
Tabela A 144 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	183
Tabela A 145 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	184
Tabela A 146 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	184
Tabela A 147 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	184

Tabela A 148 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	185
Tabela A 149 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	185
Tabela A 150 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	185
Tabela A 151 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	186
Tabela A 152 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	186
Tabela A 153 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	186
Tabela A 154 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	187
Tabela A 155 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	187
Tabela A 156 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	187
Tabela A 157 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	188
Tabela A 158 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	188
Tabela A 159 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	188
Tabela A 160 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	189
Tabela A 161 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	189

Tabela A 162 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	189
Tabela A 163 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	190
Tabela A 164 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	190
Tabela A 165 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	190
Tabela A 166 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	191
Tabela A 167 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	191
Tabela A 168 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	191
Tabela A 169 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	192
Tabela A 170 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	192
Tabela A 171 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	192
Tabela A 172 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	193
Tabela A 173 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	193
Tabela A 174 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	193
Tabela A 175 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	194

Tabela A 176 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	194
Tabela A 177 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	194
Tabela A 178 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	195
Tabela A 179 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	195
Tabela A 180 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	195
Tabela A 181 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	196
Tabela A 182 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	196
Tabela A 183 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	196
Tabela A 184 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	197
Tabela A 185 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	197
Tabela A 186 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	197
Tabela A 187 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	198
Tabela A 188 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	198
Tabela A 189 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	198

Tabela A 190 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	199
Tabela A 191 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	199
Tabela A 192 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	199
Tabela A 193 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	200
Tabela A 194 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	200
Tabela A 195 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	200
Tabela A 196 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	201
Tabela A 197 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	201
Tabela A 198 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	201
Tabela A 199 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.....	202
Tabela A 200 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.....	202
Tabela A 201 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.....	202
Tabela A 202 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.....	203
Tabela A 203 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.....	203

Tabela A 204 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.....	203
Tabela A 205 - Resultado da Análise Granulométrica por Difração de Raios Laser da Massa Cerâmica. ...	205

## LISTA DE SIGLAS

<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>UFPR</i>	Universidade Federal do Paraná
<i>PR</i>	Paraná
<i>ABC</i>	Associação Brasileira de Cerâmica
<i>CBC</i>	Congresso Brasileiro de Cerâmica
<i>SULMAT</i>	Congresso em Ciências de Materiais do Mercosul
<i>Lamir</i>	Laboratório de Análise de Minerais e Rochas.
<i>Lactec</i>	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
<i>LTa</i>	Laboratório de Tecnologia Ambiental
<i>PIPE</i>	Programa de Pós-Graduação em Engenharia
<i>CAPES</i>	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

## LISTA DE SÍMBOLOS

<i>%</i>	Porcentagem
<i>mg</i>	Miligrama. Unidade de massa
<i>g</i>	Gramas. Unidade de massa
<i>kg</i>	Kilograma. Unidade de massa
<i>cm</i>	Centímetro. Unidade de comprimento
<i>cm</i>	Centímetro quadrado. Unidade de área
<i>ppm</i>	Partes por milhão
<i>g/cm<sup>3</sup></i>	Gamas/centímetros cúbicos. Unidade de densidade aparente
<i>MPa</i>	Mega Pascal. Unidade de tensão
<i>Ppc</i>	Peso pós compactação
<i>Cpc</i>	Comprimento pós compactação
<i>Lpc</i>	Largura pós compactação
<i>Epc</i>	Espessura pós compactação
<i>Vpc</i>	Volume pós compactação
<i>Dens PC</i>	Densidade pós compactação
<i>Pps</i>	Peso pós secagem
<i>Cps</i>	Comprimento pós secagem
<i>Lps</i>	Largura pós secagem
<i>Eps</i>	Espessura pós secagem
<i>Vps</i>	Volume pós secagem
<i>Dens S</i>	Densidade pós secagem
<i>U</i>	Teor de umidade
<i>Retr S</i>	Retração de secagem
<i>Ppq</i>	Peso pós queima
<i>Cpq</i>	Comprimento pós queima
<i>Lpq</i>	Largura pós queima
<i>Epq</i>	Espessura pós queima
<i>Vpq</i>	Volume pós queima
<i>Dpq</i>	Densidade pós queima
<i>Retr Q</i>	Retração de queima
<i>Pu</i>	Peso úmido

<i>Pi</i>	Peso imerso
<i>AA</i>	Absorção de água
<i>PA</i>	Porosidade aparente
<i>RF</i>	Resistência à Flexão
<i>DRX</i>	Difração de Raios X
<i>MEV</i>	Microscopia Eletrônica de Varredura
<i>FRX</i>	Fluorescência de Raios X
<i>ATD</i>	Análise Térmica Diferencial

## RESUMO

O uso de escória de chumbo tem forte apelo ecológico. Neste trabalho formulou-se composições para produção de cerâmica, com 0%, 5%, 7,5% e 10% de escória. Os principais componentes da escória são  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 58.7%,  $\text{SO}_3$  - 17.7%,  $\text{SiO}_2$  - 14.2%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 2.2%, Pb - 4.10%, e outros metais pesados como Cu, Sb, Cr, Zn, Rb. Uma composição de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos foi usado como componente base. Foram estudados as mudanças de alguns dos principais parâmetros físicos do processo de produção cerâmica. Densidade das amostras pós compactação e pós-secagem aumentou somente 0,10  $\text{g}/\text{cm}^3$ , e atingiram valores na faixa de 1.69- 1.99  $\text{g}/\text{cm}^3$  após a sua sinterização a temperaturas de 900 °, 1050 ° and 1200 °C. A resistência à flexão em três pontos ficou entre 2.6 e 10.8 MPa, a porosidade aparente atingiu 24.2% e a absorção de água 11,1%. Os estudos de DRX permitiram explicar as propriedades mencionadas acima pela transformação dos componentes minerais (Caulinita, quartzo, gibsita, Goetita, magnetite, fayalita e hematite) em mulita e cristobalita beta. As análises do MEV demonstraram a presença de estruturas vítreas no volume da amostra, onde foram encontrados faces octaedraes da cristobalita beta. A lixiviação e solubilização dos metais pesados neste novo tipo de cerâmica foi maior que o que determina os padrões em norma.

**Palavras-chave:** Reutilização, Escória de Chumbo, Cerâmica Vermelha.

## ABSTRACT

The use of lead-slag is an activity with strong ecological appeal. In this report a novel compositions for producing of ceramics with incorporation of 5%, 7.5% and 10% of lead slag is presented. Main components of the slag are  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 58.7%,  $\text{SO}_3$  - 17.7%,  $\text{SiO}_2$  - 14.2%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 2.2%, Pb - 4.10%, and other heavy metals like Cu, Sb, Cr, Zn, Rb. Traditional clay-sand composition of bricks production was used as basic component. It were studied the changes of some main physical parameters in the process of ceramics producing. Densities of compacted samples after its drying increased only for 0.10 g/cm<sup>3</sup>, and they reach values 1.69- 1.99 g/cm<sup>3</sup> after its sintering with temperatures 900<sup>o</sup>, 1050<sup>o</sup> and 1200<sup>o</sup>C. Three points bending flexural strength was between 2.6 and 10.8 MPa, apparent porosity reach 24,2% and water absorption till 11.1%. XRD studying allows to explain the above mentioned properties by transformation of initial mineral components (kaolonite, quartz, Gibsita, Goetita, magnetite, fayalite, hematite) to newly synthesized mullite and beta-cristobalite. SEM analyses demonstrate appearance of new glass-like structures throughout the samples' volume, here and there octahedral facets of beta-cristobalite are founded. Heavy metals leachability of new type of ceramics was larger, than the international standards' demands.

**Keywords:** Reutilization, Lead slag, Red ceramic.

# **CAPÍTULO 1**

**- INTRODUÇÃO -**

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. MOTIVAÇÃO PARA O TRABALHO

A problemática dos resíduos abrange os aspectos relacionados à sua origem e produção, assim como o conceito de inesgotabilidade e os reflexos de comprometimento do meio ambiente, principalmente, a poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos.

Sumariamente, pode-se dizer que os resíduos são resultado direto da atividade diária do homem em sociedade e que os fatores principais que regem sua origem e produção são, basicamente, dois: o aumento populacional e a intensidade da industrialização.

O fator industrialização é ainda mais grave, quando tem-se em mente que quase a totalidade das indústrias não possui um sistema de minimização de resíduos, o que possibilitaria uma diminuição na quantidade de resíduos a ter uma destinação final.

O que mais preocupa é que a população mundial está crescendo em ritmo acelerado, e esse ritmo tende a crescer ainda mais com o passar do tempo. Isso implica na expansão automática e contínua da industrialização, pois, maiores quantidades de alimentos e bens de consumo serão necessários para atender a esta nova e crescente demanda, o que irá gerar, inevitavelmente, consideráveis volumes de resíduos. O não tratamento, e destinação adequada dessa massa pode contribuir significativamente para a degradação da biosfera, em detrimento da qualidade de vida em nosso planeta.

Dentro deste cenário, tem-se as empresas recicladoras de baterias automotivas, que são responsáveis pela reciclagem de chumbo que, principalmente, no nosso país são de extrema importância frente à necessidade de sua importação desse material, pela não disponibilidade de jazidas comerciais

desse metal.

### **1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO**

#### **1.2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a influência na cerâmica vermelha pela utilização das maiores quantidades possíveis de escória de chumbo, por processo de sinterização, e com propriedades suficientes para usar na área de construção civil, pela avaliação nas mudanças nas propriedades tecnológicas e introdução desse resíduo na composição de uma massa de cerâmica vermelha.

#### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Dentre os objetivos específicos do presente projeto, tem-se:

- ❖ Avaliar (composições e tecnologia) no nível laboratorial, a obtenção do material, a partir das matérias-primas mencionadas anteriormente;
- ❖ Avaliar a formação de fase líquida;
- ❖ pesquisar, pelos métodos de lixiviação e solubilização, o material para ter certeza de segurança de não contaminação do meio ambiente segundo a norma ABNT NBR – 10.004 (maio/2004) - Resíduos Sólidos – Classificação.

### 1.3. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Para melhor compreensão do trabalho realizado, nesta dissertação são discutidas as propriedades físicas e químicas de um material cerâmico composto de escória de chumbo misturada a uma massa cerâmica vermelha utilizada na indústria, além de aspectos relacionados à sua potencial periculosidade ao meio ambiente.

Esta dissertação fornece uma breve descrição do material conhecido por escória de chumbo; começando por descrições relacionadas à utilização do chumbo, dados relacionados à produção do chumbo, o processo de produção secundário de chumbo, os métodos empregados até o presente momento para reutilização das escórias de chumbo.

São abordados tópicos relacionados aos materiais denominados cerâmica vermelha, seus aspectos tecnológicos relacionados à produção da massa, e, ao final, é apresentado uma série de trabalhos que estudaram a viabilidade técnica do uso de vários tipos de resíduos como matérias-primas na indústria da cerâmica vermelha. A seguir é apresentado um tópico referente a vidros de chumbo.

Após descrição da metodologia, os resultados experimentais são apresentados e discutidos, sendo apresentados no anexo os resultados para cada corpo-de-prova e a análise estatística empregada.

## **CAPÍTULO 2**

**- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA -**

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ESCÓRIA DE CHUMBO

#### 2.1.1. O Chumbo

O chumbo (Pb) - é um metal cinza-azulado, inodoro, maleável e sensível ao ar. Pertence ao grupo IVB da Tabela Periódica.

Possui quatro isótopos de ocorrência natural, com as seguintes abundâncias:  $^{204}\text{Pb}$  (1,4%),  $^{206}\text{Pb}$  (24,1%),  $^{207}\text{Pb}$  (22,1%) e  $^{208}\text{Pb}$  (52,4%); entretanto, as razões isotópicas para as várias fontes minerais podem diferir de acordo com a localidade.

Geralmente, o chumbo quando associado a outros elementos, dá origem a vários compostos. O carbonato de chumbo, cerusita ( $\text{PbCO}_3$ ) é comumente encontrado. O sulfato de chumbo ( $\text{PbSO}_4$ ), constitui a anglesita; o cromato de chumbo ( $\text{PbCrO}_4$ ) a crocoisita; o molibdato de chumbo ( $\text{PbMoO}_4$ ) a wulfenita; o fosfato de chumbo a piromorfita, o litargírio ( $\text{PbO}$ ) e o zarcão ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ). Combinado com o enxofre, o chumbo ocorre sob a forma de sulfeto,  $\text{PbS}$  (galena) que é um dos mais abundantes minérios de chumbo (MACHADO, 2002)

Na forma de ligas e compostos, por exemplo, o chumbo é empregado na fabricação de produtos com tecnologia de ponta, bem como de produtos como: baterias, tintas e corantes, vidros especiais, cabos e munição.

Muito pesado e extraordinariamente maleável, com baixo ponto de fusão, resistência à corrosão, boa condutividade elétrica que lhe confere vantagens quando comparado a outros metais e o torna adequado para uso industrial.

## Revisão Bibliográfica

O chumbo é um metal bastante versátil quanto ao seu emprego em produtos industriais. Ele pode ser endurecido pela adição de outros metais e ser utilizado como liga metálica produzindo produtos, soldas e outros materiais.

Além de ligas metálicas, vários compostos utilizando chumbo têm sido preparados e empregados na indústria química, cerâmica, etc. Um exemplo do uso do chumbo na indústria cerâmica é o emprego do óxido de chumbo ( $PbO_2$ ) na composição de vidro denominado “cristal”, que têm em torno de 24% desse óxido.

Na Tabela 1 estão apresentados exemplos de ligas metálicas e compostos, bem como suas utilizações.

Tabela 1 – Utilização do chumbo e suas ligas.

<b>Compostos</b>	<b>Composição Química</b>	<b>Aplicação</b>
Chumbo-Cobre	Pb/Cu	Folhas metálicas, tubulações, proteções para cabos de energia elétrica que precisam ser enterrados, precipitadores de vapores ácidos.
Chumbo-Antimônio	Pb /Sb	Baterias ácidas de chumbo, postes e conectores, munição, tubos e válvulas que entram em contato com operações químicas que usam ácido sulfúrico ou soluções de sulfatos submetidos a temperaturas elevadas, pesos de balanceamento em rodas automotivas.
Chumbo-Estanho-Antimônio	Pb/ Sn/ Sb	Letras tipográficas, miniaturas ornamentais, ornamentos para caixões, fivelas de cintos e troféus.
Chumbo / Estanho	Pb/ Sn	Solda e camada de recobrimento em componentes eletrônicos, em radiadores para automóveis, trocadores de calor, filtros de ar, filtros de óleo.
Chumbo / Cálcio	Pb/ Ca	Grelhas para baterias ácidas, anodos para eletrodeposição e quilhas de barcos.
Chumbo / Cálcio / Alumínio	Pb/ Ca/ Al	Grelhas para baterias ácidas
Chumbo /Cálcio / Estanho	Pb/ Ca/ Sn	Grelhas para baterias ácidas e anodos para eletrodeposição

## Revisão Bibliográfica

Tabela 1 – Utilização do chumbo e suas ligas. (continuação)

<b>Compostos</b>	<b>Composição Química</b>	<b>Aplicação</b>
Chumbo / Prata	Pb/ Ag	Anodo insolúvel para eletrodeposição utilizando zinco e manganês, anodo na proteção catódica de tubos de aço e estruturas mergulhadas na água do mar, soldas submetidas a altas pressões e temperaturas, sistemas de resfriamento, grelhas e baterias.
Chumbo /Prata / Antimônio/ Cobre	Pb/Ag/Sb/Cu	Finas placas metálicas em eletrônica.
Chumbo / Prata / Cálcio	Pb/Ag /Ca	Eletrodeposição de zinco
Chumbo/ Estrôncio / Estanho	Pb/Sr/Sn	Grelhas para bateria ácida de chumbo livre de manutenção.
Chumbo / Telúrio	Pb/Te	Tubos para instalações químicas, proteção de reatores nucleares, recobrimento de cabos
Chumbo / Índio	Pb/In	Soldar metais a vidros
Chumbo / Lítio	Pb/Li	Grelhas para baterias
Acetato de chumbo	Pb (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> 3H <sub>2</sub> O	Impermeabilizador, verniz, inseticida, antiferrugem em pinturas, reagente analítico e tintura de cabelo.
Arseneto de chumbo	Pb <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Inseticida, herbicida.
Arsenito de chumbo	Pb(AsO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	Inseticida
Borato de chumbo	Pb(BO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	Verniz e secante de pintura, camada em cerâmica eletricamente condutiva.
Borossilicato de chumbo		Componente do vidro óptico

Fonte: EPA (1998)

### 2.1.2. Produção Mundial de Chumbo

O cálculo da produção mundial de chumbo ocorre pela soma de duas vertentes. Uma, de origem primária, é aquela que extrai o metal, diretamente do refinamento do minério como a galena, cerusita e anglesita que se encontram naturalmente na crosta terrestre.

Após sua utilização, seja em forma de ligas ou compostos, o chumbo pode ser recuperado no processo de reciclagem e refino retornando à sua forma “pura” e sendo classificado como chumbo secundário.

A produção mundial de chumbo metálico primário e secundário alcançou 6,7 milhões de toneladas no ano de 2003, sendo a Ásia e a América os maiores produtores conforme apresentado na Figura 1. A mesma figura mostra uma estimativa para o ano de 2006.

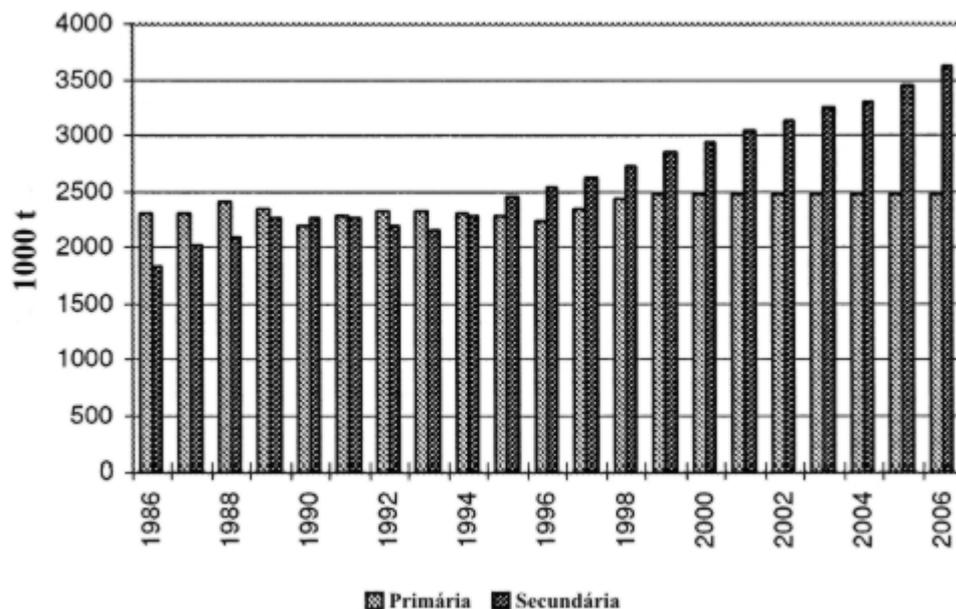


Figura 1- Comparação entre a obtenção de chumbo por extração mineral e por reciclagem (WINCKEL E RICE, 1998).

Observa-se que a partir de 1999 a produção primária estacionou, e que a produção de origem secundária vêm crescendo desde 1994. No ano de 1990 a produção secundária superou a produção primária pela primeira vez, e, a partir de 1995, assumiu definitivamente a liderança na produção mundial.

Para ilustrar essa mudança em aspectos econômicos, segundo a London

Metals Exchange, o chumbo estava cotado em 1992 a U\$ 623/t, passando após um ano ao valor de U\$ 375/t, e já ao final daquela década o valor já havia alçado os patamares de 1992 (ROBERTS, 2003).

Essas grandes mudanças têm como possíveis causas; a diminuição na produção primária pelo fechamento de antigas jazidas, e a abertura de jazidas novas mas, estas, com teores de chumbo menores; um conseqüente aumento produção de origem secundária, que processam diretamente as sucatas que contém chumbo, e o emergente desenvolvimento da China que, além de ser o maior produtor de chumbo primário, é atualmente um dos maiores consumidores assim como os EUA (ROBERTS, 2003).

Outro fator, que para ROBERTS (2003) afetou o mercado de chumbo no final da década passada, foi o boom da indústria de telecomunicações, com a crescente demanda por energia portátil.

TSOULFAS et all (2002), dão como possíveis causas para a mudança na demanda principalmente o aumento no número de veículos no planeta. ROBERTS (2003) diz que o uso do chumbo continua a ser dominado pela manufatura de baterias, tanto para uso automotivo, como industrial; representando algo em torno de 75%, contra os 60% nos anos da década de 1990.

WINCKEL e RICE (2002) confirmam os dados de que os maiores consumidores de chumbo são as empresas que produzem baterias, e para eles a indústria do chumbo tem aumentado sua dependência dessas indústrias, representando no ano de 1998 algo em torno de 70% do consumo desse metal no mundo ocidental, comparado com os 60% no ano de 1986, e estimam que no ano de 2006 a indústria de bateria representará 77% da demanda de chumbo no mundo ocidental.

Na Figura 2, é mostrada a evolução do consumo de Pb em baterias automotivas, em comparação com a produção secundária de chumbo.

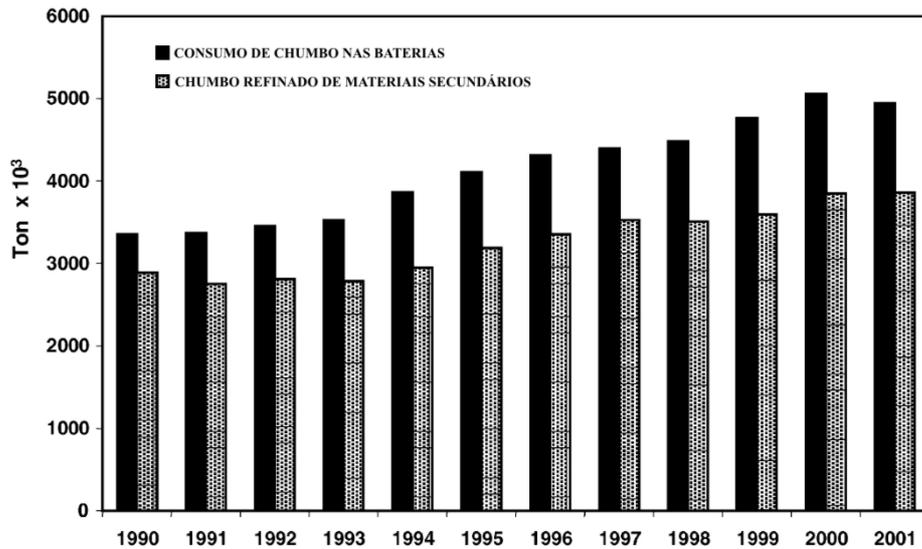


Figura 2 - Comparação entre o consumo de chumbo da indústria de baterias automotivas e a produção de origem secundária (ROBERTS, 2003).

As baterias de carros são recicladas em todo o mundo, mas em diferentes taxas, chegando a 95% nos países da União Européia e a 50% nos países menos desenvolvidos. O percentual de reciclagem de chumbo das baterias podem atingir a marca de 95%, entretanto no Brasil, a marca oscila entre 70% e 80% (FRANCALANZA, 2000).

### 2.1.3 Produção Primária

A obtenção de chumbo primário ou chumbo mineral se inicia com a extração da galena, composta, basicamente, de sulfeto de chumbo (PbS), contendo ainda pequenas quantidades de cobre, zinco, ferro, prata e traços de outros elementos.

Esse minério, que se encontra há muitos metros de profundidade, após extração, passa por trituradores e moinhos de bolas, até atingirem a forma de pós, com granulometria na faixa de 65 – 325 mesh. Após uma prévia separação, por gravidade e/ou flotação seletiva, as partículas de metal são separadas da ganga (material mineral não aproveitado), sendo então lavado, filtrado e seco. É esse pó que é a matéria-prima no processamento do chumbo primário.

O processamento do chumbo primário é composto por três etapas que são a sinterização, a redução e o refino do metal. A sinterização é a etapa onde o pó de minério de chumbo, constituído de sulfeto de chumbo é transformado em óxido de chumbo, quando é submetido à alta temperatura. Como resultado obtém-se oxidação do chumbo (SPEAR, 1998).

A redução do óxido de chumbo, segunda etapa no processamento, do minério vindo da sinterização se dá em forno vertical a 1600 °C. Neste processo, o pó de minério sinterizado, previamente moído, é colocado no forno juntamente com carvão, ferro, escórias de processos de refino anteriores, sílica, pedra calcária e pó proveniente dos filtros de mangas. Aproximadamente, 80 % da carga consiste de sinterizado contendo de 28 a 50% de chumbo.

No forno, que é alimentado constantemente por ar enriquecido por oxigênio, o carvão tem combustão parcial, reação esta que gera monóxido de carbono e atmosfera redutora, sendo propícia para reduzir o óxido de chumbo a chumbo elementar.

No processo, o chumbo metálico, mais denso, fica depositado no fundo do forno, e é coletado em cadinhos. Além do metal, o processo gera a escória, que é formada pela reação da maior parte das impurezas contidas na carga com a sílica e a pedra calcária. A escória é composta principalmente por ferro, zinco e calcário. A escória é separada do chumbo fundido pela drenagem e disposta como resíduo. O chumbo obtido passa por processo de refino, onde nova escória é formada.

### **2.1.4 A Reciclagem de Chumbo – Produção Secundária**

A reciclagem de chumbo no Brasil é importante tanto do ponto de vista econômico como comercial, uma vez que o país não possui jazida comercial do metal desde 1995, e se não reciclasse necessitaria de uma maior quantidade da matéria-prima importada, prejudicando a balança comercial brasileira.

A reciclagem do chumbo é uma simples operação que envolve equipamentos não sofisticados. BOURSON e KASSEM em. TSOULFAS et all (2002); “a indústria de produção de chumbo secundário precisa de menos que

50% do capital de investimento que uma indústria de produção primária.”

Diferentes técnicas de reutilização e reciclagem podem ser aplicadas para a recuperação do chumbo de sucatas e resíduos. A escolha da técnica está principalmente relacionada a quais tipos de materiais estão presentes no produto acabado.

No caso das baterias automotivas, estas por serem constituídas basicamente por plásticos e chumbo, as técnicas de recuperação podem ser divididas em dois métodos. Um faz uso da bateria como recebida, usando grande parte da sua estrutura original, ocorrendo somente substituição de alguns componentes, e portanto, retornando-a ao uso original. O outro prega a completa separação dos componentes, que pode ser automatizada ou não, e refusão dos componentes com chumbo, para sua recuperação.

Segundo ARAI e TOUGURI (1984), uma típica sucata de bateria contém, aproximadamente, 32%Pb, 3%PbO, 17% PbO<sub>2</sub> e 36% PbSO<sub>4</sub>, além de plásticos e componentes ácidos. A média de peso da pasta residual de uma bateria usada é de 6 kg, onde 19% é PbO<sub>2</sub>, 60% PbSO<sub>4</sub>, e 21%Pb.

A presença de grandes quantidades de PbSO<sub>4</sub> (sulfato de chumbo) gera vapores de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) durante as operações de refusão nos processos pirometalúrgicos, causando graves problemas ambientais.

Na Tabela 2 tem-se a composição típica de uma bateria SLI (starting, lighting and ignition), apresentada por TSOULFAS et al (2002).

Tabela 2 – Composição típica de uma bateria SLI.

<b>Componentes</b>	<b>Porcentagem</b>
Massa ativa (PbO, PbSO <sub>4</sub> )	38,5
Ácido (H <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	20
Chumbo Metálico	27,7
Grids	1,4
Separadores	4,9
Caixa	7,5

O processo de reciclagem do chumbo das baterias envolve a fusão em forno rotativo da massa constituída das peças com elevado teor de chumbo, mais ferro (FeO) e carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

LEWIS e BEAUTMENT (2002) citam que no processo de produção de chumbo secundário a partir da reciclagem das baterias automotivas os resíduos gerados são: o ácido das baterias e dos metais nele contido, gases e particulados e a escória.

O ferro atua como um coletor de enxofre, fixando o S como FeS. O  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  atua como um formador de fluxo no processo, com o papel de abaixar o ponto de fusão e diminuir a viscosidade do fundido.

Como pode ser observado no diagrama de equilíbrio, apresentado na Figura 3, para altas concentrações de ferro há aumento nas temperaturas de fusão.

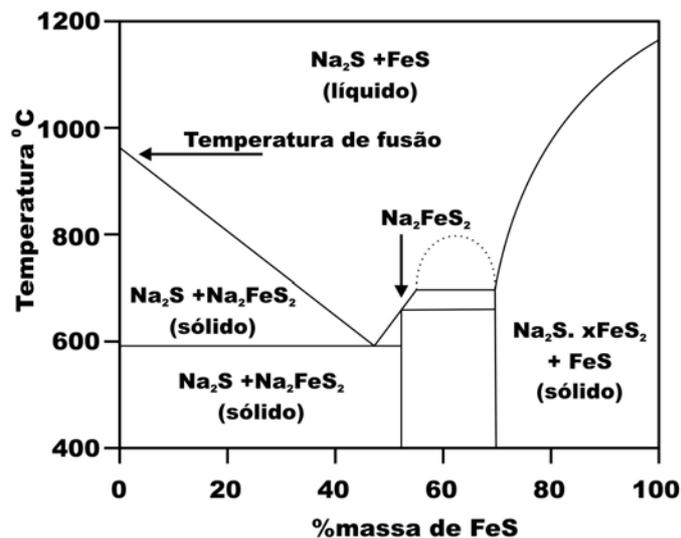


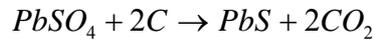
Figura 3 - Diagrama de fase –  $\text{Na}_2\text{S}$ - $\text{FeS}$ .

Pela observação da Figura 3 tem-se por exemplo que: para 80% de massa de ferro, a temperatura de fusão deve ser de no mínimo  $975\text{ }^\circ\text{C}$ , para que ocorra a fusão completa do complexo  $\text{Na}_2\text{S}\cdot\text{xFeS}_2$  e do  $\text{FeS}$ . Se a temperatura não for suficientemente alta, o complexo  $\text{NaFeS}$  começará a solidificar e aumentará a viscosidade do fundido. Esse aumento de viscosidade faz aumentar o tempo de operação, juntamente com um aumento na perda de chumbo na escória.

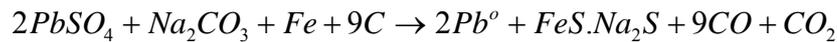
Mas, se o teor de ferro for, aproximadamente, 53% massa de Fe, o complexo sólido  $\text{Na}_2\text{S}\cdot\text{FeS}_2$  funde a  $650\text{ }^\circ\text{C}$ , sendo portanto, essa a melhor faixa para se operar a reciclagem do chumbo. A correta relação Na:Fe também

assegura uma menor quantidade de escória gerado ao final do processo (LEWIS e BEAUMENT, 2002).

O'CONNELL et al. (1989), propuseram a seguinte reação que ocorre dentro forno:



QUENEAU et al. (1989), propuseram:



Observando ambas reações, tem-se que a razão molar de Fe:S são diferentes, correspondendo a 1:1 para reação proposta por O'Connell, e 0,5:1 para a de Queneau.

LEWIS e BEAUMENT (2002) ilustraram que para o forno que foi objeto de seu estudo, a razão Fe:S obedeceu a primeira reação; e que concentrações elevadas de Fe produzem excessivas quantidades de escória, alta viscosidade do fundido, mais gasto de energia e maiores perdas de Fe.

LEWIS e BEAUMENT (2002) procederam ao cálculo da quantidade de carbono necessária pra a completa reação de redução do  $PbSO_4$  em  $PbO$  e concluíram que somente um pequena quantidade de carbono fica disponível para a reação de redução ocorrer e, ainda, que uma incompleta reação de redução dentro do forno pode ser evidenciado pela presença de  $PbO$  nos gases de exaustão e na escória.

### 2.1.5 A Escória de Chumbo

Tanto no processo primário, como no processo de reciclagem de chumbo, o resíduo majoritário no processo é a escória. MACHADO (2002), indica uma faixa de 150 a 300 Kg de escória por tonelada de chumbo reciclado. Apesar da grande quantidade, a escória é uma fase muito importante nos processos piro-metalúrgicos, pois atua como um depósito no qual as espécies não desejadas podem ser descarregadas, além de proteger o banho do metal de indesejáveis trocas térmicas que causariam o aumento da viscosidade do fluído e,

conseqüentemente, um aumento no consumo de energia.

Numa análise preliminar a este projeto de pesquisa, realizada na empresa que cedeu o resíduo de escória que foi utilizado na presente trabalho, levantou a relação entre a quantidade de chumbo produzido e a quantidade de escória gerada. Os resultados mostraram que em média 400 kg de escória são gerada para cada 1000 Kg de chumbo produzido. Essa diferença deve-se ao fato da quantidade de escória que é gerada depender grandemente do controle do processo de recuperação.

No laudo de classificação de resíduos sólidos realizados na escória de chumbo da mesma empresa, em abril de 2003, de acordo com as normas brasileiras; a escória foi classificada como resíduo perigoso – classe I, devido ao teor de chumbo obtido (4.100 mg/kg) na massa bruta do resíduo estar acima do limite especificado na norma.

MACHADO (2002), analisando duas amostras de escória, obteve que a concentração de chumbo encontrada foi de 1,4% em massa, caracterizando a escória como resíduo perigoso.

### **2.1.6. Composição Química da Escória de Chumbo**

A revisão bibliográfica mostrou uma grande variabilidade na composição química da escória de chumbo e que, assim como a quantidade de escória gerada no processo, é dependente do processo piro-metalúrgico.

Os resultados de MACHADO (2002), LEWIS e BEAUTMENT (2002), DE ANGELIS (2002); e AQUINO (2004), que estão apresentados na Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6, respectivamente, confirmam a grande variabilidade na composição desse tipo de escória.

Mais duas Tabelas são apresentadas, Tabela 7 e Tabela 8, e tratam-se de dados obtidos por pesquisadores que fazem parte do grupo do Laboratório de Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, onde o presente trabalho foi desenvolvido.

## Revisão Bibliográfica

Tabela 3 – Composição química de escória - MACHADO (2002).

<b>Elementos</b>	<b>Resultados</b>
Al (mg/kg)	9862
Sb (mg/kg)	46
As (mg/kg)	68
Cd (mg/kg)	1,2
Pb (%)	1,4
Co (mg/kg)	< LQ
Cu (mg/kg)	318
Cr (mg/kg)	483
S (%)	0,77
Fé (%)	20,1
Mg (mg/kg)	5741
Mn (%)	0,41
Ni (mg/kg)	10,9
Ag (mg/kg)	< LQ
Se (mg/kg)	< LQ
Zn (mg/kg)	1614

Tabela 4 – Composição química da escória - LEWIS e BEAUTEMENT (2002).

<b>Elementos</b>	<b>Resultados (%)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Sn	0,7	0,3
Sb	0,4	0,5
Pb	9,2	11
Fe	22,2	8,7
S	7,6	2,2
Zn	1,6	1,3
As	0,15	0,2
Al	1,2	5,3
Ca	1,3	0,3
Na	16,1	5,4

Tabela 5 – Composição química de escória - DE ANGELIS (2002).

<b>Elementos</b>	<b>Resultados (%)</b>
Pb	16,7
Fe	40,8
Si	3,0
Zn	1,0
Sn	0,31
Al	0,75
Sb	0,27
Cu	1,2

Tabela 5 – Composição química de escória - DE ANGELIS (2002) (continuação).

Elementos	Resultados (%)
As	0,10
Mn	0,25
Ni	0,11
Cr	0,07
Cd	0,02
Na	0,37
K	0,09
Mg	0,26
Ca	1,3
Sr	0,01
Ba	0,13
Cl	0,72
S	11,2
H <sub>2</sub> O	6,3

Tabela 6 – Composição química da escória - AQUINO (2004).

Elementos	Resultados (%)
SiO <sub>2</sub>	3,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37
MnO	0,47
CaO	1,98
Na <sub>2</sub> O	0,45
K <sub>2</sub> O	0,05
TiO <sub>2</sub>	0,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	76,90
MgO	0,57
Ba	0,15
Cr	0,17
Cu	0,23
Pb	4,82

Nos valores apresentados, ve-se que DE ANGELIS (2002) apresenta um dado que os outros autores não apresentaram. O dado H<sub>2</sub>O, refere-se ao teor de água no resíduo, indicando neste caso que o resíduo não fora estocado segundo as normas usualmente empregadas, na qual o resíduo deve ser acondicionado em lugar protegido das intempéries como ação do vento e da chuva.

Mymrin, em um trabalho preliminar realizado na empresa que cedeu a escória para esse estudo, encontrou os valores apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Composição química da escória.

Elementos e	Resultados (% peso)
Na <sub>2</sub> O	0,30
MgO	0,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,01
SiO <sub>2</sub>	23,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21
SO <sub>3</sub>	11,1
K <sub>2</sub> O	0,86
CaO	1,95
TiO <sub>2</sub>	0,23
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,25
MnO	0,68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55,5
CuO	0,03
ZnO	0,03
ZrO <sub>2</sub>	0,02
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10
MoO <sub>3</sub>	<<
SnO <sub>2</sub>	0,48
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03
BaO	0,30
PbO	1,34

KREUSCH (2005), visando verificar a variabilidade da composição dentro da escória, analisou a composição química em três pedras de escória, tomando em cada uma três amostras; uma na sua porção superior, outra na porção média e a terceira na porção inferior. No total, foram feitas nove análises de FRX, e os resultados estão apresentados na Tabela 8. A Figura 4 mostra uma pedra de escória, com as três regiões consideradas por KREUSCH (2005).



Figura 4 - Foto de uma Pedra de Escória, e regiões da análise de KREUSCH (2005).

## Revisão Bibliográfica

Tabela 8 – Composição química de escória - KREUSCH (2005).

ELEMENTO	Escória A				Escória B				Escória C			
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	I	II	III	MÉDIA	I	II	III	MÉDIA	I	II	III	MÉDIA
<b>Fe</b>	39,11	38,54	38,57	<b>38,74</b>	43,81	43,63	44,17	<b>43,87</b>	42,89	44,96	43,53	<b>43,79</b>
<b>O</b>	38,67	38,38	37,91	<b>38,32</b>	36,41	36,87	36,17	<b>36,48</b>	38,52	37,35	36,30	<b>37,39</b>
<b>S</b>	14,35	8,20	9,17	<b>10,57</b>	6,74	8,59	4,06	<b>6,46</b>	11,60	8,05	2,81	<b>7,49</b>
<b>Pb</b>	<b>3,75</b>	<b>2,36</b>	<b>2,97</b>	<b>3,03</b>	<b>3,61</b>	<b>3,38</b>	<b>2,19</b>	<b>3,06</b>	<b>2,78</b>	<b>2,23</b>	<b>1,67</b>	<b>2,23</b>
<b>Cu</b>	1,65	1,03	0,98	<b>1,22</b>	0,16	0,19	0,07	<b>0,14</b>	0,27	0,17	0,04	<b>0,16</b>
<b>C</b>	1,33	-	-	<b>0,44</b>	-	-	-	<b>0,00</b>	-	-	-	<b>0,00</b>
<b>Zn</b>	0,30	0,42	0,38	<b>0,37</b>	0,45	0,47	0,51	<b>0,47</b>	0,54	0,45	0,50	<b>0,49</b>
<b>Si</b>	0,26	6,72	5,47	<b>4,15</b>	5,41	3,74	7,93	<b>5,70</b>	1,97	4,35	9,62	<b>5,32</b>
<b>Sn</b>	0,08	0,05	0,05	<b>0,06</b>	0,09	0,09	0,06	<b>0,08</b>	0,06	0,06	0,04	<b>0,05</b>
<b>Sb</b>	0,07	0,05	0,06	<b>0,06</b>	-	-	-	-	0,02	-	-	<b>0,01</b>
<b>Cl</b>	0,07	0,10	0,14	<b>0,10</b>	0,05	0,04	0,05	<b>0,05</b>	0,04	0,05	0,05	<b>0,05</b>
<b>Mn</b>	0,06	0,38	0,32	<b>0,25</b>	0,36	0,32	0,40	<b>0,36</b>	0,20	0,36	0,57	<b>0,38</b>
<b>Ca</b>	0,05	1,11	0,92	<b>0,69</b>	0,90	0,62	1,58	<b>1,03</b>	0,31	0,71	1,67	<b>0,89</b>
<b>Ba</b>	0,05	0,25	0,10	<b>0,13</b>	0,15	0,09	0,24	<b>0,16</b>	-	0,09	0,32	<b>0,20</b>
<b>K</b>	0,05	0,27	0,21	<b>0,18</b>	0,25	0,18	0,36	<b>0,27</b>	0,12	0,16	0,36	<b>0,21</b>
<b>Ni</b>	0,04	0,03	0,04	<b>0,04</b>	0,03	-	-	<b>0,01</b>	0,04	-	-	<b>0,01</b>
<b>Mo</b>	0,04	0,02	0,03	<b>0,03</b>	0,03	0,03	0,04	<b>0,03</b>	0,02	-	0,03	<b>0,02</b>
<b>Al</b>	0,04	1,03	0,70	<b>0,59</b>	0,59	0,38	0,93	<b>0,63</b>	0,17	0,43	1,18	<b>0,59</b>
<b>Se</b>	0,02	0,01	0,01	<b>0,02</b>	-	-	-	<b>0,00</b>	0,01	0,01	v	<b>0,01</b>
<b>Ti</b>	0,02	0,21	0,17	<b>0,13</b>	0,20	0,18	0,23	<b>0,20</b>	0,09	0,17	0,23	<b>0,16</b>
<b>Zr</b>	0,01	-	0,02	<b>0,01</b>	0,02	0,02	0,03	<b>0,02</b>	0,01	0,02	0,02	<b>0,02</b>
<b>V</b>	-	-	1,14	<b>0,38</b>	-	-	-	<b>0,00</b>	-	-	-	<b>0,00</b>
<b>Sr</b>	-	0,08	-	<b>0,04</b>	-	-	0,01	<b>0,00</b>	-	-	0,10	<b>0,03</b>
<b>Rb</b>	-	-	-	<b>0,00</b>	-	0,15	-	<b>0,05</b>	-	-	-	<b>0,00</b>
<b>P</b>	-	0,05	0,03	<b>0,03</b>	-	0,04	0,05	<b>0,03</b>	0,01	0,03	0,05	<b>0,03</b>
<b>Na</b>	-	0,26	0,15	<b>0,14</b>	0,19	0,19	0,43	<b>0,27</b>	0,13	0,09	0,41	<b>0,21</b>
<b>Mg</b>	-	0,10	0,08	<b>0,06</b>	0,13	0,09	0,09	<b>0,10</b>	-	0,05	0,16	<b>0,07</b>
<b>Ir</b>	-	0,10	0,10	<b>0,07</b>	-	0,12	0,12	<b>0,08</b>	-	-	0,08	<b>0,03</b>
<b>I</b>	-	0,01	0,30	<b>0,10</b>	-	0,21	-	<b>0,07</b>	0,15	0,24	0,01	<b>0,13</b>
<b>Cr</b>	-	0,24	-	<b>0,08</b>	0,38	0,40	0,29	<b>0,35</b>	0,05	-	0,24	<b>0,10</b>
<b>Co</b>	-	-	-	<b>0,00</b>	0,05	-	-	<b>0,02</b>	-	-	-	<b>0,00</b>

Um olhar mais atento aos dados apresentados por KREUSCH, 2005, mostra que a concentração de chumbo aumenta quando se desloca no sentido da região inferior (região I). Esse comportamento pode ser explicado pela maior densidade do chumbo. A média dos valores para o teor de chumbo, considerando todas as análises foi de 2,77%.

### 2.1.7. Composição Mineralógica da Escória de Chumbo

Na composição mineralógica da escória de chumbo da empresa “Tamarana Metais Ltda” o orientador desse trabalho encontrou os seguintes minerais: Ferro metálico – Fe, Óxido de Ferro – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Troilita – FeS, Fayalita – Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, Plumbojarosita – PbFe<sub>6</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(OH)<sub>12</sub>, Plattnerita – PbO<sub>2</sub> e Pb-metálico.

LEWIS e BEAUTMENT (2002), apresentaram como resultado o composto anglesita (PbSO<sub>4</sub>) como a fase principal do chumbo, wurtzita (ZnS) e hidróxido de Zinco [Zn(OH)<sub>2</sub>] para o zinco.

A escória de chumbo apresenta uma forte tendência de ser um material amorfo, entretanto, algumas fases cristalinas encontram-se presentes, principalmente, as que contém ferro (sulfetos e óxidos), e chumbo, que se encontra na forma de sulfeto e arsenato, como pode ser observado na Figura 5 (DE ANGELIS, 2002).

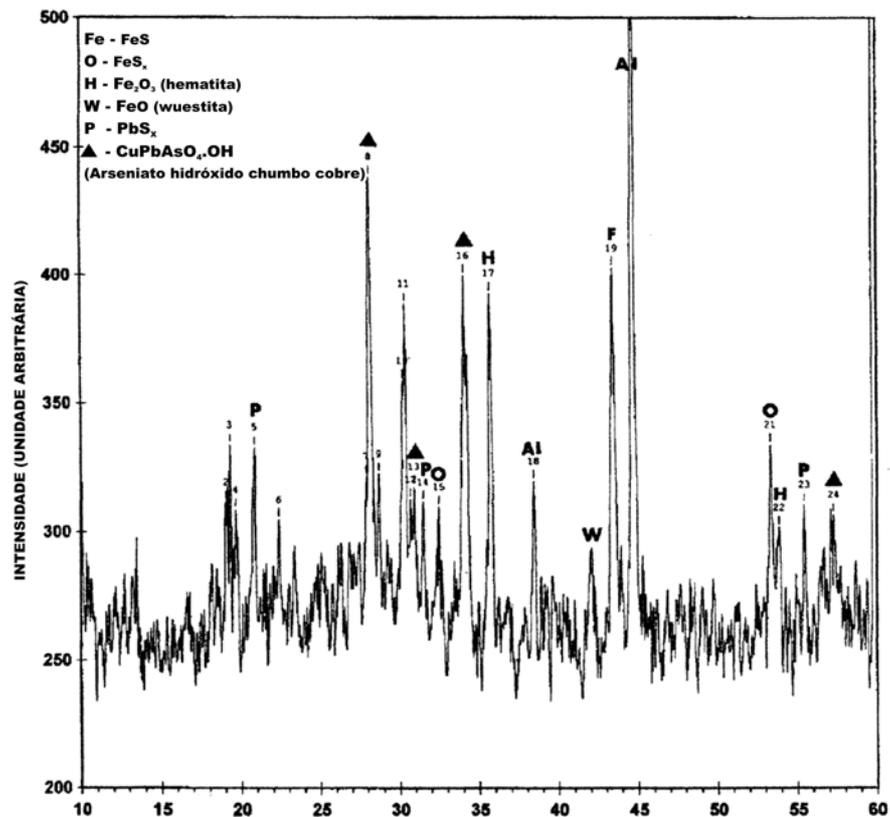


Figura 5 - Difratograma de Raios X – Escória de chumbo (DE ANGELIS, 2002).

### 2.1.8. Técnicas de Reutilização de Escória de Chumbo.

O estudo relacionado à reutilização dos resíduos com chumbo tem seguido duas vertentes; uma, passa pelo uso de matriz com cimento, e a outra usa o processo de vitrificação.

DE ANGELIS (2002); fez composições com teores crescentes de escória, misturados a cimento puro, e depois misturados a cimento e areia. Os resultados e as discussões apresentados pelo autor podem ser resumidos como: a mistura de escória com cimento, e cimento/areia não mostrou diferenças na trabalhabilidade; os valores de resistência mecânica foram reduzidos pelo aumento da quantidade de escória; o chumbo foi altamente lixiviado das amostras e as análises da água revelaram que a alta alcalinidade do cimento cria condições favoráveis para a liberação do chumbo. Devido aos resultados obtidos, o autor sugere a adoção de outros tipos de matriz ou matriz modificada.

A segunda hipótese tem sido muito empregada para estudos de inertização de resíduos perigosos e reutilização como materiais de construção (BARBIERI, 2000) (COLOMBO, 2003) (KAVOURAS, 2003) (PISCIELLA, 2001).

AQUINO (2004) fez uso da técnica de vitrificação para tratar escória de chumbo. A estabilização dos metais pesados pelo processo de vitrificação é conhecida como uma boa forma de inertização, devido à alta resistência química dos vidros no meio ambiente. Usando uma composição com 60% de  $\text{SiO}_2$ , 20% de  $\text{Na}_2\text{O}$  e 20% escória, que foi submetida à fusão na temperatura de  $1500\text{ }^\circ\text{C}$  durante duas horas, resfriou-se em água, gerando um frita. Os resultados mostraram a inertização do resíduo, na medida em que os valores obtidos nos ensaios de lixiviação e solubilização foram abaixo dos limites apresentados na norma ABNT NBR 10004. O mesmo autor, por meio dos resultados do ensaio de dilatométrica e DRX E DTA na frita, sugeriu que a massa inertizada poderia ser usada como esmalte para telhas.

## 2.2. CERÂMICA VERMELHA

Cerâmica vermelha é o ramo da cerâmica que compreende materiais com coloração vermelha, no qual as argilas são utilizadas na fabricação de materiais para construção civil, tais como; tijolos, telhas blocos, ladrilhos de piso, manilhas e cerâmica utilitária.

Na norma brasileira NBR-7181 (ABNT, 1984c), as argilas são definidas como “aqueles solos cujo diâmetro das partículas é menor do que 5  $\mu\text{m}$  (5 microns), com alta plasticidade quando umidecidas e quando secas formam torrões de difícil desagregação pela pressão dos dedos”.

Segundo PETRUCCI (1976), denomina-se “argila ao conjunto de minerais, compostos principalmente de silicatos de alumínio hidratado, formados na crosta terrestre pela desintegração de rochas ígneas, sob a ação incessante dos agentes atmosféricos”.

VERÇOSA (1979), em NUVOLARI (2002), afirma que as argilas são constituídas, essencialmente, de partículas cristalinas extremamente pequenas, formadas por um número restrito de substâncias denominadas argilominerais. NORTON (1973), citou ainda, que essas espécies cristalinas, ou seja, os argilominerais, podiam ser agrupados em espécies mineralógicas bem definidas, onde citam-se: minerais do grupo da Caulinita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ); do grupo da montmorilonita ou esmectita ( $2[(\text{Al}_{1,67}\text{Mg}_{0,33})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$ ); minerais micáceos (exemplo: moscovita –  $\text{Al}_4\text{K}_2(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ ); minerais de alumínio hidratados (exemplo: gibsita –  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ; diásporo –  $\text{AlOOH}$ ).

KINGERY (1976), classifica os argilominerais baseado na estrutura em: grupo da Caulinita, grupo da montmorilonita, e grupo da illita; mas acrescenta outro grupo associado ao elemento cloro, que foi denominado grupo Clorita.

São os tipos de argilominerais presentes e seus componentes que irão conferir algumas características importantes ao material cerâmico. NORTON (1973), cita que a montmorilonita é o único mineral em que as moléculas de água penetram espontaneamente, entre as lamelas da estrutura, causando o inchamento; e que na gibsita, as ligações são fracas; assim, o mineral é mole e fragmenta-se, adquirindo pelo aquecimento, uma estrutura porosa com relativa

facilidade.

Como os argilominerais são resultantes da desagregação do feldspato presente nas rochas ígneas, por ação da água e do gás carbônico e como as rochas ígneas e os feldspatos são de diversos tipos, pode-se dizer que não há duas jazidas de argila rigorosamente iguais.

Os resultados de composições químicas das argilas, de um modo geral, podem ser interpretados da seguinte forma:

- ❖ Perda ao fogo – É proveniente principalmente dos diversos tipos de água presentes nas argilas e matéria-orgânica. Os componentes voláteis de matéria orgânica, sulfetos, sulfatos e carbonatos, quando presentes, são incluídos nesta determinação.
- ❖  $\text{SiO}_2$  – a maior fração está relacionada com a  $\text{SiO}_2$  combinada, ou seja, aquela pertencente aos argilominerais. A outra está relacionada com a sílica livre em suas diversas variedades cristalinas e amorfas. A sílica livre diminui a plasticidade e a retração das argilas, além de, em alguns casos, aumentar a refratabilidade, dependendo dos outros elementos e da temperatura de queima.
- ❖  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – O alumínio existente numa argila está em sua maior parte combinado, formando os argilominerais. Se presente na forma livre, a alumina aumenta a refratabilidade das argilas.
- ❖  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – seus efeitos são, principalmente, na alteração da cor das massas cerâmicas após a queima e na diminuição da refratabilidade. Para teores elevados de Fe e baixos teores de  $\text{SiO}_2$  ocorre formação de grande quantidade de magnetita, causando o escurecimento do produto, dificultando a formação de fase vítrea.

- ❖ CaO e MgO – são fundentes e podem se apresentar como componentes de argilominerais, e por reagirem com fases amorfas e formarem fases cristalinas que são mais estáveis frente à ação da umidade.
- ❖ Na<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O – são fundentes e, portanto, fundamentais para o processo de vitrificação. Nas argilas o teor de óxido de potássio geralmente é bem superior ao do óxido de sódio.

Na fabricação de cerâmicas vermelhas, as argilas são moídas e então conformadas por diferentes métodos, e os corpos cerâmicos conformados são queimados em diferentes temperaturas, dependendo do tipo de produto que esteja sendo fabricado.

Os pisos cerâmicos, por exemplo, são conformados por prensagem do pó semi-seco, sob pressões de 20 MPa, devendo vitrificar totalmente (porosidade aparente inferior a 5%), apresentando cor vermelha, sem manchas e sem deformação ou empenamentos quando queimados em temperaturas entre 1000 e 1150 °C. Já os tijolos com furos, são obtidos via processo de extrusão, que emprega o pó na forma de pasta plástica, que é forçada através de um molde para formar uma coluna contínua, a qual é cortada nos tamanhos apropriados, e então queimados em temperaturas na faixa de 850 à 1050 °C (NORTON, 1973).

Consideram-se como as etapas de processamento: obtenção, preparação, conformação dos pós-cerâmicos e sinterização.

Uma etapa de fundamental importância no processamento é a preparação da massa cerâmica, pois é nesta etapa que são conferidas determinadas características que influenciarão as propriedades pós processamento e nas propriedades finais do produto.

Uma composição ideal de massa cerâmica deve apresentar os seguintes fatores:

- ❖ deve possuir uma proporção de materiais plásticos (argilas) e não-plásticos (quartzo, feldspato,..) de modo a possibilitar uma fácil

compactação e que o compacto a verde formado possua resistência mecânica que permitam o seu manuseio e transporte.

- ❖ ter uma composição química/mineralógica que possibilite a queima numa ampla faixa de temperatura, bem como vitrificação suficiente para promover boas propriedades finais.
- ❖ deve ter o menor tamanho de partículas possíveis, pois quanto menor o tamanho de partícula, maior a área superficial, e segundo KINGERY (1976), é a força motriz para a densificação.

### 2.2.1 Compactação dos Pós

O objetivo desta etapa é consolidar as partículas no formato pré-determinado, fazendo uso de uma carga que é aplicada ao material, suficiente para permitir o manuseio do corpo. KINGERY (1976), justifica que a resistência mecânica do corpo a verde é dada pelo amarramento mecânico entre as irregularidades das superfícies das partículas.

Na compactação do pó, a distribuição granulométrica é muito importante, pois se espera que pós com uma larga distribuição de tamanho das partículas tenham uma maior densidade a verde, e apresentem maior densificação na etapa de sinterização, que outro que possua uma distribuição mais estreita.

Um processo muito usado na comunidade científica é a conformação por prensagem uniaxial (CAMPOS,2004) (CORREA, 2004) (GHOSH, 2002) (MARGHUSSIAN, 1999) (NUNES, 2004) (SOUZA, 2001) (SOUZA,2004). A prensagem uniaxial é a técnica que consiste da aplicação de uma carga sobre uma matriz metálica contendo o pó cerâmico, em uma única direção.

O grande problema da prensagem uniaxial é a não uniformidade da densidade. Variações de densidade dentro do mesmo corpo causam o empenamento, distorção ou fissuração, podendo ocorrer pós-secagem ou pós-queima.

Os grandes responsáveis por essa variação é o atrito entre o pó cerâmico e as paredes do molde e o atrito entre as próprias partículas do pó. Compostos orgânicos como amido, produtos derivados de milho e ceras, podem ser adicionados à mistura para aumentar a plasticidade ou escoamento e reduzir o atrito nas paredes do molde (NORTON, 1973).

Na Figura 6 é mostrada a distribuição da densidade num molde sob duas condições de prensagem.

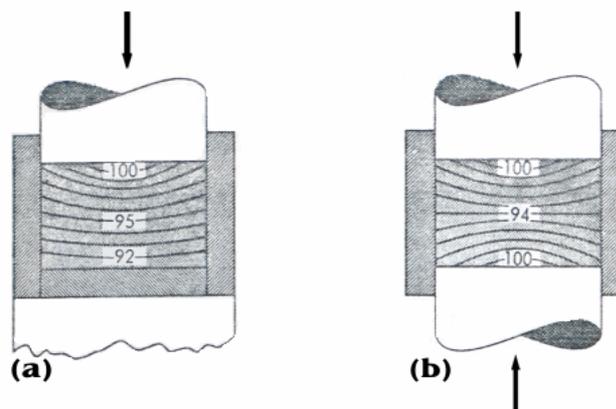


Figura 6 - Distribuição da densidade num molde sob várias condições de prensagem: a) prensagem de um só lado; b) prensagem dos dois lados. (NORTON, 1973).

### 2.2.2 Sinterização

A sinterização é usualmente denominada de queima quando se trabalha com cerâmica vermelha. É um processo termodinâmico de não equilíbrio, no qual um corpo compactado atinge uma estrutura sólida após ter sido submetido a um tratamento a alta temperatura. Na produção de materiais cerâmicos tradicionais, a sinterização em fase sólida e a sinterização em fase líquida são as mais frequentemente usadas.

O processo de sinterização no estado sólido é caracterizado pela existência de três estágios:

a) estágio inicial: caracterizado pela formação de contatos inter partículas desde a compactação, seguida pela formação e crescimento de pescoços, até o

ponto no qual eles começam a interferir entre si. Nesse estágio a retração é pequena, da ordem de 8% do total possível de ocorrer para aquele corpo. Quanto ao tamanho de grão, esse ainda não difere tanto do tamanho inicial da partícula (GERMAN, 1994).

b) estágio intermediário: caracterizado pelo crescimento do pescoço e pela densificação do compacto. Nesse estágio os poros se tornam mais esféricos e praticamente desaparece a porosidade aberta. Os grãos se tornam bem maiores que os tamanhos das partículas iniciais.

c) estágio final: os poros remanescentes diminuem até desaparecerem ou migrarem para dentro do contorno de grão, com a eliminação quase que total da porosidade. Nesse estágio a densificação praticamente atinge o seu ponto máximo. O crescimento dos grãos é evidente, aparecendo rapidamente grãos com grandes tamanhos.

O processo de sinterização que mais ocorre em cerâmicas tradicionais é via fase líquida. Esse processo normalmente envolve a mistura de pós, sendo que um deles deve ter o ponto de fusão mais baixo, de modo a produzir uma fase líquida que envolva a fase sólida, aumentando a velocidade de sinterização do outro pó. A taxa de densificação no processo via fase líquida é muito maior que via fase sólida, podendo ser processada em tempo relativamente curto. A sinterização via fase líquida é caracterizada pela existência de três estágios:

a) no primeiro estágio ocorre a formação da fase líquida. O líquido formado espalha-se entre as partículas sólidas, preenchendo os espaços vazios. A densificação ocorre rapidamente devido ao arranjo das partículas molhadas pelo líquido e à contínua eliminação dos poros. Esse processo depende da viscosidade do líquido, que tem ampla faixa de variação entre as cerâmicas.

b) no segundo estágio as partículas sólidas começam a se dissolver na fase líquida e precipitar na região de contato, no processo térmico conhecido como solução-precipitação. A solubilidade do sólido varia inversamente com o tamanho de grãos, grãos menores se dissolvem com mais facilidade e precipitam nos maiores. Com isso, o número de grãos diminui, e o tamanho daqueles que permanecem, aumenta.

c) o terceiro estágio poderá ocorrer ou não, dependendo da quantidade de líquido formado. No estágio anterior, à medida que as partículas sólidas vão se decompondo, o líquido vai sendo consumido e, ao final do processo, se ainda existir uma certa quantidade de líquido separando os grãos, o terceiro estágio não vai ocorrer. No entanto, se a quantidade de líquido for pouca ou nenhuma, permitindo o contato entre os grãos, então, a partir daí, passa a se desenvolver o terceiro estágio que é caracterizado pela sinterização em fase sólida. Neste último estágio praticamente não ocorre mais a densificação, predominando o crescimento de grãos.

### **2.3. RESÍDUOS EM MASSAS CERÂMICAS VERMELHA**

A revisão sobre adição de resíduos em argilas, incluindo os de origem industrial e os ditos não perigosos, foi feita com base na literatura nacional e internacional. Trabalhos que utilizassem escórias do processo de reciclagem de baterias automotivas com argila não foram encontrados.

Os trabalhos apresentados nesta revisão foram divididos conforme o tipo de resíduo utilizado, em: resíduos de vidro, resíduos de escórias; resíduos de rochas ornamentais; e outros resíduos.

#### **2.3.1 Resíduos de vidro**

A utilização de vidro como matéria-prima na indústria da cerâmica vermelha é apresentada nos trabalhos de SETZ (2001); e GODINHO (2004).

O primeiro autor, utilizando 6 e 13% de vidro na massa cerâmica, prensagem uniaxial, e queima à 1000 °C, versou sobre as mudanças nas características de absorção de água, retração de queima e resistência mecânica. Os valores de resistência mecânica passaram pelo tratamento estatístico de Weibull, de onde foram retirados os valores de módulo de Weibull e carga de fratura característica apresentados. SETZ (2001), mostrou que a adição do vidro aumentou a tensão característica de ruptura obtida pelo método de Weibull,

reduziu a absorção de água e aumentou a retração linear em comparação com os corpos confeccionados somente com a argila. Na Tabela 9 é mostrado um resumo dos dados apresentados pelo autor.

Tabela 9 – Resumo dos resultados apresentados por SETZ (2001).

<b>Amostra</b>	<b>Resistência à flexão</b>	<b>Absorção de água</b>	<b>Retração de queima</b>	<b>Carga de Ruptura</b>	<b>Módulo de Weibull</b>
Argila	7,8 MPa	15,1 %	3,6 %	7,3 %	2,5
Argila + 6%vidro	11,3 MPa	12,7 %	5,4 %	10,4 %	3,8
Argila + 13% vidro	10,7 MPa	11 %	7,3 %	12 %	3

GODINHO (2004); utilizou a mesma quantidade de vidro (6%), mas fez uso de três tipos de vidro (vasilhame, plano, e de tubo de TV), prensagem uniaxial (25 MPa), e queima nas temperaturas de 900 °, 975 °, e 1050 °C. O autor apresentou o seu resultado baseado na análise nos parâmetros de absorção de água, retração de queima, e resistência à flexão três pontos.

O comportamento das composições com a adição de vidro em comparação com a argila pura, assim como SETZ (2001), mostrou uma queda nos valores de absorção de água, e um aumento para a retração de queima e resistência à flexão.

Os valores para as composições com vidro de vasilhame e plano apresentaram influência similar nos parâmetros estudados; já a composição tendo o vidro de tubo de TV mostrou a menor influência, resultado da sua granulometria mais grosseira. Análise de DRX, feita por GODINHO (2004), mostrou que as composições para as três temperaturas de queima não revelaram qualquer diferença quanto às fases mineralógicas identificadas, resultado da mesma interação entre a argila e os diferentes vidros. A Figura 7, sumariza os resultados da pesquisa de GODINHO (2004).

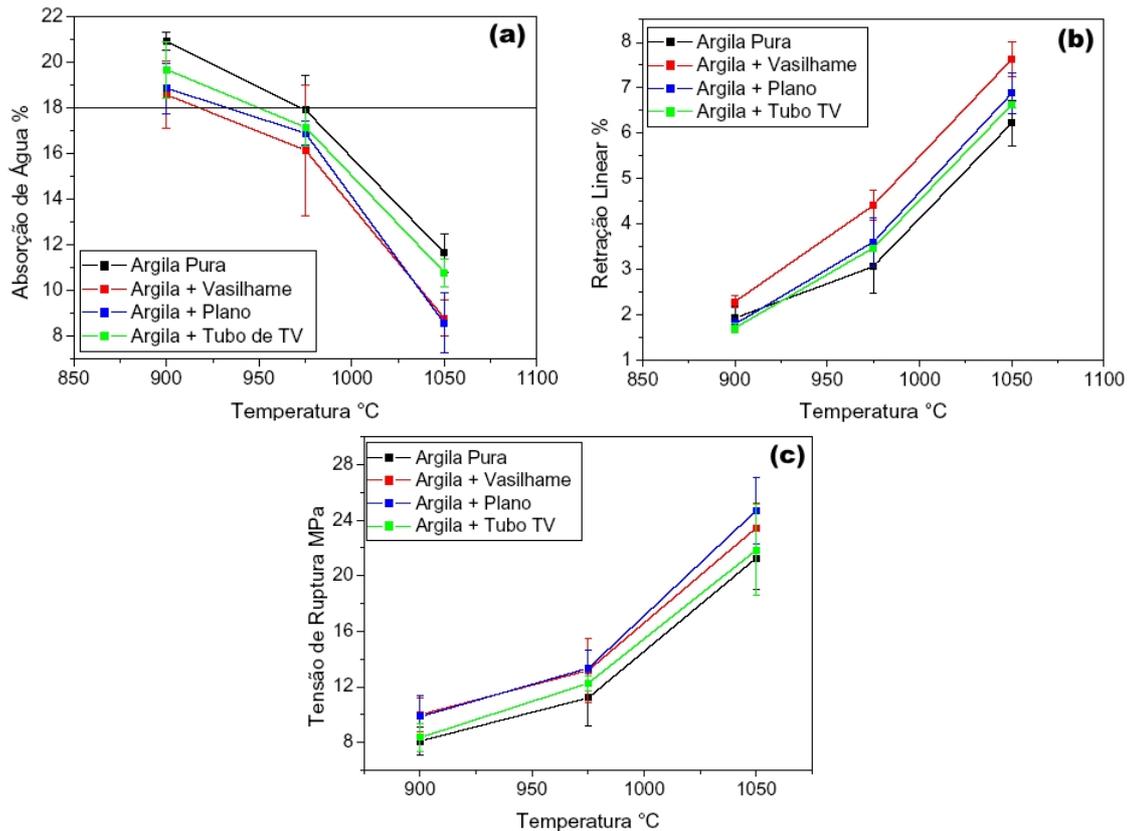


Figura 7 - Resultados de GODINHO (2004), em função da temperatura de queima: a) absorção de água; b) retração linear; e c) resistência à flexão.

### 2.3.2 Resíduos de Escória

MARGHUSSIAN (1999), fez uso da escória de cobre, que foi adicionada a uma massa cerâmica, nos teores de 0% (composição A), 20% (composição B), 40% (composição C), 60% (composição D), 80% (composição E) e 100% (composição F); conformação por prensagem uniaxial em duas etapas, usando 12 MPa como pré-carga, e 32 MPa como carga; e queima nas temperaturas de 1000 °C, 1025 °C, 1050 °C, e 1075 °C, com um patamar de 1 hora na temperatura máxima.

As composições químicas do trabalho de MARGHUSSIAN (1999) estão apresentadas a seguir na Tabela 10. Os parâmetros analisados foram absorção de água, resistência à flexão, e retração de queima, e estão apresentados na Figura 8.

Tabela 10 – Composição Química – MARGHUSSIAN (1999).

Óxido	Composição					
	A	B	C	D	E	F
SiO <sub>2</sub>	65,19	60,34	<b>55,50</b>	<b>50,65</b>	48,81	40,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,84	15,02	<b>12,21</b>	<b>9,40</b>	6,59	3,78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,13	13,06	<b>21</b>	<b>28,92</b>	36,85	44,78
TiO <sub>2</sub>	0,03	0,14	<b>0,25</b>	<b>0,36</b>	0,47	0,58
CaO	20,27	2,86	<b>3,45</b>	<b>4,05</b>	4,64	5,24
MgO	0,65	0,75	<b>0,85</b>	<b>0,95</b>	1,05	1,16
K <sub>2</sub> O	1,52	1,62	<b>1,72</b>	<b>1,82</b>	1,92	2,03
Na <sub>2</sub> O	1,33	1,12	<b>0,92</b>	<b>0,71</b>	0,50	0,3
S	-	0,21	<b>0,42</b>	<b>0,63</b>	0,85	1,06
Perda ao Fogo	5,63	4,50	<b>3,37</b>	<b>2,25</b>	1,12	-

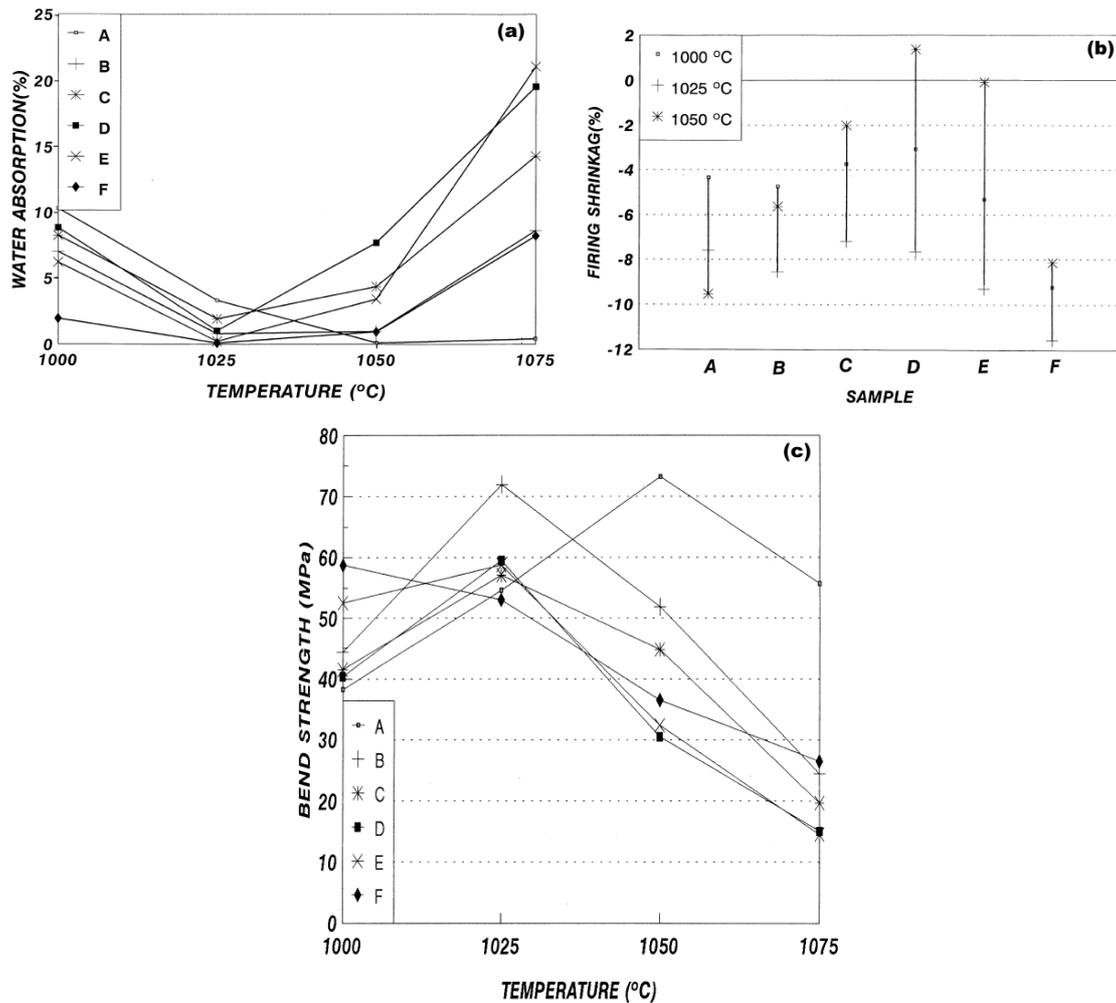


Figura 8 - Resultados de MARGHUSSIAN (1999), em função da temperatura de queima:

a) absorção de água; b) retração linear; e c) resistência à flexão.

O mesmo autor concluiu que a adição de 20 a 80% em peso de escória à composição argilosa, aumentou os valores de contração de queima e resistência à flexão, e diminuiu os de absorção de água, para temperaturas de até 1025 °C, para todas as composições.

Para temperaturas maiores, observou-se o contrário, o que foi justificado pelo autor como resultado das transformações de fayalita para hematita, magnetita para hematita, e emissão de SO<sub>2</sub> devido à oxidação de sulfetos. A composição C, com 40% de escória e queimada à 1025 °C foi a que apresentou os melhores resultados, com 57 MPa de resistência à flexão, 2% de absorção de água, e apresentou uma alta resistência a meios ácidos e podem ser usados

como piso, segundo o autor.

GHOSH (2002), fazendo uso de escória de alto forno, formulou composições com argila, com teores de 0% a 100% de escória, com variações de 10%; conformadas sob prensagem uniaxial com 30 MPa de pressão, no formato de placas; e queimadas a 1150 °, 1175 °, e 1200 °C, com duas horas de patamar.

Os resultados da resistência à flexão, absorção de água e contração linear de queima, foram apresentados em função da razão do teor de CaO pelo de SiO<sub>2</sub>, e estão apresentados na Figura 9.

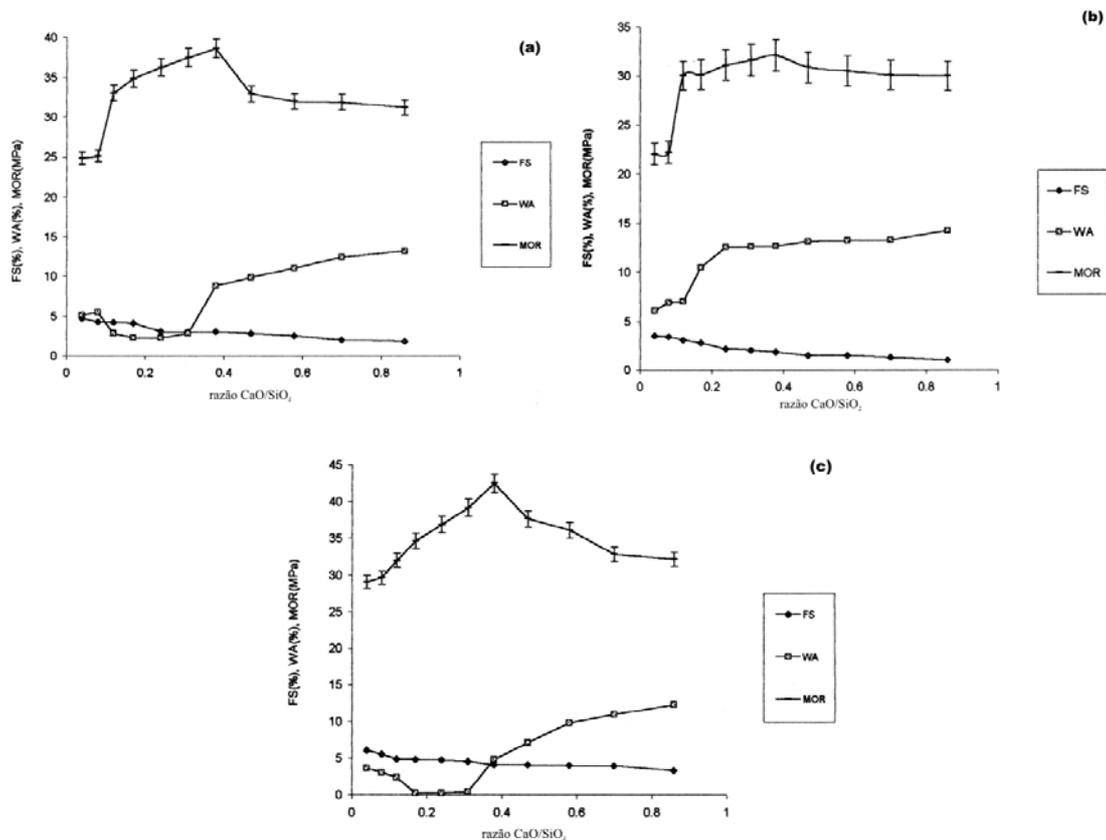


Figura 9 - Resultados de GHOSH (2002), resistência à flexão, absorção de água e contração linear de queima para queima por duas horas a: a) 1150°C; b) 1175 °C; e c) 1200 °C.

Os resultados obtidos por GHOSH (2002), mostram que ocorreu um aumento nos valores de resistência à flexão nas amostras com até 50% de escória, justificada pela formação de grandes quantidades de pequenos grãos ligados a matriz vítrea; a adição de quantidades superiores de escória, devido à

pequena quantidade de fase líquida mostrou uma queda nos valores de resistência mecânica. As composições com razão  $\text{CaO/SiO}_2$  na faixa de 0,1 a 0,3; foram as que apresentaram os resultados, e que justificam o seu uso como piso cerâmico.

OLIVEIRA (2004), utilizou um resíduo de metalurgia do aço na preparação de massas cerâmicas com teores de 0% (composição M0), 0,5% (composição M1), 1% (composição M2), 1,5% (composição M3), 2% (composição M4), 2,5% (composição M5), e 3,0% de escória; que por extrusão geraram corpos-de-prova, que por sua vez foram queimados à temperatura de  $950\text{ }^\circ\text{C}$  por duas horas.

O resíduo da metalurgia do aço usado apresentou na sua análise química ferro como componente majoritário. Ferro total (63,47%), seguido por  $\text{SiO}_2$  (14,81%),  $\text{CaO}$  (8,10%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (6,06%),  $\text{SO}_3$  (2,53%), C (2,66%),  $\text{K}_2\text{O}$  (0,97%),  $\text{MnO}$  (0,75%),  $\text{ZnO}$  (0,39), e  $\text{TiO}_2$  (0,25%). A argila utilizada foi do tipo caulinitica.

OLIVEIRA (2004), avaliou as propriedades dos corpos-de-prova para retração linear de queima, densidade aparente, absorção de água, e resistência à flexão. Os resultados obtidos pelo autor está apresentada na Figura 10.

Os resultados mostram que todos os corpos tiveram retração de queima na faixa de 1,81 a 2,34%, o que segundo o autor está dentro dos limites para a produção industrial; que até o limite de 1% de resíduo os valores de retração apresentou um aumento, seguindo de uma diminuição com a elevação no teor do resíduo. O autor explica que esse comportamento está relacionado com a característica não-plástica do resíduo. Os valores de densidade aparente ficaram na faixa de 1,56 a  $1,64\text{ g/cm}^3$ ; e os valores de absorção de água, que é um indicativo da quantidade de poros abertos (porosidade aberta), mostrou uma pequena variação, ficando na faixa de 22,60 a 26,08%. O valor da resistência à flexão apresentou um aumento nos seus valores até o limite de 1% de resíduo; corroborando com os valores de retração de queima e absorção de água. Os valores de resistência ficaram na faixa de 7,6 a 10,1 MPa.

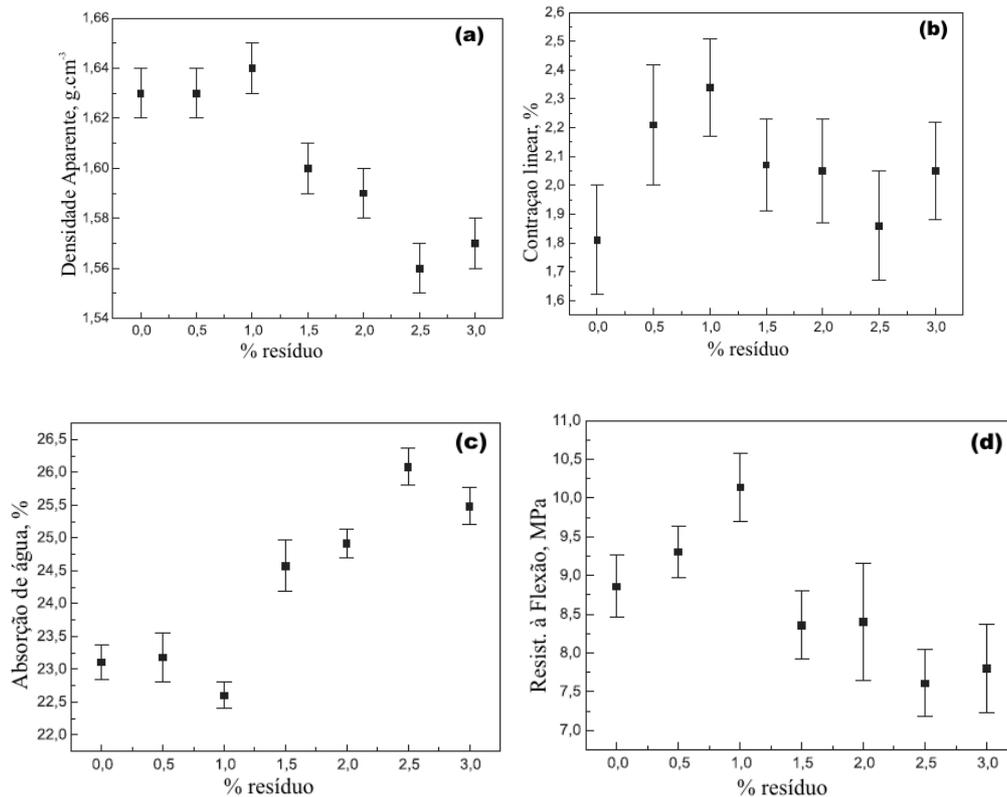


Figura 10 - Resultados obtidos por OLIVEIRA (2004), com: a) densidade aparente; b) retração linear de queima; c) absorção de água; e d) resistência à flexão.

### 2.3.3. Resíduos do Processamento de Rochas Ornamentais

Os resíduos do processamento de rochas ornamentais são aqueles gerados durante a etapa de serragem das rochas, manufatura e acabamento do produto final. Esses resíduos se apresentam na forma de resíduos sólido e lama, que são gerados nos sistemas de lavagem dos gases e no tratamento dos efluentes utilizados nas etapas de corte, manufatura e acabamento.

VIEIRA (2004); SOUZA (2004); e NUNES (2004); fazem uso dos resíduos provenientes do processamento de granito; e MELLO (2004), utiliza uma lama que indicou a presença de resíduos de ardósia e mármore.

VIEIRA, sugeriu a utilização do resíduo de granito como potencial matéria-prima que poderia servir como fonte de fundentes, devido à presença de óxidos alcalinos. Os resultados da análise química desse autor, e dos outros

## Revisão Bibliográfica

autores supra mencionados, que trabalharam com o resíduo de granito, estão apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Composição química dos resíduos de granito.

Óxido	Composição – Resíduo de Granito (%peso)			
	VIEIRA (2004)	SOUZA (2004)	NUNES (2004)	MELLO (2004)
SiO <sub>2</sub>	67,14	63,51	60,20	38,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,92	15,50	13,80	6,93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,40	5,92	6,30	1,46
TiO <sub>2</sub>	0,73	0,55	-	0,24
K <sub>2</sub> O	5,18	3,48	3,63	2,83
Na <sub>2</sub> O	2,93	1,07	3,38	1,23
CaO	1,91	0,35	6,02	23,59
MgO	0,73	1,80	-	4,33
Perda ao Fogo	0,50	4,50	2,57	20,88

Percebe-se uma certa variabilidade na composição do resíduo de granito, e isto é resultante da sua origem natural; entretanto, valores bem diferentes foram obtidos por MELLO (2004), e o fato está relacionado ao tipo de resíduo usado pelo autor, que de fato era proveniente do sistema de tratamento de efluentes, sendo então, resultante do processo de tratamento que teria na sua composição os elementos característicos do resíduo e os dos materiais usados no tratamento do efluente.

VIEIRA (2004) e SOUZA (2004) utilizaram nas suas composições 0%, 10%, 20%, 30%, e 40% de resíduo ; NUNES (2004), 20%, 30%, 35%, e 44% de resíduo; e MELLO (2004), 0%, 8%, 16%, 24%, 32%, e 40% de resíduo. Assim

como as composições, os ciclos de queima utilizados foram diferentes: VIEIRA (2004) a 970 °C por seis horas; SOUZA (2004) de 1000 ° a 1200 °C (intervalo de 50 °C) por 6 minutos; NUNES (2004) de 1050 ° a 1150 °C (intervalo de 50 °C) por 40 minutos; e MELLO (2004) de 850 ° a 1150 °C (intervalo de 50 °C) por 2 horas.

Apesar dos pesquisadores terem utilizado argilas com composições químicas relativamente diferentes, misturas com diferentes teores de resíduo, e processos de conformação diferentes, já que SOUZA (2004) e NUNES (2004) usaram o processo de prensagem uniaxial, com 25 MPa, e 20 MPa de pressão, respectivamente; e VIEIRA (2004) e MELLO (2004) terem usado o processo de extrusão; os resultados podem ser assim resumidos:

VIEIRA (2004) – os resultados indicaram que a crescente adição do resíduo de granito à argila, aumentou a retração linear de queima e a densidade, diminuí a absorção de água e manteve a resistência à flexão relativamente constante. O comportamento apresentado pelas composições com adição do resíduo foi explicado pelo aumento no teor de fundentes quando comparados à argila pura, proporcionando um aumento na quantidade de fase líquida nas temperaturas mais altas, promovendo a densificação. A resistência à flexão é fortemente dependente da porosidade e defeitos estruturais e, devido ao aumento da densificação, esperava-se aumentar o valores de resistência com o aumento do teor de resíduo na composição, entretanto, o autor dá como uma causa para a queda dos valores o aumento no teor de quartzo, que durante a queima sofre uma variação volumétrica a 573 °C, causando o aparecimento de micro trincas. A análise da porosidade mostrou uma diminuição na porosidade total, assim como uma distribuição de tamanho de poros mais fina, fato este explicado também pelo aumento no teor de fundentes.

SOUZA (2004) – os resultados mostraram comportamento similar aos obtidos por VIEIRA (2004). Além das observações já apresentadas por VIEIRA (2004), o pesquisador indica que o comportamento de aumento da tensão de ruptura à flexão com o aumento da temperatura de queima para todas as composições de estudo foi devido à redução da porosidade e à maior consolidação microestrutural associada à sinterização que ocorreu. A melhor composição obtida visando à obtenção de revestimento semiporoso foi com 10%

de incorporação de granito à argila caulínica, alcançando os valores de absorção de água e tensão de ruptura à flexão, recomendados pela norma.

NUNES (2004) – os resultados mostraram comportamento similar aos obtidos por VIEIRA (2004), e SOUZA (2004).

MELLO (2004) – com adição do resíduo em todas as porcentagens, notou-se uma queda da retração, e aumento do módulo de ruptura à flexão até a temperatura de 1100 °C. O autor indicou que com 24% e 32% de resíduo incorporado, foram obtidos resultados satisfatórios à temperatura de 1150 °C para a fabricação de tubos cerâmicos, apresentando valores de 0,99% e 1,40% respectivamente; e retração de 12% e 14%. A partir da temperatura de 1050 °C, os resultados mostraram que todas as composições são indicadas para fabricação de revestimento por extrusão.

### **2.3.4 Outros Resíduos em Argila.**

Neste item, encontram-se comentados os trabalhos utilizando outros tipos de resíduos, dentre os quais temos resíduos de: borra de petróleo; de xisto betuminoso; de lodo galvânico; e de pó de aciaria.

SOUZA (2001), usando resíduos de borra de petróleo e argila caolinica, montou composições com teores de 0%, 5%, 10%, 15%, e 20%; que foram queimadas as temperaturas de 950 °C por uma hora.

O resíduo oleoso foi gerado durante o processo de tratamento do óleo extraído em águas profundas, sendo esse resíduo, atualmente, misturado a um agente encapsulante (bentonita organofílica) para assim poder ser disposto em aterro sanitário sem a liberação de metais pesados e demais substâncias tóxicas; ao final deste processo o resíduo denominado borra de petróleo encapsulada é gerado, e consiste de água, material sólido, óleo e enxofre; bem como o agente encapsulante. Foi este resíduo na forma de pó, com secagem ao ar, e posterior passagem em peneira até a fração <60 mesh que foi utilizado na pesquisa de SOUZA (2001).

Pela confecção de corpos-de-prova por prensagem uniaxial, com 25 MPa, numa matriz cilíndrica com 10 mm de diâmetro, seguido de secagem à 110 °C por

24 h e posterior queima, o autor procedeu à determinação das seguintes propriedades: absorção de água, retração linear de queima e resistência à compressão diametral e, para finalizar, a microestrutura das superfícies de fratura dos corpos-de-prova foram avaliadas por MEV.

Os resultados de SOUZA (2001), mostraram que a absorção de água dos corpos-de-prova diminuiu muito pouco com a adição do resíduo de borra de petróleo, e que isso é um indicativo de que o resíduo não modificou a porosidade aberta dos corpos cerâmicos. O mesmo não pode ser dito para a retração linear de queima, que apresentou uma queda com a adição do resíduo, o autor explica esse comportamento pela presença de componentes não-plásticos no resíduo adicionado à massa argilosa. A resistência à compressão diametral mostrou o mesmo comportamento da retração linear de queima. Os valores de resistência foram 33% menor quando comparado à composição sem resíduo, apesar dos valores de porosidade não terem sido grandemente afetados, indicando que a densificação das massas cerâmicas não foi afetada pela presença do resíduo. O autor explica esse comportamento pelos exames da microestrutura onde os resultados obtidos indicaram a presença de partículas de quartzo e de sulfato de bário as quais provavelmente funcionaram como concentradores de tensão, reduzindo a resistência mecânica do material queimado.

FLORENCIO (2002); utilizou dois tipos resíduos do beneficiamento do xisto betuninoso, que foram adicionados a uma composição argilosa, na quantidade de 1%, 3%, e 5%. A moldagem dos corpos-de-prova foi efetuada via extrusão, tendo perfil de quadrado, e com comprimento de 10cm. Os corpos-de-prova foram secos nos mesmos procedimentos utilizados por SOUZA (2001), e queimados nas temperaturas de 850 °C, 925 °C, 1000 °C, e 1075 °C, com tempo de patamar de uma hora. O autor avaliou as propriedades de retração linear de secagem; resistência à flexão antes da queima; absorção de água; retração linear de queima e resistência à flexão pós queima.

Os resultados apresentados por FLORENCIO (2002), mostraram um aumento nos valores de retração linear de secagem com o aumento no teor de resíduo na massa argilosa para os dois resíduos utilizados (um retornado e outro em pó). O fato foi explicado pelo aumento da plasticidade da massa, entretanto o

resíduo retortado mostrou uma maior influência que o na forma de pó, e isto o autor justifica pela granulometria mais grosseira do resíduo na forma de pó que diminui a plasticidade da mistura.

Já, os valores de resistência à flexão pós secagem, mostrou um considerável aumento para a massa com resíduo retortado e uma queda para a massa que fez uso do resíduo na forma de pó. Essa diferença se deve à maior porosidade da massa cerâmica com o resíduo em pó, devido aos menores valores de retração de secagem.

Com relação à resistência mecânica, o resultado de FLORÊNCIO (2002), mostrou que houve uma tendência de ligeiro aumento deste parâmetro com a incorporação de “retortado” à 850 °C, a 1000 °C e a 1075 °C, com menor desempenho à 925 °C. Os resultados utilizando os finos de xisto, a temperatura mais baixas, não influenciaram significativamente com incorporações de 1%, mas com o aumento do percentual observou-se uma tendência no sentido da diminuição da resistência mecânica. A absorção de água, de um modo geral tanto para o retortado como para os finos de xisto, diminuiu com relação à massa argilosa.

BALATON (2002), estudou a incorporação do resíduo gerado no tratamento dos efluentes gerados nos processos de limpeza, lavagem e recobrimento das peças metálicas no processo de galvanização. O resíduo galvânico, também denominado de “lama galvânica” é composto por metais utilizados no processo mais um aditivo à base de ferro, que é usado no tratamento do efluente.

Inicialmente, BALATON (2002), formulou três composições argilosas utilizando diferentes teores de dois tipos diferentes de argilas encontradas na região que, após homogeneização, foram conformadas por extrusão (150 mm de comprimento; 15,5 mm de largura e espessura), secos à 70 °C por 24 h, e então queimados a três temperaturas distintas (850 °C, 900 °C e 950 °C) sem patamar de queima.

Retração de secagem, resistência à flexão a seco, retração linear de queima, absorção de água e tensão de ruptura à flexão foram os parâmetros determinados por BALATON (2002), nas composições argilosas. Após verificação da composição que apresentou os melhores resultados dentro das especificações de normas de telhas, esta foi escolhida como testemunho.

BALATON (2002), formulou, utilizando a melhor composição argilosa, três massas cerâmicas (com 2% e 5% de resíduo; e com 2% de resíduo previamente lavado) que passaram pelo mesmo processo de avaliação tecnológica. O autor fez uso de uma composição com resíduo lavado devido ao fato dos corpos-de-prova apresentarem machas na superfície após secagem; fato este justificado pelo autor pela presença de sais solúveis, que durante a secagem migra junto com a água e deposita-se na superfície.

Os resultados mostraram que a adição de 5% de lama não lavada torna a massa inadequada ao uso, devido ao aumento na porosidade do corpo, causado pela formação das manchas, fazendo a resistência diminuir e a absorção de água aumentar. Nas composições com teores de 2% não houve grandes alterações nos parâmetros tecnológicos quando comparado à composição argilosa sem resíduo. Os testes de lixiviação e solubilização mostraram que a incorporação da lama galvânica na massa cerâmica vermelha, vem a ser uma boa alternativa para a inertização do resíduo, podendo se configurar numa etapa que fecharia o ciclo de tratamento da lama galvânica.

MONTEDO (2003), trabalhou com pó de aciaria, que foi adicionado a uma massa cerâmica industrial, nos teores de 0%, 2%, 3%, 5%, e 10%. De cada uma destas composições, por extrusão, foram confeccionados corpos-de-prova, que foram secos ao ambiente e depois à 60 °C, e então queimados a 970 °C por 3 h. O autor avaliou os parâmetros de retração linear de secagem, retração linear de queima, absorção de água, e resistência mecânica à flexão. Na Figura 11 é apresentado resumo dos resultados apresentados pelo autor.

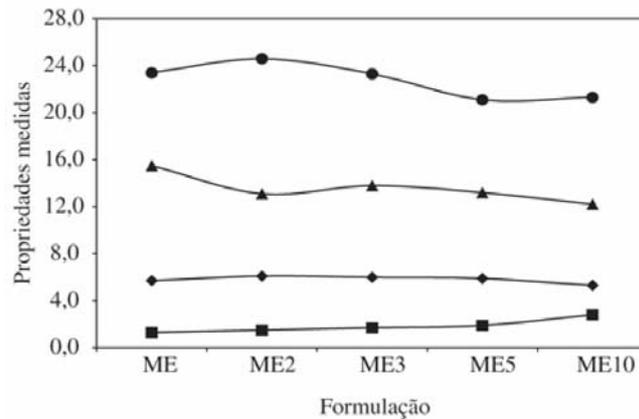


Figura 11 - Resultados obtidos da adição de pó de aciaria à massa de cerâmica

vermelha esmaltada: ◆Retração de secagem (%); ■ % Retração de queima

(%); ▲ Absorção de água (%); ● % Resistência mecânica (N/mm<sup>2</sup>). ME:

massa de cerâmica vermelha esmaltada; ME2: massa de cerâmica vermelha

esmaltada contendo 2% em peso de pó de aciaria; ME3: massa de cerâmica

vermelha esmaltada contendo 3% em peso de pó de aciaria; ME5: massa de

cerâmica vermelha esmaltada contendo 5% em peso de pó de aciaria; ME10:

massa de cerâmica vermelha esmaltada contendo 10% em peso de pó de aciaria.

MONTEDO (2003), por meio dos resultados obtidos, concluiu que o uso do resíduo “pó de aciaria” causou um aumento da sinterabilidade do material, aumentando a retração de queima e reduzindo a absorção de água.

Entretanto, o mesmo autor afirma que devido à redução na plasticidade da massa com teores crescentes de resíduo, os valores de resistência mecânica foram reduzidos. O autor estimou que a quantidade máxima de pó de aciaria à massa cerâmica, que agregará ganhos nas características finais do produto, fica em torno de 3%.

## 2.4 – VIDROS DE CHUMBO.

O processo de sinterização de cerâmica tradicional, como dito anteriormente, envolve a formação de uma fase líquida em altas temperaturas, que quando resfriada vai gerar um material vítreo nos contornos dos grãos que vai dar coesão e resistência à peça.

Saber como o chumbo está ligado, em qual fase por exemplo, é importante para podermos determinar as principais influências o resíduo de escória pode causar a formação da fase líquida.

Iniciaremos com aspectos conceituais e gerais sobre os vidros, e ao fim abordaremos assuntos relativos aos vidros de chumbo.

### 2.4.1 – Vidro.

A definição de vidro, passa pela idéia da fusão de uma mistura de componentes, e que essa massa fundida, quando submetida ao abaixamento de sua temperatura, prolonga-se no estado líquido, entendendo-se que a dureza adquirida não é a solidificação propriamente dita, e sim, um aumento progressivo da viscosidade durante todo o período de resfriamento .

Fisicamente, o vidro é um líquido super-resfriado, rígido, sem ponto de fusão definido, com viscosidade alta o suficiente para impedir a sua cristalização. Quimicamente, é o resultado da união de óxidos inorgânicos não voláteis, provenientes da decomposição e da fusão de compostos alcalinos e alcalinos-terrosos e de outras substâncias em conjunto com a sílica, formando um produto final de estrutura atômica amorfa em seus silicatos.

Os materiais pertencentes ao estado vítreo, assim como os vidros, possuem as seguintes propriedades :

- ❖ Possuem estrutura amorfa (não são cristalinos);
- ❖ Possuem o mesmo índice de refração em todas as direções, não

- atuando sobre a luz polarizada;
- ❖ Predominantemente transparentes, embora existam os translúcidos e os opacos;
- ❖ Baixa condutividade térmica, elétrica e acústica ;
- ❖ Instabilidade a altas temperaturas; quando expostos por longo período a uma temperatura acima de seu ponto de amolecimento, cristalizam-se, fenômeno chamado desvitrificação;
- ❖ Não possuem ponto de fusão definido; não há uma temperatura definida para que haja a mudança de fase. Acontece o amolecimento gradativo até ser atingido o estado líquido.

A fusão da mistura vitrificável é um processo complexo. A fusão inicia-se com as reações químicas entre os componentes da mistura, seguindo com a eliminação dos gases formados e a homogeneidade da massa fundida, terminando com o acondicionamento desta última a uma temperatura e viscosidade adequadas para permitir a conformação, segundo os distintos processos e os produtos que se desejam obter.

De um modo geral, as reações químicas se iniciam ainda no estado sólido, a partir de 500°C, variando esta temperatura de acordo com a composição, granulometria e homogeneidade da mistura . Entre 500 e 750° C se formam compostos intermediários, e à medida que se aumenta a temperatura, têm-se presentes fases líquidas de ponto eutético relativamente baixos, diminuindo o ponto de fusão da sílica . A temperaturas superiores, superiores a 1400° C a massa está perfeitamente fluida e todas as reações químicas estão consumadas .

Os vidros são compostos por três tipos de óxidos:

a) formadores de rede: inclui óxidos que formam poliedros, que podem formar cadeias, pela ligação com os tetraedros de  $\text{SiO}_4^{4-}$  da rede associado com o  $\text{SiO}_2$  vítreo.

b) Modificadores de rede: óxidos alcalinos e alcalinos terrosos, tais como  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$  não formam poliedros na estrutura vítrea mas, mas ao invés, tende a

## Revisão Bibliográfica

---

quebrar a continuidade da rede de cadeias de poliedros de SiO<sub>2</sub>. Estes modificadores fazem o vidro se formar mais facilmente em uma dada temperatura mas aumenta a sua reatividade em condições no ambiente.

c) Intermediários: esses óxidos não podem formar vidro, mas podem substituir os íons Si<sup>4+</sup> na rede, e lá contribuir pra a estabilidade da rede.

Tabela 12 (SHACKELFORD, 1996) relaciona alguns óxidos formadores, modificadores e intermediários.

Tabela 12 - Óxidos formadores, modificadores e intermediários.

Formadores de Rede	Intermediários	Modificadores
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O
GeO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	CaO
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		MgO
		BaO
		PbO
		ZnO

Tabela 13 (VAN VLACK, 1984) dá uma noção das possíveis variações na composição deste material, levando em conta os tipos mais comuns de vidro.

Tabela 13 - Composição química de diferentes tipos de vidros comerciais.

Tipo	Componentes Majoritários %						Propriedades
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	
Para Janelas	72	14	10	1		2	Alta Durabilidade
Chapa (Arquitetura)	73	13	13	1			Alta Durabilidade
Recipientes	74	15	5	1		4	Fácil trabalhabilidade e Resistência Química
Bulbo de Lâmpadas	74	16	5	1		2	Fácil Manejo
Borosilicato (Pirex)	81	4		2	12		Pouca expansão térmica, pouca troca iônica
Sílica Fundida	99						Expansão térmica bem baixa, e alta viscosidade

O vidro tem as suas propriedades de transparência; cor; elasticidade; resistências mecânica, térmica e química; e faixa de amolecimento diretamente relacionada à sua composição.

Os constituintes elementares para a indústria do vidro são:

❖ Óxidos ácidos

○ A Sílica.

- A sílica é indispensável pois, estruturalmente, devido às condições de eletrovalência, pode formar moléculas complexas, combinando-se até mesmo por polimerização. Na proporção em que *aumenta-se o teor de sílica* em uma composição, *aumenta-se a temperatura de amolecimento* da massa vítrea, sendo que para altos valores encontram-se os vidros classificados como vidros ricos em sílica, formando-se variedades alotrópicas Tridimita, (870°C) 80%-90% em teor de sílica e a Cristobalita, (1470°C-1710°C) com teor maior que 90% em sílica, conservando-se estáveis indefinidamente nas temperaturas ordinárias.

○ Bórax ( $\text{Na}_2 \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )

- O bórax tem a propriedade de tornar a massa vítrea fusível em menor temperatura e diminuir a viscosidade, permitindo o escape dos gases gerados na massa e o seu refino . As propriedades conferidas pelo bórax ao vidro, além das já citadas são : evita a

desvitrificação; torna-o mais brilhante; estimula a dissolução dos corantes (massa fluida); e aumenta a resistência química e, principalmente, a térmica.

### ❖ Óxidos básicos / alcalinos

- Destacam-se os óxidos dos metais alcalinos (Na, K, Rb, Cs) e os alcalinos-terrosos (Be, Mg, Ca, Ba, Sr, Ra). Destes, o principal é o sódio devido ao baixo custo e disponibilidade.
- São introduzidos na massa vítrea sob forma de carbonatos ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), sulfatos ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) e nitratos ( $\text{NaNO}_3$ ). Estes óxidos alcalinos de sódio, assim como os de potássio são também chamados de fundentes (reagem com os materiais vitrificantes facilitando a fusão em temperatura menor e permitem um período térmico de plasticidade maior).

Os fundentes são modificadores da cadeia molecular, fornecendo cátions livres para a estrutura, interagindo com os átomos de oxigênio covalentes ao silício, eliminando uma porcentagem destas pontes de ligações. Isto reduz a energia de ativação requerida para a movimentação atômica necessária à fluidez do vidro. A energia de ativação necessária para o fluxo viscoso diminui quanto menor for a porcentagem de átomos de oxigênio compartilhados por tetraedros adjacentes.

- Potássio
  - Introduzido na massa vítrea como carbonato calcinado ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) ou hidratado; ou na forma de sulfato, assim como o sulfato de sódio, porém há a liberação de  $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$ , prejudiciais ao refino do vidro. São usados moderadamente.

- Óxidos alcalinos-terrosos
  - A adição de carbonatos de metais alcalinos-terrosos, em especial o cálcico, produzindo CaO, proporciona a rigidez necessária para o vidro quando resfriado. Este óxido é um endurecedor, dando ao vidro a propriedade de ser moldado. O MgO possui comportamento semelhante.
  - Quanto ao BaO, é utilizado sob forma de carbonato precipitado, comunicando ao vidro um elevado índice de refração da luz, um amplo período térmico de plasticidade e a clarificação da massa fundida .
  - O CaO, assim como o  $Al_2O_3$  e PbO descritos abaixo, comporta-se como estabilizante, reagindo com os fundentes com a finalidade de tornar o vidro estável e inalterável pelos agentes atmosféricos e, em particular, pela água.
- Óxido de Alumínio - adicionado á massa ( $Al_2O_3$ ) sob forma de caulim e feldspato caso não haja o inconveniente dos álcalis solúveis, aumenta a resistência química e evita a desvitrificação .
- Óxido de Chumbo – (PbO) - utilizado em vidros especiais. Aumenta o índice de refração da luz (vidros óticos). É adicionado sob forma de Míneo ( $Pb_3O_4$ ) que despreendendo oxigênio (88 °C), comporta-se como agente de refino;

transformando-se em PbO (litargirio) de baixo ponto de fusão para a indústria do vidro .

- Óxido de Zinco - é refratário, exige temperaturas altas, sendo então pouco utilizado. Confere resistência química e opacidade

### ❖ Matérias-primas acessórias

- Relacionam-se os agentes de refino, ( $\text{As}_2\text{O}_3$  ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  ,  $\text{NaNO}_3$  ,  $\text{KNO}_3$ ); os descorantes, ( $\text{MnO}_2$  , Se, Co,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  ,  $\text{As}_2\text{O}_3$ ); os opacificantes, (fluoretos de cálcio, Na, ácido fluorídrico e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ); os corantes, (óxidos de metais pesados, principalmente os de transição com orbitais “d” incompletos) e sucata de vidros reciclados.

Os vidros podem ser classificados segundo o seu componente principal ou interesse por sua propriedade e aplicação.

- ❖ Vidro de silicatos alcalinos:- compostos de silicatos Na ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$ , e  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{SiO}_2$ ) e os de K, são solúveis em água (vidro solúvel, vidro de soda). Não são materiais vítreos verdadeiros. São usados comercialmente como soluções para preparação de catalisadores à base de sílica gel e de sílica, adesivos de papel.
- ❖ Vidros de Sílica Fundida :- obtidos pela fusão da sílica pura. Apresentam elevada resistência química e térmica, boas propriedades elétricas e de transmissão de radiações U.V. . Devido ao seu baixo coeficiente de expansão e elevado ponto de

amolecimento requer altas temperaturas para a fusão ; possuindo alta viscosidade, apresenta um curto intervalo de temperatura em que podem ser trabalhado e conseqüente operações de moldagem limitadas.

- ❖ Vidros Cálcicos:- para romper a solubilidade em água dos silicatos alcalinos, a cal (CaO) é adicionada, tomando-o rígido. Incorpora 90% da produção atual dos vidros. São produzidos a partir da fusão de uma mistura de sílica, cal e soda. Sua composição média regula nas proporções  $5\text{Na}_2\text{O}.7\text{CaO}.36\text{SiO}_2$  . O teor de cálcio, se baixo, diminui o ponto eutético e aumenta a durabilidade química. Substituindo-se nas mesmas proporções, o  $\text{Na}_2\text{O}$  por  $\text{K}_2\text{O}$ , melhoram-se as características de brilho e limpidez. Os vidros de cal possuem uma viscosidade suficiente para evitar a desvitrificação, fundem em temperatura não tão elevadas quanto os de sílica fundida, permitindo um longo intervalo de temperatura em que podem ser trabalhado.
- ❖ Vidros Borosilícicos :- são vidros de sílica, boro e álcalis (4-5% de  $\text{Na}_2\text{O}$ ). É o *Pyrex*, utilizado em portas de fornos caseiros, estufas, tubulações de vidro e de laboratório, isoladores elétricos de alta tensão e utensílios de cozinha. O boro entra em composição no teor de 12% e, para os vidros usados em vapores metálicos incandescentes usa-se um teor mais elevado. Como propriedades, apresentam resistência química, mecânica e térmica, resistência elétrica elevada e baixo coeficiente de expansão.

- ❖ Vidros de Chumbo :- Substituindo-se o CaO por PbO favorece-se o abaixamento do ponto eutético e conseqüente melhoria do intervalo de temperatura em que podem ser trabalhados . No subtítulo a seguir será discutido esse tipo de vidro a parte.

### 2.4.2 – Vidros de chumbo

O óxido de chumbo, não é um formador de vidro, mas vidros de chumbo podem ser feitos com até 90% PbO (o restante dos formadores é SiO<sub>2</sub> ou B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) onde é impossível formar uma rede contínua de Si<sub>2</sub>O ou B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (KINGERY, 1960).

Os vidros de silicatos de chumbo podem ser preparados a bastante baixas temperaturas (<1000 °C) e são estáveis mesmo quando o teor de PbO é maior que 65 % em mol.

Na estrutura do óxido de chumbo, o íon chumbo está rodeado por oito íons oxigênio, mais quatro deles está numa posição mais fechada que os outros (2,3 °A e 4,3 °A), de forma que o Pb pode ser considerado com tendo um número de coordenação de quatro com uma configuração quase planar. Esta estrutura pode existir pois o chumbo é um íon facilmente polarizável e sua Shell mais externa é distorcida. Aparentemente, junto com grupos SiO<sub>4</sub> ou BO<sub>3</sub>, o Pb<sup>+2</sup> pode atuar como um contribuidor na rede network, com íons de oxigênio ligados firmemente, e com um modificador para os íons de oxigênio mais fracamente ligados. Isto resulta numa habilidade de para formar vidro com altos teores de óxido de chumbo. (KINGERY, 1960).

WANG e ZHANG (1996) pesquisou o por que do vidro silicatos de chumbo com alta concentração de PbO não terminar pela destruição da rede tridimensional Si – O, contrário ao que ocorre com os vidros de silicato de alcalinos. Concluíram que a polaribilidade do Pb é dependente da concentração e cresce com o aumento do teor de PbO no vidro, resultando no aumento do grau covalente da ligação Pb – O (formação de redes de cadeias de pirâmides de PbO<sub>4</sub>). As regiões com baixos teores de chumbo (Pb<40% em mol), SiO<sub>2</sub>, é o principal formador na rede de cadeias. Nesta região a cadeia de tetraedros de

$\text{SiO}_4$  é mantida, mas com o aumento da concentração de  $\text{PbO}$  no vidro, pirâmides de  $\text{PbO}_4$  tendem a se agrupar para formar outra rede de estrutura. As regiões com maior teor de  $\text{PbO}$  maior que 40 % em mol, o  $\text{PbO}$  é o principal formador. Nesta região a rede de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  é extremamente destruída; as cadeias de pirâmides de  $\text{PbO}_4$  conectam com outros tetraedros de  $\text{SiO}_4$  pra formar um estrutura tridimensional.

Esta propriedade faz dos vidros de chumbo um material muito utilizado nas indústrias eletrônica, óptica, e de louças. Possuem alta resistência elétrica, sendo empregados em bulbos de lâmpadas, em tubos de lâmpadas de Neon, e em válvulas eletrônicas. Com excelente brilho, são usados em cristaleria fina.

### 2.2.4.1. Lixiviação dos Vidros de Chumbo

Na última década do século passado, um artigo publicado por GRAZIANO e BLUM (1991) causou impacto e preocupação às indústrias de vidro cristal. Os autores apresentaram resultados de testes que tinham feito sobre a migração de chumbo dos vidros que estocavam vinho. Apesar do assunto já haver sido publicado anteriormente, o artigo ganhou publicidade mundial e questões relativas a segurança desses tipos de vidros começaram a surgir.

A lixiviação do chumbo do vidro depende fundamentalmente de como os átomos de chumbo estão ligados na fase vítrea, e qual o tipo de fase cristalina que o chumbo se encontra, caso ocorra a devitrificação do vidro. KAVAOURAS (1991), trabalhando com a vitrificação de resíduos com elevados teores de chumbo, concluiu que a cristalização de Magnetoplumbita melhora a resistência a lixiviação, enquanto a presença de Hematita deteriora a resistência.

SCHULTZ, MEISEL, e GÜTLICH (1998) investigaram as diferenças estruturais entre a superfície recém fraturada e lixiviadas de vidros de silicato de chumbo contendo 16,7; 18,8; e 44,4%mol de  $\text{PbO}$ . Os resultados mostram que a lixiviação causou uma remoção de aproximadamente 90% dos modificadores. Enquanto que os vidros com baixos teores de chumbo exibiram uma fina e definida camada lixiviada, os com altos teores mostraram uma grossa camada sem muita definição. A lixiviação gera uma camada com menor teor de chumbo,

que a e, portanto, rica em Si. O chumbo que atua como modificadores são mais facilmente lixiviados que os ligados na rede.

## **CAPÍTULO 3**

**- METODOLOGIA -**

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. RESUMO DOS PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NESTA PESQUISA

Neste item 3.1 é apresentado um resumo geral dos procedimentos utilizados nesta pesquisa. No ítem 3.2 são explicitados os materiais, dispositivos e equipamentos; nos itens 3.3 à 3.5, todos os procedimentos foram melhor detalhados. No item 3.6 foi apresentado o procedimento para tratamento estatístico dos resultados obtidos nesta pesquisa.

Estudou-se o aproveitamento de escória de chumbo, proveniente de uma indústria de reciclagem de baterias automotivas, situada na Região Metropolitana de Curitiba, Paraná – PR . Esse resíduo foi misturado a uma massa cerâmica empregada na indústria de cerâmica vermelha, em diferentes proporções, adiante explicitada, com o objetivo de se preparar novas composições, e com elas moldar, por prensagem uniaxial, corpos-de-prova no formato de barras.

A coleta da escória utilizada nesta pesquisa foi feita de modo a permitir uma composição representativa daquela real, uma vez que devido ao elevado peso do chumbo, esperava-se maior concentração desse metal na parte inferior da pedra de escória. Para isto, procurou-se coletar pedaços de mesmo tamanho, na parte superior, inferior e meio. Esses pedaços foram então moídos em moinho de mandíbula até granulometria inferior à 1 cm e, então, pulverizados em moinho de carbeto de tungstênio e peneirados em peneira com abertura de 35 mesh.

A massa cerâmica foi obtida pela aquisição de tijolos de seis furos, logo após a sua extrusão. Os tijolos foram secos à temperatura ambiente, e depois à 90 °C em estufa. Após a secagem, foram desagregados em moinho de bolas, e peneirado em peneira de abertura de 35 mesh, e esse material peneirado foi

## Metodologia

---

denominado de composição A. Por meio da incorporação da escória de chumbo em diferentes proporções, teve-se, respectivamente, as composições B, C, e D.

O processo de preparação das amostras das composições foi o mesmo, e envolveu:

- ❖ pesagem das proporções de massa cerâmica e escória, e mistura a seco e homogeneização em peneira; (exceto para a composição A que ficou como testemunho para análise dos parâmetros tecnológicos aqui estudados);
- ❖ adição de água;
- ❖ homogeneização da umidade e da composição em peneira com abertura de 35 mesh. Esse processo de passagem em peneira foi repetido pelo menos 5 vezes; e
- ❖ pesagem de, aproximadamente, 12 g, e prensagem em prensa uniaxial à carga de 2500 Kg, em molde metálico (cavidade com dimensões nominais de 6,00 x 2,00 cm) .

Nesses corpos-de-prova foram determinados os principais parâmetros tecnológicos dos materiais cerâmicos, tais como: densidade pós-compactação, densidade a seco, umidade, retração de secagem, densidade pós-queima, retração de queima, perda de peso pós queima, absorção d'água, porosidade aparente, e resistência à flexão. Toda a metodologia empregada para a obtenção desses parâmetros tecnológicos é apresentada mais à frente.

Após a obtenção e análise desses parâmetros, as composições que apresentaram os melhores resultados, mais a composição testemunho (Composição A) foram sujeitas à microscopia eletrônica de varredura, de modo a poder obter informações da microestrutura. A composição que apresentou as melhores parâmetros tecnológicos foi, ainda, submetida ao ensaio de lixiviação e solubilização.

O objetivo foi conhecer as principais influências causadas pela introdução da escória de chumbo na massa cerâmica, e permitir determinar a máxima

## Metodologia

percentagem de resíduo que pode ser incorporada, sem detrimento às características que a massa cerâmica pura possui, e sem risco de contaminação para o meio ambiente.

Na Tabela 14, está mostrado um resumo dos procedimentos utilizados nesta pesquisa.

Tabela 14 – Resumo geral dos ensaios e procedimentos utilizados nesta pesquisa.

DISCRIMINAÇÃO	ITEM
<b>ENSAIOS E PROCEDIMENTOS NA MASSA CERÂMICA</b>	<b>3.3</b>
Coleta da massa cerâmica	3.3.1
Análise granulométrica	3.3.2
Análise Química – FRX	3.3.3
Análise Mineralógica - DRX	3.3.4
<b>ENSAIOS E PROCEDIMENTOS NA ESCÓRIA DE CHUMBO</b>	<b>3.4</b>
Análise Química – FRX	3.4.2
Análise Mineralógica - DRX	3.4.3
Lixiviação e Solubilização	3.4.4
<b>ENSAIOS E PROCEDIMENTOS NAS COMPOSIÇÕES CERÂMICAS</b>	<b>3.5</b>
Nomenclatura adotada	3.5.1
Análise Mineralógica	3.5.2
Procedimento nos corpos-de-prova	3.5.3
Determinação do volume pós-compactação - $V_{pc}$	3.5.3.1
Determinação da densidade pós-compactação - $D_{pc}$	3.5.3.2
Determinação do volume pós-secagem - $V_{ps}$	3.5.3.3
Determinação a densidade pós-secagem - $D_{ps}$	3.5.3.4

## Metodologia

Tabela 14 – Resumo geral dos ensaios e procedimentos utilizados nesta pesquisa.  
(continuação)

DISCRIMINAÇÃO	ITEM
Determinação da retração linear de secagem “RS”	3.5.3.5
Queima dos corpos-de-prova	3.5.3.6
Determinação do volume pós-queima - $V_{pq}$	3.5.3.7
Determinação da densidade pós-queima - $D_{pq}$	3.5.3.8
Determinação da retração linear de queima “RQ”	3.5.3.9
Absorção d'água após- imersão “AA”	3.5.3.10
Porosidade Aparente - “PA”	3.5.3.11
Resistência à flexão pós-queima – “RF”	3.5.3.12
Análise Mineralógica – DRX dos corpos-de-prova após-queima	3.5.3.13
Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV	3.5.3.14
Teste de lixiviação e solubilização	3.5.3.15
Tabulação e tratamento estatístico dos resultados	3.6

### 3.2 MATERIAIS, DISPOSITIVOS E EQUIPAMENTOS

Para a realização dos ensaios e procedimentos previstos na Tabela 14, estão listados nas respectivas normas de ensaio os principais materiais, dispositivos e equipamentos, bem como suas características. No entanto, em função de alguns desses procedimentos ter sido adaptados e, então, utilizados nesta pesquisa, teve-se que ter à disposição:

- ❖ balanças digitais com capacidades de 200 g , de 500 g e de 5000 kg; e com sensibilidades de 0,0001 g, de 0,001 g e de 0,01 g respectivamente;
- ❖ estufa com controle de temperatura entre 0 ° e 200 °C;

## Metodologia

---

- ❖ forno-mufla com controle de temperatura na faixa entre 0 ° e 1250 °C;
- ❖ cronômetro digital para laboratório;
- ❖ peneira com abertura 35 mesh;
- ❖ escova com cerdas metálicas e de pelos (para limpeza das peneiras);
- ❖ agitador mecânico de peneiras;
- ❖ cápsulas de porcelana de pequeno e médio tamanhos;
- ❖ espátulas de variados tamanhos;
- ❖ dessecador;
- ❖ vidrarias e utensílios de laboratório químico tais como: béquer, e pipeta, de várias capacidades;
- ❖ prensa hidráulica com capacidade de carga de medir de 0 a 15.000 kg, com precisão de leitura de 500 Kg, utilizada no confecção das amostras;
- ❖ recipientes de alumínio (formas) para conter a massa cerâmica, para secagem em estufa;
- ❖ placas de cerâmica, de tamanho apropriado, utilizado para conter as amostras no forno-mufla, à temperatura de queima;
- ❖ sacos plasticos, para armazenagem da massa cerâmica e escória de chumbo já secos e prontos para a mistura nas composições;
- ❖ luvas de borracha para manuseio das massas cerâmicas úmidas e máscaras de proteção contra poeira, utilizadas no preparo e manuseio da massa cerâmica e escória;

- ❖ recipientes de plásticos (copinhos descartáveis), para acondicionamento das quantidades pré-pesadas das composições, durante a conformação dos corpos-de-prova;
- ❖ molde de metálico, utilizadas na conformação dos corpos-de-prova, cavidade retangular com dimensões nominais de 60x20 mm;
- ❖ paquímetro digital, marca Mytotoyo, com duas casas;
- ❖ dispositivo para medida do peso imerso em água, para determinação da porosidade aparente; e
- ❖ máquina INSTRON – ensaio a flexão.

### 3.3 ENSAIOS E PROCEDIMENTOS NA MASSA CERÂMICA

As análises de difração de raios X, fluorescência de raios X e análise granulométrica, foram realizadas em conjunto com o Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR - UFPR). O ensaio de resistência à flexão foi realizado no Latec – UFPr.

As demais análises e procedimentos foram realizados no Laboratório de Tecnologia Ambiental – LTA, do departamento de engenharia química da Universidade Federal do Paraná.

#### 3.3.1 Coleta da massa cerâmica

A massa cerâmica foi obtida numa indústria cerâmica que produz tijolos tipo 6 furos extrusados, onde 6 (seis) tijolos foram coletados logo após o processo de extrusão. Esses tijolos foram secos em estufa, depois foram desagregados em moinhos de bolas e a massa cerâmica foi passada em peneira de abertura 35 mesh, obtendo-se assim a massa cerâmica que foi utilizada como material base nesta dissertação.

### **3.3.2 Análise granulométrica da massa cerâmica**

A determinação da distribuição granulométrica da massa cerâmica fez uso do equipamento “Granulômetro CILAS 1064, que usa a técnica do laser para a leitura do tamanho e da quantidade das partículas.

### **3.3.3 Análise Química – fluorescência de raios X (FRX)**

Os resultados obtidos neste ensaio resultam, além do teor dos elementos presentes, a perda de massa ao fogo do material.

A análise química foi executada a partir da pastilha prensada e analisada pelo método de fluorescência de raios X em equipamento da PHILIPS, Modelo PW 2400. A análise de perda ao fogo foi realizada em mufla Jung, ficando a amostra exposta por 3 h a 1000 °C.

### **3.3.4 Caracterização dos argilominerais presentes.**

É um ensaio de caracterização que permite conhecer e prever o comportamento da massa cerâmica, de acordo com os argilominerais presentes e conforme algumas características citadas no item 2.2.

A determinação mineralógica (medição dos parâmetros cristalinos) é realizada por meio da difração de raios X pelo método do pó, utilizando o difratômetro da marca Philips modelo PW 1830 e na interpretação dos resultados o “software” X`Pert HighScore, da PHILIPS, radiação K-alfa do cobre, com intensidade de corrente de 20 mA e tensão de 40 kV;

### **3.4 ENSAIOS E PROCEDIMENTOS NA ESCÓRIA DE CHUMBO**

#### **3.4.1 Coleta da escória de chumbo**

A escória de chumbo, utilizada nesta pesquisa, foi obtida por meio um acurado procedimento de coleta. A pedra de escória que é gerada no processo de recuperação do chumbo de baterias automotivas apresenta diferenças de composição conforme a posição na pedra. Para se poder obter uma composição representativa do todo, a mesma foi quebrada em pedaços menores, e vários fragmentos de tamanhos similares foram coletados na parte superior, meio e inferior do que era antes a pedra de escória.

Todo esse procedimento gerou, aproximadamente, 60 Kg de pedra de escória, que foi britada em moinho de mandíbulas, depois moída em moinho de bolas, e ensacada quando a granulometria se mostrou com aparência de areia. Entre cada etapa da moagem, a massa de escória foi homogeneizada.

Essa escória de chumbo foi, então, moída em moinho de carbeto de tungstênio e o pó gerado, foi passado em peneira com abertura de 35 mesh, obtendo, assim, o pó de escória de chumbo que foi utilizado nesta pesquisa.

#### **3.4.2 Análise Química – por fluorescência de raios X (FRX).**

A análise foi efetuada no pó de escória obtido no procedimento anterior e nas mesmas condições apresentadas no item 3.3.3

#### **3.4.3 Caracterização dos minerais presentes**

Foi feita a determinação dos minerais presentes na escória de chumbo, utilizando-se o mesmo procedimento adotado na item 3.3.4 para a massa cerâmica.

### 3.4.4 Ensaio de Lixiviação e Solubilização de Resíduos

A análise do lixiviado e solubilização foi feita no pó utilizado nesta pesquisa, e abordou somente a análise referente ao teor de chumbo, pois as análises apresentadas na literatura indicam que esse é o elemento que ultrapassa os limites apresentados em normas técnicas.

A determinação envolveu os procedimentos apresentados nas normas ABNT NBR 10004; ABNT NBR 10005; e ABNT NBR 10006.

Ressalta-se que as referidas normas foram objeto de revisão técnica no ano de 2004, onde ocorreram modificações nos procedimentos de preparação e nos equipamentos empregados.

Em virtude da indisponibilidade dos novos equipamentos de mistura que a norma revisada exige, o procedimento para análise do lixiviado e solubilização foi o apresentado na referida norma, mas com o sistema de mistura apresentada na norma sem revisão.

A análise do chumbo foi feita no líquido extraído, pelo método de absorção atômica, em equipamento VARIAN 250 PLUS, com lâmpada cátodo de chumbo, com comprimento de onda de 217 nm, com limite de detecção de 0,1 ug/mL, sob corrente de 5 mA; usando como gás combustível acetileno.

## 3.5 ENSAIOS E PROCEDIMENTOS NAS COMPOSIÇÕES DE ESTUDO.

### 3.5.1 - Nomenclatura adotada.

Antes de discorrer sobre os procedimentos adotados para as composições e amostras é necessário descrever o critério para se identificar cada uma delas. Por exemplo:

- ❖ A - as amostras com esta indicação representam a massa cerâmica, com 0% de escória de chumbo na massa, ou seja,

apenas a massa. Foram confeccionados 60 corpos-de-prova para a queima em três temperaturas (900 °C, 1050 °C, e 1200 °C) e em dois tempos (1 h, e 2 h), correspondendo ao total de 6 ciclos de queimas com 10 amostras em cada. A composição A foi considerada como testemunho para comparação das propriedades tecnológicas com as demais composições;

- ❖ B - trata-se da massa cerâmica com 5% de escória de chumbo. Assim como a composição A, foram confeccionados 60 corpos-de-prova, que foram queimados da mesma maneira nas mesmas temperaturas e tempos já descritos anteriormente;
- ❖ C – trata-se da massa cerâmica com 7,5% de escória de chumbo. Assim como a composição A, foram confeccionados 60 corpos-de-prova, que foram queimados da mesma maneira nas mesmas temperaturas e tempos já descritos anteriormente.
- ❖ D - trata-se da massa cerâmica com 10% de escória de chumbo. Assim como a composição A, foram confeccionados 60 corpos-de-prova, que foram queimados da mesma maneira nas mesmas temperaturas e tempos já descritos anteriormente.

No total, trabalhou-se com 4 diferentes composições, que resultaram em 240 corpos-de-prova que foram queimados da seguinte maneira: os corpos-de-prova A1 a A10, B1 a B10, C1 a C10, e D1 a D10 foram queimados a temperatura de 1050 °C por 1 (uma) h; os corpos-de-prova A11 a A20, B11 a B20, C11 a C20, e D11 a D20 foram queimados a temperatura de 1050 °C por 2 (duas) h; A21 a A30, B21 a B30, C21 a C30, e D21 a D30 foram queimados a temperatura de 900 °C por 1 (uma) h; A31 a A40, B31 a B40, C31 a C40, e D31 a D40 foram queimados a temperatura de 900 °C por 2 (duas) h; A41 a A50, B41 a B50, C41 a

C50, e D41 a D50 foram queimados a 1200 °C por 1 (uma) h; e os corpos-de-prova A51 a A60, B51 a B60, C51 a C60, e D51 a D60 foram queimados a temperatura de 1200 °C por 2 (duas) h.

As amostras foram confeccionadas de modo a se ter ao final da operação 10 amostras de cada composição, obtendo-se assim o conjunto necessário para um ciclo de queima. Foram realizados portanto 6 operações de prensagem das amostras. Nas duas primeiras, que foram depois queimadas na temperatura de 1050 °C por 1 e 2 h (amostras A-B-C-D, de 1 à 20) respectivamente, não foi utilizado lubrificante no molde, apenas limpeza com papel toalha. Nas operações seguintes durante o processo de prensagem, além da limpeza com papel, a cada 5 amostras o molde era limpo com óleo lubrificante.

### **3.5.2 Identificação dos minerais presentes.**

Foi feita a determinação dos minerais presentes nas composições de estudo, utilizando-se o mesmo procedimento adotado na item 3.3.4 para a massa cerâmica.

### **3.5.3 Procedimentos nos corpos-de-prova.**

Todos os corpos-de-prova foram submetidos aos mesmos procedimentos e ensaios, os quais são a seguir explicitados.

#### **3.5.3.1 Determinação do volume pós-compactação – “ $V_{pc}$ ”**

Para a determinação do volume de cada corpo-de-prova utilizou-se a medida das suas dimensões, os quais foram obtidos por um paquímetro digital. Cada corpo-de-prova foi submetido três vezes à medida do seu comprimento ( $C_{pc}$ ), largura ( $L_{pc}$ ), e espessura ( $E_{pc}$ ), em milímetros. A média das medidas das dimensões de cada corpo-de-prova foi utilizada para o cálculo do seu volume pós-compactação pela Eq. 4.1, mas utilizando-se centímetros como unidade.

$$V_{pc} = (C_{pc} \times L_{pc} \times E_{pc}) \quad [cm^3] \quad (Eq. 4.1)$$

### 3.5.3.2 Determinação densidade pós-compactação – “Dpc”

Para a determinação da densidade pós-compactação fez-se necessário a obtenção do peso da amostra em balança analítica com 4 casas decimais (“Ppc”). Essa medida foi utilizada para cálculo de outros parâmetros tecnológicos explicitados na sequência. Procedeu-se à determinação da densidade pós-compactação, pela Eq. 4.2.:

$$D_{pc} = P_{pc} / V_{pc} \quad [g/cm^3] \quad (Eq. 4.2)$$

### 3.5.3.3 Determinação do volume pós-secagem – “Vps”

Após a secagem ao ar, os corpos-de-prova foram colocados em estufa, a 105 °C, por um período de 24 h e, em seguida, foram acondicionados em dessecador até atingirem a temperatura ambiente, e então foi feita a determinação do peso pós-secagem “Pps”.

Para a determinação do volume de cada corpo-de-prova pós-secagem, utilizou-se um procedimento idêntico ao apresentado para a determinação do volume original pós-compactação. Do mesmo modo, cada corpo-de-prova foi submetido três vezes à medida do seu comprimento, largura, e espessura, em milímetros. A média de cada medida das dimensões do corpo-de-prova foi utilizada para o cálculo do seu volume pós-secagem pela Eq. 4.3, mas utilizando-se o centímetro como unidade.

$$V_{ps} = (C_{ps} \times L_{ps} \times E_{ps}) \quad [cm^3] \quad (Eq. 4.3)$$

### 3.5.3.4 Determinação da densidade pós-secagem – “Dps”

Assim como na determinação da densidade pós-compactação, com os dados do peso pós-secagem, e após a determinação do volume pós-secagem das amostras, procedeu-se ao cálculo da densidade pós-secagem pela Eq. 4.4.:

$$Dps = Pps / Vps \quad [g/cm^3] \quad (Eq. 4.4)$$

### 3.5.3.5 Determinação da retração linear de secagem – “RS”

Com os dados obtidos de  $V_{pc}$  e  $V_{ps}$ , procedeu-se ao cálculo da retração linear de secagem, que é a medida da variação dimensional do comprimento que cada corpo-de-prova teve pela saída da água de compactação, pela Eq. 4.5.:

$$RS = 100 * (L_{pc} - L_{ps}) / L_{pc} \quad [\%] \quad (Eq.4.5)$$

### 3.5.3.6 Queima dos corpos-de-prova.

A queima dos corpos-de-prova foi feita por aquecimento progressivo do forno-mufla, utilizando seis diagramas tempo x temperatura diferentes, e especificados na sequência.

A calibragem inicial foi feita para a temperatura de 20 °C, seguindo-se um incremento até a temperatura de 450 °C, com uma taxa de aquecimento de 3,6 °C/min, passando então até a temperatura de queima, com taxa de aquecimento de 6,7 °C/min, ficando nesta temperatura por um tempo de 1 h ou 2 h. As temperaturas de queima utilizadas foram de 900 °C , 1050 °C , e 1200 °C. O esfriamento dos CPs foi feito na própria mufla, após a sua calibragem para a temperatura ambiente.

Somente após o total resfriamento, os CPs eram retirados da mufla, seguindo-se imediatamente à pesagem, obtendo-se o peso pós-queima “Ppq”. O cálculo do percentual de perda de massa pós-queima “Perda P “ foi feito de acordo com a Eq. 4.6.:

$$Perda P = [ (Pps - Ppq) / Pps ] x 100 \quad [\%] \quad (Eq. 4.6)$$

### 3.5.3.7 Determinação do volume pós-queima – “Vpq”

Para a determinação do volume de cada corpo-de-prova pós-queima, utilizou-se um procedimento idêntico ao apresentado para a determinação do

volume original pós-compactação. Do mesmo modo, cada corpo-de-prova foi submetido três vezes à medida do seu comprimento, largura, e espessura, em milímetros. A média de cada medida das dimensões do corpo-de-prova foi utilizada para o cálculo do seu volume pós-queima pela Eq. 4.7, mas utilizando-se o centímetro como unidade.

$$V_{pq} = (C_{pq} \times L_{pq} \times E_{pq}) \quad [cm^3] \quad (Eq. 4.7)$$

### 3.5.3.8 Determinação da densidade pós-queima – “Dpqs”

A densidade pós-queima “Dpq” foi calculada utilizando-se os valores do peso pós-queima “Ppq” (obtido conforme item 3.5.3.6) e o volume pós-queima “Vpq” (obtido conforme item 3.5.3.7). Foi utilizada a Eq. 4.8.

$$D_{pq} = P_{pq} / V_{pq} \quad [g/cm^3] \quad (Eq. 4.8)$$

### 3.5.3.9 Determinação da retração linear após-queima – “RQ”

Como critério para verificação do percentual de retração, levou-se em conta o quociente entre a diferença de dimensões (comprimento do corpo-de-prova pós-secagem “Cps” menos o comprimento final do corpo-de-prova pós-queima “Cpq”), e o comprimento do corpo-de-prova pós-secagem, multiplicado por 100, conforme Eq. 4.9.:

$$RQ = [(L_{ps} - L_{pq}) / L_{ps}] \times 100 \quad [\%] \quad (Eq. 4.9)$$

### 3.5.3.10 Determinação da absorção de água – “AA”

Para o cálculo do percentual de absorção d'água de cada CP, determinou-se previamente o peso de cada um deles, após terem permanecido mergulhados em água, por um período de 24 h, à temperatura ambiente. Escorreu-se o excesso de água, enxugando a superfície com um pano e pesou-se em seguida. O valor obtido foi chamado de peso pós-imersão “Pu”. Para o cálculo do percentual de absorção d'água “AA” utilizou-se a Eq. 4.10:

$$A = [ (P_u - P_{pq}) / P_{pq} ] \times 100 \quad [\%] \quad (\text{Eq. 4.10})$$

### 3.5.3.11 Determinação da porosidade aparente – “PA”

Para o cálculo da porosidade aparente “PA” de cada CP, determinou-se previamente o peso imerso de cada um deles, em água, após terem permanecido mergulhados em água, por um período de 24 h, à temperatura ambiente. Escorreu-se o excesso de água, e procedeu-se a pesagem de cada CP, e o valor obtido foi chamado de peso imerso “Pi”. Para o cálculo da porosidade aparente “PA” utilizou-se a Eq. 4.11:

$$PA = [ (P_u - P_{pq}) / (P_u - P_i) ] \times 100 \quad [\%] \quad (\text{Eq. 4.11})$$

### 3.5.3.12 Determinação da Resistência à flexão após-queima – “RF”

Para a determinação da resistência à flexão, foi utilizada, com as adaptações abaixo explicitadas, a norma brasileira para placas cerâmicas NBR-13818 (ABNT, 1987).

A principal adaptação referiu-se aos apoios, que não continham recobrimento de borracha, como especificado na norma, e a taxa de aplicação de carga foi menor que aquela explicitada na norma, aqui em torno de 0,8 MPa. A distância entre os apoios foi de 5 cm.

A fórmula para cálculo da tensão de ruptura, prescrita na norma citada (Eq. 4.13), leva em conta a distância entre os cutelos de apoio e pôde então ser utilizada.

$$\sigma_f = (3 P \times \ell) / (2 a^2 \times b) \quad [\text{Pa}] \quad (\text{Eq. 4.13})$$

onde:

- $\sigma_f$  = tensão de ruptura à flexão; (Pa)
- P** = Carga atingida no momento da ruptura; (N)
- $\ell$  = distância entre os cutelos de apoio (neste caso adotou-se 5 cm); (cm)
- a** = altura do CP (foi efetivamente medida em cada caso); e (m)
- b** = largura do CP (foi efetivamente medida em cada caso) (cm)

### **3.5.3.13 Caracterização mineralógica das composições pós-queima**

Foi feita a análise para determinação das fases mineralógicas resultantes pós queima das composições, pelo método de análise qualitativa por difratometria de raios X, já descrito nos procedimentos de caracterização das matérias-primas.

Com essa análise espera-se poder justificar as variações nas propriedades tecnológicas na pesquisa.

### **3.5.3.14 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

Para esse ensaio, foram extraídos das amostras das composições após-queima, pequenos fragmentos, e a face de fratura foi analisada. Para garantir uma boa qualidade das imagens, as amostras foram previamente secas em estufa a 100 °C, por 24 h, e posteriormente, metalizadas com um banho de ouro.

### **3.5.3.15 Teste de lixiviação e solubilização**

Os testes de solubilização e lixiviação foram realizados como o descrito no item 3.4.5, para a escória de chumbo.

Foi feita a determinação do teor de chumbo para os corpos cerâmicos com 10% de escória de chumbo, que foram queimados a temperatura de 900 °C e 1200 °C, por 1 h. Foram escolhidas essas condições, por se tratar da composição mais crítica, e para verificar o comportamento dos resultados com o aumento da temperatura de queima. O teste simula uma situação em que os tijolos já tivessem sido utilizados e/ou descartados em entulhos e eventualmente deixados em botafora.

### 3.6 – TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nesta pesquisa foram lançados em Tabelas e gráficos apresentados no Capítulo 4 - Resultados e no Apêndice 2. Todos os dados e parâmetros obtidos no procedimento experimental deste trabalho foram tabulados e então submetidos à análise estatística por meio de um programa de estatística computacional. Os parâmetros de estudo foram submetido ao mesmo procedimento estatístico descrito.

A utilização do programa foi direcionada inicialmente à obtenção dos parâmetros estatísticos comuns, como: média, desvio padrão, erro padrão, variância, o mínimo e o máximo (Tabela A 25 a Tabela A 84, no Anexo). A seguir, testou-se a hipótese de que as médias fossem iguais nas quatro composições (A, B, C e D), aplicando-se o teste ANOVA (Tabela A 85 a Tabela A 144, no Anexo).

O teste ANOVA decompõe o parâmetro que está sendo analisado em dois componentes: um entre os grupos e outro dentro dos grupos. A razão F é a relação da estimativa entre-grupos para a estimativa de dentro-grupo. Desde que o valor de P do Teste F é menor que 0,05, haverá uma significativa diferença estatística desse parâmetro de uma composição pra outra, para um nível de confiança de 95%.

Para se determinar entre quais composições há essa diferença, aplicou-se o “Multiple Range Tests” (

## Metodologia

---

Tabela A 145 a Tabela A 204, no Anexo). A Tabela tem na sua parte inferior os resultados para cada par de composições. Os pares indicados com asterisco indicam que este par mostrou estatisticamente grandes diferenças, para um nível de confiabilidade de 95%. O topo da Tabela mostra as comparações entre todas as composições, onde composições diferentes marcados na mesma coluna não apresentam grandes diferenças.

## **CAPÍTULO 4**

**- RESULTADOS E DISCUSSÃO -**

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Nas Tabela A 1 a Tabela A 24, no Apêndice 1, estão apresentados os resultados detalhados obtidos nesta pesquisa para cada corpo-de-prova. As Tabela A 1 a Tabela A 12 mostram os resultados nos parâmetros tecnológicos antes da queima; enquanto os resultados dos corpos pós-queima, nas Tabela A 13 a Tabela A 24.

Neste capítulo serão apresentadas as Tabelas e Figuras com o resumo dos resultados e a discussão dos mesmos. A apresentação começa pelos resultados e discussões da caracterização nas matérias-primas (massa cerâmica e escória, e suas misturas), e termina com os relacionados às composições de estudo, e aos parâmetros analisados nos corpos-de-prova.

## 4.2. RESULTADOS OBTIDOS NA CARACTERIZAÇÃO NAS MATÉRIAS-PRIMAS, E SUAS MISTURAS

### 4.2.1. Massa Cerâmica

#### 4.2.1.1. Análise Granulométrica

Na Figura 12, é mostrada a distribuição granulométrica da massa cerâmica. A Tabela A 205, no Anexo, mostra os dados que geraram a curva da Figura 12. Na Figura 12 observa-se que 90% das partículas é menor que 311  $\mu\text{m}$ ; 57,50% é menor que 75  $\mu\text{m}$ ; e 50% é menor que 23  $\mu\text{m}$ . Vê-se que a massa cerâmica tem distribuição relativamente aberta, o que deve favorecer a conformação da massa e conseqüentemente a sinterização e o processo de densificação.

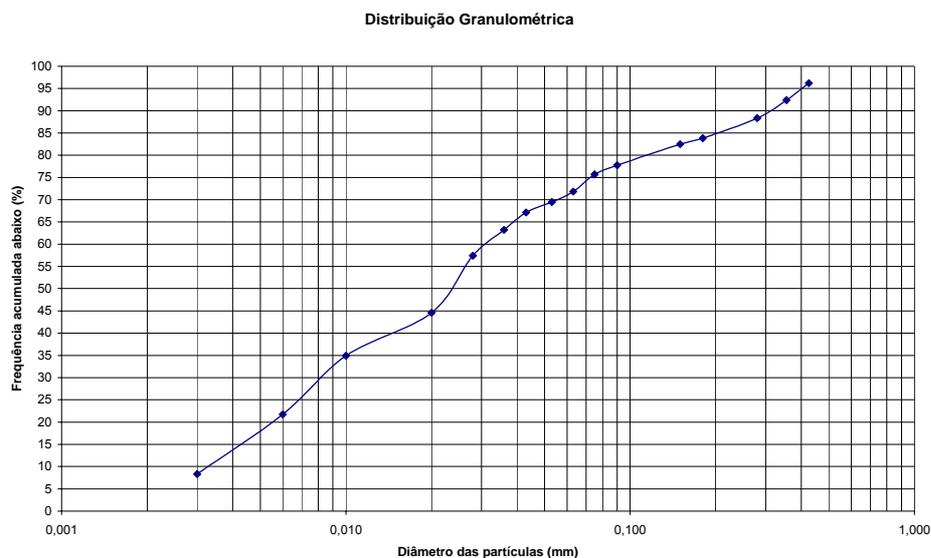


Figura 12 - Curva da distribuição granulométrica da massa cerâmica.

Na Figura 13, é mostrada um gráfico com a freqüência dos tamanhos de partícula. Observa-se que as partículas com menores tamanhos são mais presentes na massa.

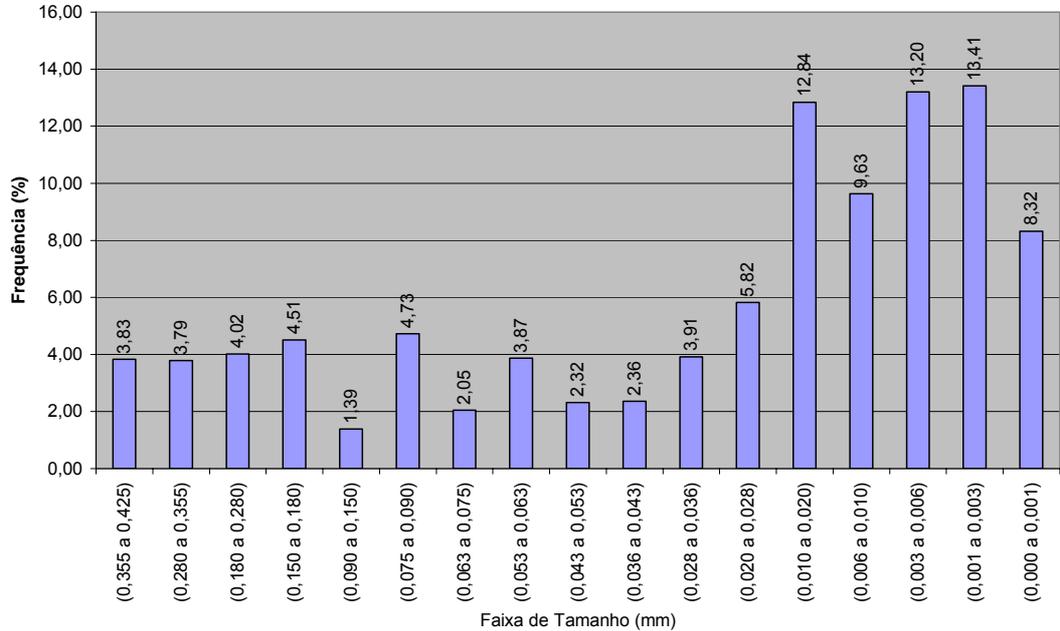


Figura 13 - Gráfico das freqüências dos tamanhos de partícula.

### 4.2.1.2. Análise Química e Perda ao Fogo

Pela análise química por fluorescência de raios X pode-se verificar que a massa cerâmica é composta, principalmente por sílica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), e materiais fundentes ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ). As percentagens desses compostos podem ser observados na Tabela 15. A perda ao fogo foi de 11,52%.

Tabela 15 – Resultados da composição química da massa cerâmica.

<b>Compostos</b>	<b>Teor (%)</b>
SiO <sub>2</sub> (%)	52,74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	23,51
TiO <sub>2</sub> (%)	1,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	8,27
CaO (%)	0,14
MgO (%)	0,37
K <sub>2</sub> O (%)	0,71
Na <sub>2</sub> O (%)	0,11
MnO (%)	0,06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,11
Zr (ppm)	166
Ba (ppm)	318
Perda ao Fogo (%)	11,52
<b>Soma (%)</b>	<b>98,86</b>

### 4.2.1.3. Análise Mineralógica

Na Figura 14 é mostrado o difratograma com os principais picos obtidos na análise mineralógica da amostra de massa cerâmica, obtido com os padrões ICDD (International Centre for Diffraction Data); e foram:

- ❖ 85-0798 – (Quartzo – SiO<sub>2</sub>);
- ❖ 07-0324 – (Gibsite – Al(OH)<sub>3</sub>);
- ❖ 29-0713 – (Goetita – Fe<sup>+3</sup>O(OH));
- ❖ 71-1169 – (Anatásio – TiO<sub>2</sub>);
- ❖ 29-1488 – (Caulinita – Al<sub>2</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)(OH)<sub>4</sub>);

Os resultados mostraram a presença de caulinita, o que deve favorecer ao processo de conformação, pelo aumento da plasticidade; quartzo; e gibsite. Esta última pode acarretar a quebra da peça durante a secagem, pois tem grande capacidade de retenção de água, causando com isso o aparecimento de microtrincas no corpo à verde.

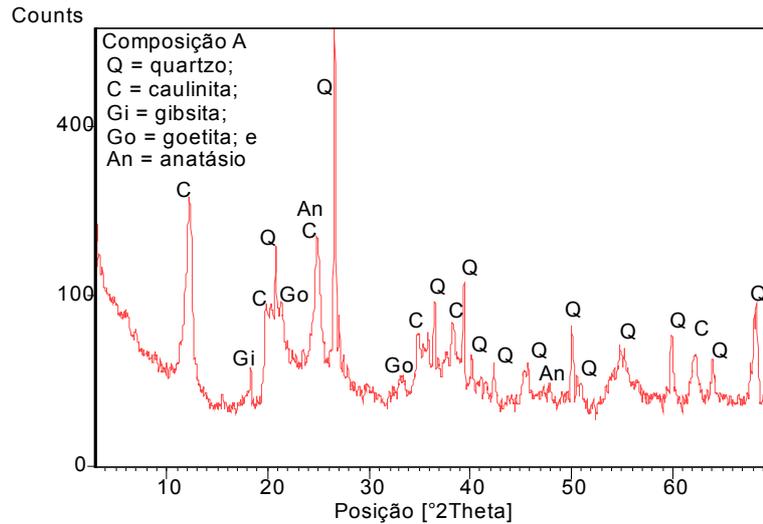


Figura 14 - Difratoograma da massa cerâmica.

#### 4.2.2. Escória de Chumbo

##### 4.2.2.1. Análise Química e Perda ao Fogo

Pela análise química por fluorescência de raios X pode-se verificar que a escória é composta, principalmente, por óxido de ferro, enxofre, sílica, chumbo e alumina. As percentagens desses compostos podem ser observados na Tabela 16. A perda ao fogo foi de 5,67%.

Tabela 16 – Composição química da escória de chumbo.

ELEMENTO	(%) em peso
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55,40
SO <sub>3</sub>	16,72
SiO <sub>2</sub>	13,36
Pb	3,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,03
CaO	0,62
K <sub>2</sub> O	0,59
MgO	0,34

Tabela 17 – Composição química da escória de chumbo (continuação).

ELEMENTO	(%) em peso
MnO	0,32
I	0,05
Na <sub>2</sub> O	0,28
Cu	0,21
TiO <sub>2</sub>	0,18
Sb	0,13
Cl	0,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06
Cr	0,06
Zn	0,05
Zr	0,02
Rb	0,01
P.F	5,67

### 4.2.2.2. Análise Mineralógica

Na Figura 15 é mostrado o difratograma com os principais picos da amostra de escória de chumbo, obtidos com os padrões ICDD (International Centre for Diffraction Data). Foram:

- ❖ 71-1667 – (Fayalita –  $\text{Fe}_2^{+2}.\text{SiO}_4$ );
- ❖ 02-1035 – (Magnetita –  $\text{Fe}^{+2}.\text{Fe}_2^{+3}\text{O}_4$ );
- ❖ 05-0592 – (Galena – PbS); e
- ❖ 75-0601 – (Pyrotita –  $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ).

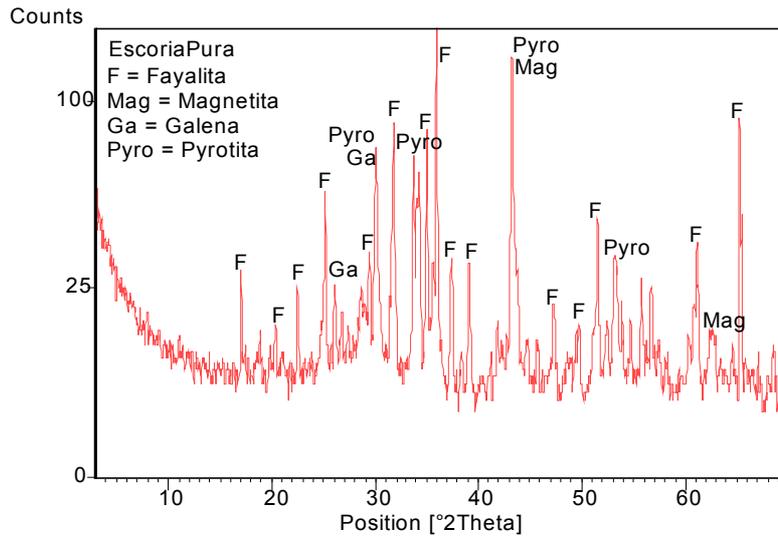


Figura 15 - Difratoograma da escória de chumbo.

#### 4.2.2.4. Teste de Lixiviação e Solubilização

Os resultados da análise do lixiviado e solubilizado, segundo os procedimentos apresentados no item 3.4.5, mostraram que a escória apresentou valores superiores aos estabelecidos na norma técnica vigente para o chumbo, sendo classificado, como resíduo classe 1 – perigoso, tendo como disposição final licenciável o aterramento em aterros de resíduos perigosos. Os valores foram de 2800 mg/l para a concentração no teste de lixiviação; e 178 mg/l no teste de solubilização.

A normas exigem a trituração da amostra até passar em peneira com abertura de 1 cm x 1 cm. Entretanto, para emprego em massas cerâmicas, é imprescindível a sua moagem em granulometrias bem finas, justificando portanto, o porque do uso do pó na análise.

Ao cruzar os resultados da lixiviação e solubilização do pó de escória, com os resultados obtidos para as composições pós-queimas, que apresentarem os melhores resultados dos parâmetros tecnológicos cerâmicos, espera-se poder vislucrar a ocorrência da inertização do chumbo na massa cerâmica.

### 4.2.3. Composições Estudadas

#### 4.2.3.1. Análise Química e Perda ao Fogo – Calculado

Utilizando-se os valores obtidos nas análises químicas dos componentes, calculou-se a composição química e perda ao fogo das composições de estudo. Os valores calculados estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Cálculo da composição química das composições de estudo.

Elementos	Un.	A (0% escória)	B (5% escória)	C (7,5% escória)	D (10% escória)
SiO <sub>2</sub>	(%)	52,74	50,77	49,89	48,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%)	23,51	22,44	21,95	21,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%)	8,27	10,63	11,82	12,98
TiO <sub>2</sub>	(%)	<b>1,26</b>	<b>1,21</b>	<b>1,18</b>	<b>1,15</b>
K <sub>2</sub> O	(%)	<b>0,71</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>
MgO	(%)	<b>0,37</b>	<b>0,37</b>	<b>0,37</b>	<b>0,37</b>
CaO	(%)	<b>0,14</b>	<b>0,16</b>	<b>0,18</b>	<b>0,19</b>
Na <sub>2</sub> O	(%)	<b>0,11</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(%)	0,11	0,11	0,11	0,10
MnO	(%)	0,06	0,07	0,08	0,09
Ba	(%)	0,03	0,03	0,03	0,03
Zr	(%)	0,02	0,02	0,02	0,01
SO <sub>3</sub>	(%)	0,00	0,84	1,25	1,67
Cl	(%)	0,00	0,00	0,01	0,01
Cr	(%)	0,00	0,00	0,00	0,01
Cu	(%)	0,00	0,01	0,02	0,02
I	(%)	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb	(%)	<b>0,00</b>	<b>0,19</b>	<b>0,29</b>	<b>0,38</b>
Rb	(%)	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	(%)	0,00	0,01	0,01	0,01
P.F	(%)	<b>11,52</b>	<b>11,21</b>	<b>11,08</b>	<b>10,90</b>

Os resultados apresentados na Tabela 17 mostram que a incorporação da escória de chumbo na massa cerâmica causa uma pequena queda no teor de fundentes (%TiO<sub>2</sub> + %K<sub>2</sub>O + %MgO + %CaO + %Na<sub>2</sub>O). Há um aumento no teor de óxido de ferro, o que pode acarretar mudanças de coloração (escurecimento) no produto final; e de chumbo.

### 4.2.3.2. Análise Mineralógica

Nas Figura 16, Figura 17, Figura 18, são apresentados os difratogramas das composições elaboradas, que foram objeto de estudo neste trabalho.

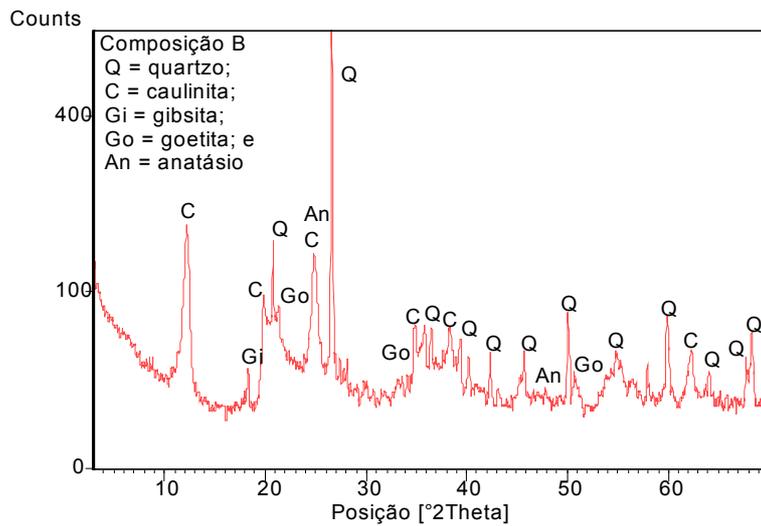


Figura 16 - Difratograma da composição B (95% de massa cerâmica e 5% de escória).

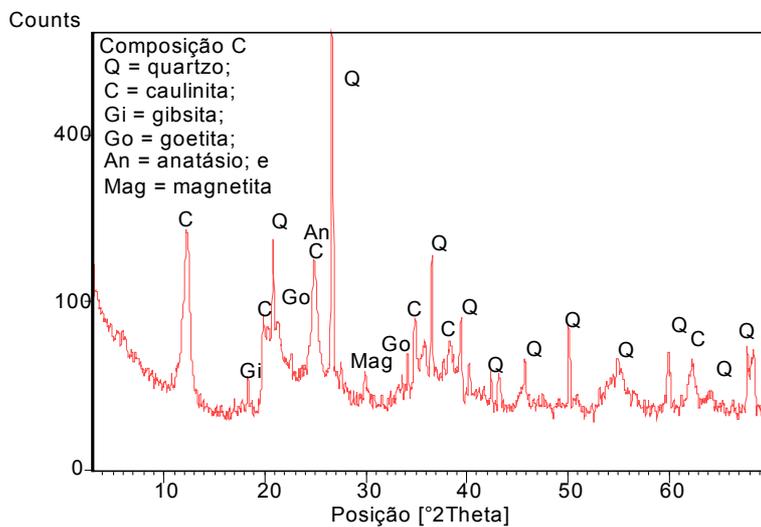


Figura 17 - Difratograma da composição C (92,5% de massa cerâmica e 7,5% de escória).

## Resultados e Discussão

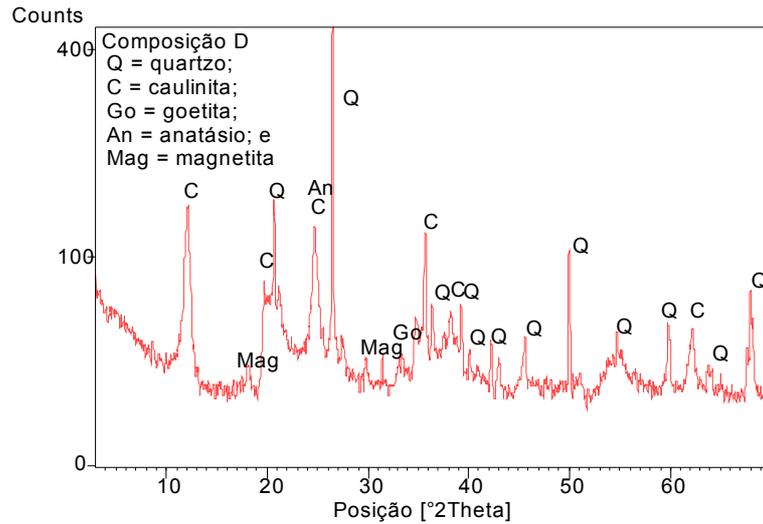


Figura 18 - Difratoograma da composição D (90% de massa cerâmica e 10% de escória).

As análises da

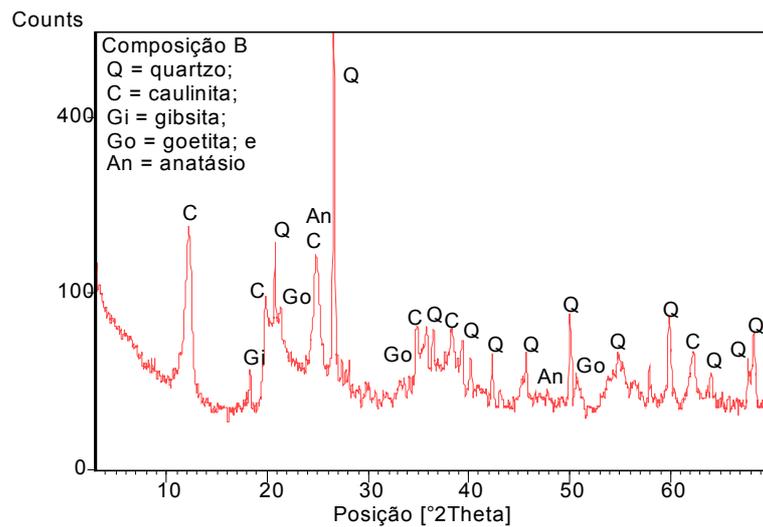


Figura 16 a Figura 18 mostra que os picos principais são:

- ❖ Composição B: (Ref. Code – Nome do composto – Fórmula química)
  - 29-1488 – (Caulinita –  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ );
  - 71-1169 – (Anatásio –  $\text{TiO}_2$ );
  - 07-0324 – (Gibsite –  $\text{Al}(\text{OH})_3$ );
  - 85-0798 – (Quartzo –  $\text{SiO}_2$ );
  - 02-1035 – (Magnetita –  $\text{Fe}^{+2}.\text{Fe}_2^{+3}\text{O}_4$ );e

- 01-0401 – (Goetita –  $\text{Fe}^{+3}\text{O}(\text{OH})$ )
- ❖ Composição C: (Ref. Code – Nome do composto – Fórmula química)
  - 29-1488 – (Caulinita –  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ );
  - 71-1169 – (Anatásio –  $\text{TiO}_2$ );
  - 07-0324 – (Gibbsite –  $\text{Al}(\text{OH})_3$ );
  - 85-0798 – (Quartzo –  $\text{SiO}_2$ );
  - 02-1035 – (Magnetita –  $\text{Fe}^{+2}.\text{Fe}_2^{+3}\text{O}_4$ );e
  - 01-0401 – (Goetita –  $\text{Fe}^{+3}\text{O}(\text{OH})$ )
- ❖ Composição D: (Ref. Code – Nome do composto – Fórmula química)
  - 29-1488 – (Caulinita –  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ );
  - 85-0798 – (Quartzo –  $\text{SiO}_2$ );
  - 71-1169 – (Anatásio –  $\text{TiO}_2$ );
  - 02-1035 – (Magnetita –  $\text{Fe}^{+2}.\text{Fe}_2^{+3}\text{O}_4$ ); e
  - 01-0401 – (Goetita –  $\text{Fe}^{+3}\text{O}(\text{OH})$ )

### 4.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS NOS CORPOS DE PROVA.

Conforme detalhado no item 3.3, cada um dos 240 corpos-de-prova moldados nesta pesquisa foi, primeiramente, submetido a uma série de ensaios não destrutivos antes e depois da queima. Após esses ensaios não destrutivos, a metade foi ensaiada para determinação da resistência à flexão. A composição com 10% de escória queimada a 900 °, e 1200 °C foi ensaiada para o teste de lixiviação e solubilização.

No Apêndice 1, nas Tabela A 1 a Tabela A 24, estão os resultados individuais obtidos para cada corpo-de-prova bem como as médias aritméticas obtidas para cada uma das 4 composições que foram queimadas nos 6 ciclos de queima diferentes. Um resumo dos valores médios de cada parâmetro analisado, e os respectivos desvios padrão estão apresentados na Tabela 18 a Tabela 23.

Na Figura 19, é mostrada a correlação entre a densidade pós-queima dos corpos-de-prova, versus os valores de tensão de ruptura à flexão. Observa-se uma estreita relação entre os valores de densidade pós queima com os valores de tensão, sendo essa relação diretamente proporcional.

## Resultados e Discussão

Tabela 18 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 900 °C por 1 hora.

Descrição	Unidades	A		B		C		D	
		Média	Desv. P						
Dens PC	g/cm <sup>3</sup>	1,889	0,016	1,922	0,021	1,924	0,012	1,996	0,020
Dens S	g/cm <sup>3</sup>	1,802	0,013	1,837	0,012	1,841	0,019	1,900	0,015
U	%	5,801	0,033	5,903	0,187	5,295	0,191	6,141	0,335
Retra S	%	0,326	0,035	0,250	0,033	0,181	0,035	0,480	0,030
Dens Q	g/cm <sup>3</sup>	1,702	0,013	1,695	0,013	1,724	0,011	1,760	0,015
Retra Q	%	1,734	0,058	1,505	0,038	1,514	0,025	1,411	0,027
Perda P	%	10,70	0,03	10,19	0,05	9,74	0,04	9,32	0,32
Poros Ap	%	37,18	1,00	37,29	0,78	36,56	0,73	34,74	0,17
AA	%	21,24	0,90	20,92	0,70	20,10	0,62	18,37	0,14
RF	MPa	3,51	0,47	2,64	0,33	3,22	0,05	4,24	0,47

**Legenda:**

Dens PC = densidade pós compactação	Retra Q = percentual de retração linear pós queima
Dens S = densidade pós secagem	Perda P = percentual de perda de peso
U = percentual do teor de umidade	AA = percentual de absorção de água
Retra S = percentual de retração linear pós secagem	Poros Ap = percentual de porosidade aparente
Dens Q = densidade pós queima	RF = resistência à flexão pós queima

## Resultados e Discussão

Tabela 19 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 900 °C por 2 horas.

Descrição	Unidades	A		B		C		D	
		Média	Desv. P						
Dens PC	g/cm <sup>3</sup>	1,885	0,018	1,928	0,011	1,930	0,014	1,978	0,021
Dens S	g/cm <sup>3</sup>	1,791	0,025	1,825	0,009	1,840	0,007	1,879	0,027
U	%	5,967	0,048	6,126	0,082	5,190	0,108	5,922	0,165
Retra S	%	0,223	0,035	0,207	0,049	0,142	0,023	0,125	0,025
Dens Q	g/cm <sup>3</sup>	1,681	0,017	1,716	0,009	1,724	0,011	1,739	0,011
Retra Q	%	1,797	0,055	1,534	0,036	1,475	0,045	1,490	0,028
Perda P	%	10,53	0,05	10,07	0,06	9,79	0,08	9,58	0,13
Poros Ap	%	37,86	1,19	36,81	0,68	36,79	1,19	35,44	0,72
AA	%	21,86	1,12	20,49	0,60	20,30	1,03	18,95	0,61
RF	MPa	2,79	0,44	3,19	0,33	3,13	0,60	3,48	0,36

**Legenda:**

Dens PC = densidade pós compactação	Retra Q = percentual de retração linear pós queima
Dens S = densidade pós secagem	Perda P = percentual de perda de peso
U = percentual do teor de umidade	AA = percentual de absorção de água
Retra S = percentual de retração linear pós secagem	Poros Ap = percentual de porosidade aparente
Dens Q = densidade pós queima	RF = resistência à flexão pós queima

## Resultados e Discussão

Tabela 20 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 1050 °C por 1 hora.

Descrição	Unidades	A		B		C		D	
		Média	Desv. P						
Dens PC	g/cm <sup>3</sup>	1,818	0,019	1,859	0,019	1,877	0,014	1,919	0,020
Dens S	g/cm <sup>3</sup>	1,765	0,021	1,762	0,018	1,802	0,009	1,821	0,008
U	%	4,877	0,130	5,850	0,172	6,374	0,248	6,361	0,116
Retra S	%	0,256	0,069	0,113	0,057	0,250	0,058	0,209	0,059
Dens Q	g/cm <sup>3</sup>	1,725	0,020	1,737	0,009	1,772	0,017	1,792	0,017
Retra Q	%	3,057	0,066	2,883	0,080	2,887	0,058	2,865	0,052
Perda P	%	11,32	0,05	10,35	0,09	9,46	0,09	9,58	0,06
Poros Ap	%	35,26	1,14	35,93	0,88	34,05	1,37	33,69	0,86
AA	%	19,46	0,99	19,67	0,75	17,97	1,10	17,52	0,68
RF	MPa	3,59	0,53	3,38	0,61	4,11	0,56	4,50	0,48

**Legenda:**

Dens PC = densidade pós compactação	Retra Q = percentual de retração linear pós queima
Dens S = densidade pós secagem	Perda P = percentual de perda de peso
U = percentual do teor de umidade	AA = percentual de absorção de água
Retra S = percentual de retração linear pós secagem	Poros Ap = percentual de porosidade aparente
Dens Q = densidade pós queima	RF = resistência à flexão pós queima

## Resultados e Discussão

Tabela 21 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 1050 °C por 2 horas.

Descrição	Unidades	A		B		C		D	
		Média	Desv. P						
Dens PC	g/cm <sup>3</sup>	1,854	0,019	1,874	0,018	1,888	0,009	1,922	0,011
Dens S	g/cm <sup>3</sup>	1,756	0,018	1,788	0,011	1,818	0,015	1,823	0,006
U	%	5,370	0,092	5,972	0,185	6,278	0,156	5,913	0,122
Retra S	%	0,075	0,086	0,160	0,044	0,228	0,055	0,257	0,035
Dens Q	g/cm <sup>3</sup>	1,739	0,017	1,758	0,010	1,778	0,018	1,791	0,013
Retra Q	%	3,294	0,089	3,179	0,056	3,213	0,079	3,244	0,088
Perda P	%	11,30	0,07	10,12	0,14	9,68	0,08	9,74	0,07
Poros Ap	%	35,50	0,79	33,59	1,02	32,39	0,56	32,24	1,37
AA	%	19,68	0,69	17,76	0,83	16,67	0,43	16,43	1,03
RF	MPa	4,29	0,64	4,40	0,31	4,59	0,41	5,15	0,80

**Legenda:**

Dens PC = densidade pós compactação	Retra Q = percentual de retração linear pós queima
Dens S = densidade pós secagem	Perda P = percentual de perda de peso
U = percentual do teor de umidade	AA = percentual de absorção de água
Retra S = percentual de retração linear pós secagem	Poros Ap = percentual de porosidade aparente
Dens Q = densidade pós queima	RF = resistência à flexão pós queima

## Resultados e Discussão

Tabela 22 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 1200 °C por 1 hora.

Descrição	Unidades	A		B		C		D	
		Média	Desv. P						
Dens PC	g/cm <sup>3</sup>	1,943	0,020	1,996	0,015	1,975	0,018	2,017	0,016
Dens S	g/cm <sup>3</sup>	1,798	0,023	1,856	0,010	1,862	0,017	1,898	0,009
U	%	7,401	0,088	7,533	0,070	6,240	0,126	6,874	0,073
Retra S	%	0,337	0,053	0,263	0,072	0,142	0,056	0,150	0,068
Dens Q	g/cm <sup>3</sup>	1,916	0,019	1,948	0,011	1,962	0,016	1,988	0,010
Retra Q	%	5,682	0,095	5,170	0,058	4,982	0,061	4,822	0,078
Perda P	%	10,87	0,04	10,06	0,03	9,79	0,04	9,63	0,05
Poros Ap	%	25,32	0,86	24,81	0,31	24,93	0,23	24,26	0,18
AA	%	12,18	0,55	11,69	0,19	11,70	0,14	11,17	0,11
RF	MPa	9,23	0,68	10,01	0,63	8,59	0,44	9,29	0,59

<b>Legenda:</b>	
Dens PC = densidade pós compactação	Retra Q = percentual de retração linear pós queima
Dens S = densidade pós secagem	Perda P = percentual de perda de peso
U = percentual do teor de umidade	AA = percentual de absorção de água
Retra S = percentual de retração linear pós secagem	Poros Ap = percentual de porosidade aparente
Dens Q = densidade pós queima	RF = resistência à flexão pós queima

## Resultados e Discussão

Tabela 23 – Resumos dos parâmetros obtidos para as corpos-de-prova antes e após a queima a 1200 °C por 2 horas.

Descrição	Unidades	A		B		C		D	
		Média	Desv. P						
Dens PC	g/cm <sup>3</sup>	1,953	0,012	1,976	0,014	1,966	0,012	2,012	0,012
Dens S	g/cm <sup>3</sup>	1,826	0,009	1,844	0,016	1,859	0,013	1,906	0,012
U	%	0,242	0,049	0,204	0,059	0,133	0,044	0,194	0,018
Retra S	%	1,02	0,01	1,00	0,01	0,99	0,01	0,95	0,01
Dens Q	g/cm <sup>3</sup>	1,938	0,017	1,959	0,012	1,966	0,018	1,995	0,017
Retra Q	%	5,704	0,551	5,326	0,072	5,040	0,086	4,898	0,101
Perda P	%	10,85	0,03	10,16	0,03	9,86	0,05	9,65	0,08
Poros Ap	%	24,23	0,20	25,17	0,60	24,79	0,40	24,15	0,15
AA	%	11,51	0,13	11,94	0,37	11,61	0,25	11,10	0,09
RF	MPa	10,68	0,84	9,24	0,48	9,07	0,53	10,79	0,48

**Legenda:**

Dens PC = densidade pós compactação	Retra Q = percentual de retração linear pós queima
Dens S = densidade pós secagem	Perda P = percentual de perda de peso
U = percentual do teor de umidade	AA = percentual de absorção de água
Retra S = percentual de retração linear pós secagem	Poros Ap = percentual de porosidade aparente
Dens Q = densidade pós queima	RF = resistência à flexão pós queima

## Resultados e Discussão

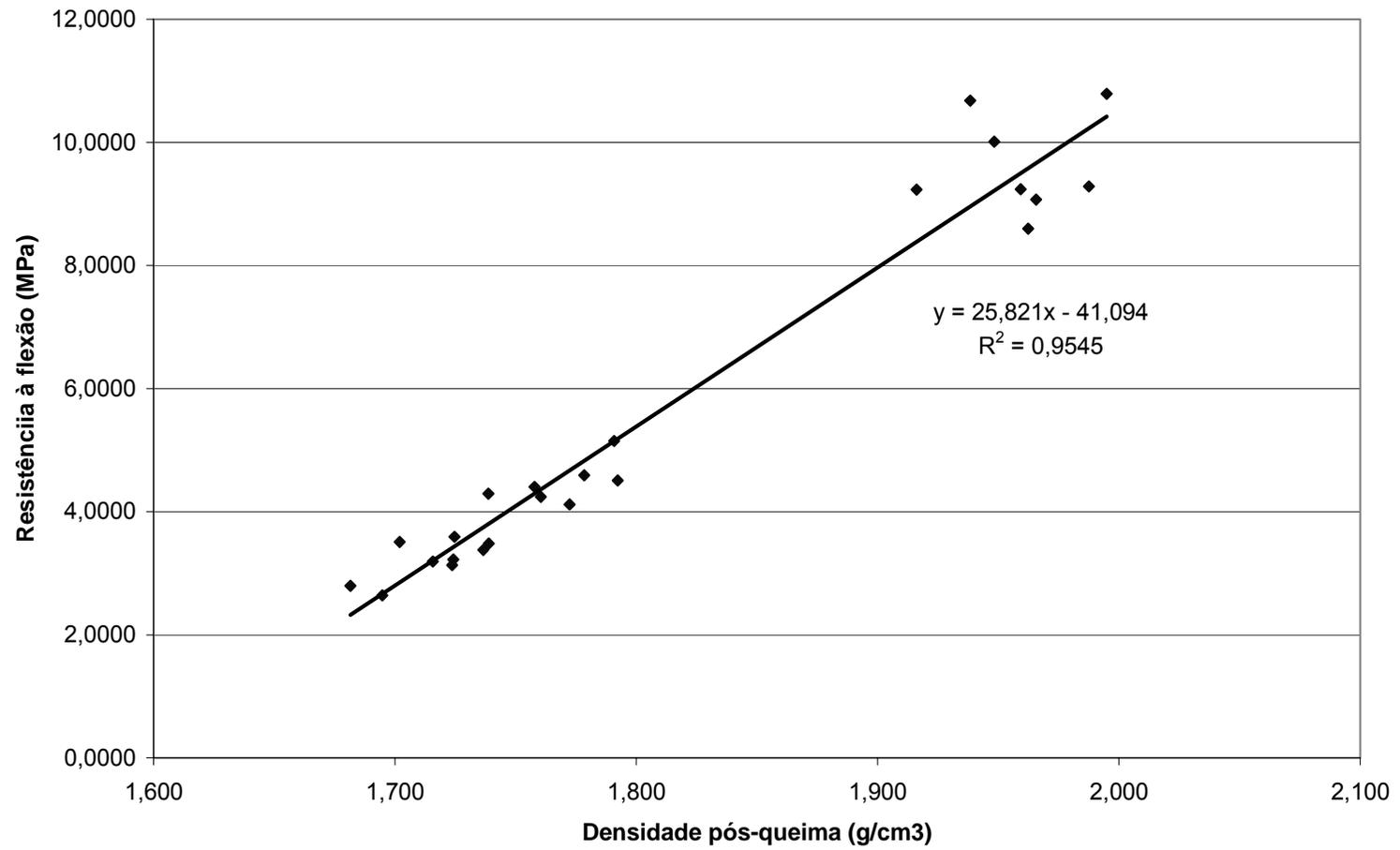


Figura 19 - Correlação entre a densidade pós-queima e a resistência à flexão.

4.3.1. Resultados dos Ensaios nos Corpos Cerâmicos Antes da Queima

4.3.1.1. Densidade pós compactação (Dens PC)

Os valores médios e os respectivos desvios padrões da densidade pós compactação estão apresentados na Tabela 24, e esquematizados na Figura 20. Tabela 24 – Resumos do parâmetro densidade pós-compactação.

Densidade pós-compactação - Dens PC (g/cm <sup>3</sup> )												
T (C) / t (h)	900/1		900/2		1050/1		1050/2		1200/1		1200/2	
Composição	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P
<b>A</b>	1,889	0,016	1,885	0,018	1,818	0,019	1,854	0,019	1,943	0,020	1,953	0,012
<b>B</b>	1,922	0,021	1,928	0,011	1,859	0,019	1,874	0,018	1,996	0,015	1,976	0,014
<b>C</b>	1,924	0,012	1,930	0,014	1,877	0,014	1,888	0,009	1,975	0,018	1,966	0,012
<b>D</b>	1,996	0,020	1,978	0,021	1,919	0,020	1,922	0,011	2,017	0,016	2,012	0,012

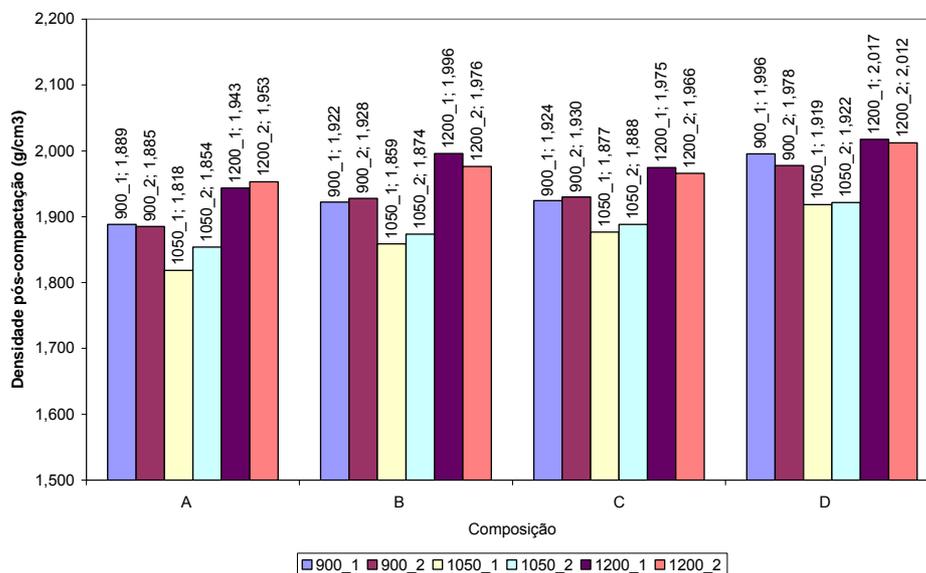


Figura 20 - Gráfico da densidade pós compactação por composição e ciclo de queima.

As variações apresentadas para a densidade pós compactação podem ser assim explicadas. Todas as composições mostraram os menores valores para as amostras que seriam submetidas ao ciclo de queima à temperatura de 1050

## Resultados e Discussão

°C, fato esse explicado por essas amostras terem sido confeccionadas sem o processo de lubrificação do molde, anteriormente citado no item 3.5.

À medida que ocorre o aumento do teor de chumbo na massa cerâmica, para cada ciclo de queima, ocorre aumento nos valores da densidade pós compactação. Esse comportamento está ligado ao fato da escória ter maior densidade que a massa cerâmica.

### 4.3.1.2. Densidade pós secagem (Dens S).

Os valores médios e os respectivos desvios padrões da densidade pós secagem estão apresentados na Tabela 25, e esquematizados na Figura 21.

Tabela 25 – Resumos do parâmetro densidade pós-secagem.

Densidade pós-secagem - Dens S (g/cm <sup>3</sup> )												
T (C) / t (h)	900/1		900/2		1050/1		1050/2		1200/1		1200/2	
Composição	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P
<b>A</b>	1,802	0,013	1,791	0,025	1,765	0,021	1,756	0,018	1,798	0,023	1,826	0,009
<b>B</b>	1,837	0,012	1,825	0,009	1,762	0,018	1,788	0,011	1,856	0,010	1,844	0,016
<b>C</b>	1,841	0,019	1,840	0,007	1,802	0,009	1,818	0,015	1,862	0,017	1,859	0,013
<b>D</b>	1,900	0,015	1,879	0,027	1,821	0,008	1,823	0,006	1,898	0,009	1,906	0,012

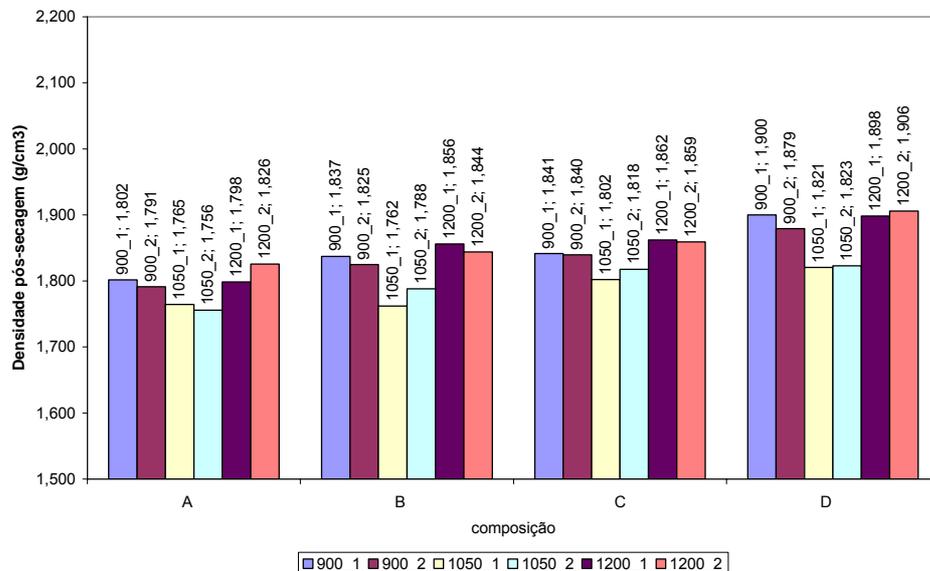


Figura 21 - Gráfico da densidade pós secagem por composição e ciclo de queima.

## Resultados e Discussão

Os valores obtidos corroboram com os valores obtidos na densidade pós compactação, pois após a secagem, as mudanças devem-se somente a saída da água de compactação.

### 4.3.1.3. Teor de umidade (U)

Os valores médios e os respectivos desvios padrões do teor de umidade estão apresentados na Tabela 26, e esquematizados na Figura 22.

Tabela 26 – Resumos do parâmetro teor de umidade.

Umidade - U (%)												
T (C) / t (h)	900/1		900/2		1050/1		1050/2		1200/1		1200/2	
Composição	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P
<b>A</b>	5,801	0,033	5,967	0,048	4,877	0,130	5,370	0,092	7,401	0,088	7,261	0,104
<b>B</b>	5,903	0,187	6,126	0,082	5,850	0,172	5,972	0,185	7,533	0,070	7,189	0,132
<b>C</b>	5,295	0,191	5,190	0,108	6,374	0,248	6,278	0,156	6,240	0,126	6,014	0,187
<b>D</b>	6,141	0,335	5,922	0,165	6,361	0,116	5,913	0,122	6,874	0,073	6,559	0,140

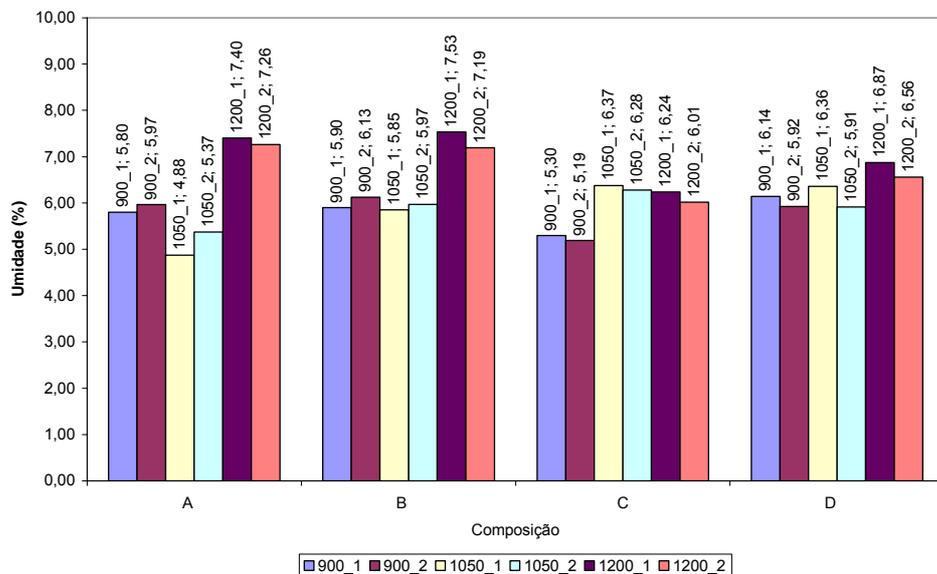


Figura 22 - Gráfico do teor de umidade por composição e ciclo de queima.

Os valores mostram que o teor de umidade ficou na faixa de 5 a 8% de umidade. Comparando-se os valores de densidade pós-compactação e pós-

## Resultados e Discussão

secagem como os valores do teor de umidade, tem-se que, apesar das amostras com maiores teores de umidade apresentarem maiores valores de densidade pós compactação, os valores de densidade pós secagem dessas amostras, não mostraram esse ganho nos valores de densidade pós secagem.

Pode-se concluir que teores de umidade em torno de 6% foram os que apresentaram os melhores resultados, pois maiores teores de umidade na massa não implicaram num grande aumento nos valores de densidade pós secagem.

### 4.3.1.4. Retração de secagem (Retr S)

Os valores médios e os respectivos desvios padrões de retração de secagem estão apresentados na Tabela 27, e esquematizados na Figura 23.

Tabela 27 – Resumos do parâmetro retração de secagem.

Retração de Secagem - Retr S (%)												
T (C) / t (h)	900/1		900/2		1050/1		1050/2		1200/1		1200/2	
Composição	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P
<b>A</b>	0,326	0,035	0,223	0,035	0,256	0,069	0,075	0,086	0,337	0,053	0,242	0,049
<b>B</b>	0,250	0,033	0,207	0,049	0,113	0,057	0,160	0,044	0,263	0,072	0,204	0,059
<b>C</b>	0,181	0,035	0,142	0,023	0,250	0,058	0,228	0,055	0,142	0,056	0,133	0,044
<b>D</b>	0,480	0,030	0,125	0,025	0,209	0,059	0,257	0,035	0,150	0,068	0,194	0,018

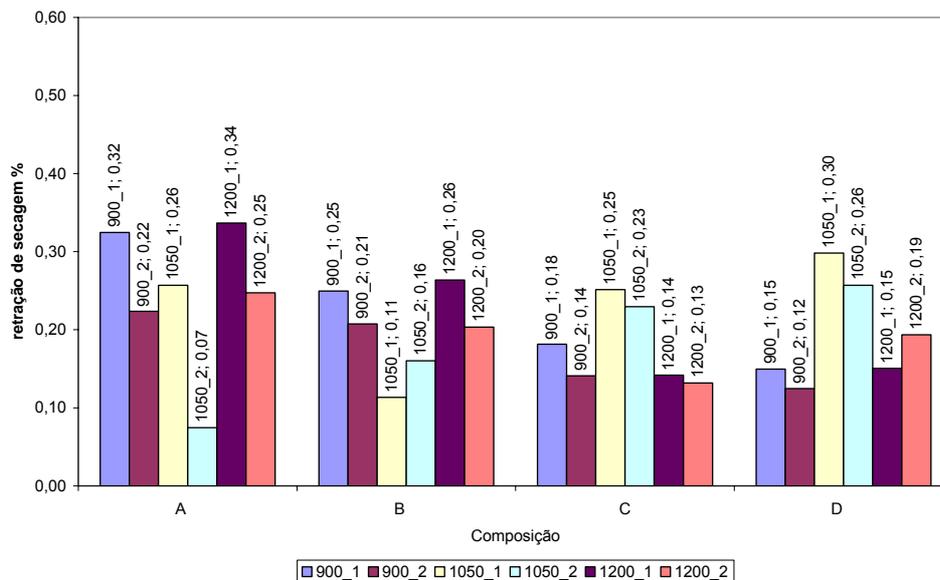


Figura 23 - Gráfico da retração de secagem por composição e ciclo de queima.

Os maiores valores de retração foram obtidos para as amostras com maiores teores de umidade. Quanto maior quantidade de água, maior o espaço ocupado por ela, e maior o valor de retração devido sua saída no processo de secagem.

Os valores entretanto, mostraram que o uso da escória como matéria-prima não interfere significativamente nos valores da retração de secagem, apenas uma leve tendência de diminuir com o aumento no teor de escória, sendo este fato explicado pela escória atuar como um elemento que impede a contração da peça, assim como atua a sílica livre na composição.

### 4.3.2. Resultados dos Ensaio nos Corpos Cerâmicos Após a Queima

#### 4.3.2.1. Densidade pós-queima (Dens PQ)

Os valores médios e os respectivos desvios padrões da densidade pós-queima estão apresentados na Tabela 28, e esquematizados na Figura 24.

Tabela 28 – Resumos do parâmetro densidade pós-queima.

Densidade pos-queima - Dens PQ (g/cm <sup>3</sup> )												
T (C) / t (h)	900/1		900/2		1050/1		1050/2		1200/1		1200/2	
Composição	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P
A	1,702	0,013	1,681	0,017	1,725	0,020	1,739	0,017	1,916	0,019	1,938	0,017
B	1,695	0,013	1,716	0,009	1,737	0,009	1,758	0,010	1,948	0,011	1,959	0,012
C	1,724	0,011	1,724	0,011	1,772	0,017	1,778	0,018	1,962	0,016	1,966	0,018
D	1,760	0,015	1,739	0,011	1,792	0,017	1,791	0,013	1,988	0,010	1,995	0,017

## Resultados e Discussão

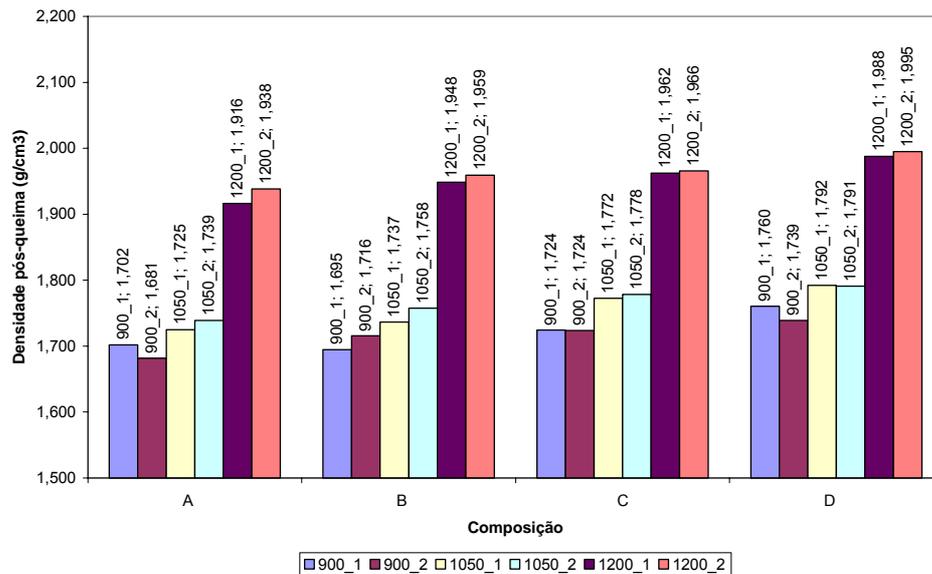


Figura 24 - Gráfico da densidade pós queima por composição e ciclo de queima.

Observando o gráfico, vê-se que a densidade pós-queima aumenta para todas as composições com o aumento da temperatura de queima. A pouca diferença entre as amostras queimadas a 900 °C e a 1050 °C deve-se ao fato das amostras submetidas a 1050 °C serem as que apresentaram os mais baixos valores de densidade pós secagem, influenciando desse modo os resultados.

As amostras submetidas a queima a temperatura de 1200 °C foram as que mostraram os maiores valores de densidade pós-queima, fato este que pode ser explicado pela maior presença de fase líquida durante o processo de sinterização, facilitando o processo difusional e aumentando a retração.

Dentro de cada ciclo de queima tem-se um aumento nos valores de densidade pós queima com o aumento no teor de escória de chumbo, fato também explicado pela maior densidade. Entretanto essa variação é muito pequena e pouco significativa.

Os valores da densidade pós queima mostraram que o uso da escória de chumbo melhorou os valores de densidade pós-queima, pelo aumento da densidade do compacto à verde.

4.3.2.2. Retração Linear de Queima (RQ)

Os valores médios e os respectivos desvios padrões da retração de queima estão apresentados na Tabela 29, e esquematizados na Figura 25.

Tabela 29 – Resumos do parâmetro retração linear de queima.

Retração de Queima - Retr Q (%)												
T (C) / t (h)	900/1		900/2		1050/1		1050/2		1200/1		1200/2	
Composição	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P
A	1,734	0,058	1,797	0,055	3,057	0,066	3,294	0,089	5,682	0,095	5,704	0,551
B	1,505	0,038	1,534	0,036	2,883	0,080	3,179	0,056	5,170	0,058	5,326	0,072
C	1,514	0,025	1,475	0,045	2,887	0,058	3,213	0,079	4,982	0,061	5,040	0,086
D	1,411	0,027	1,490	0,028	2,865	0,052	3,244	0,088	4,822	0,078	4,898	0,101

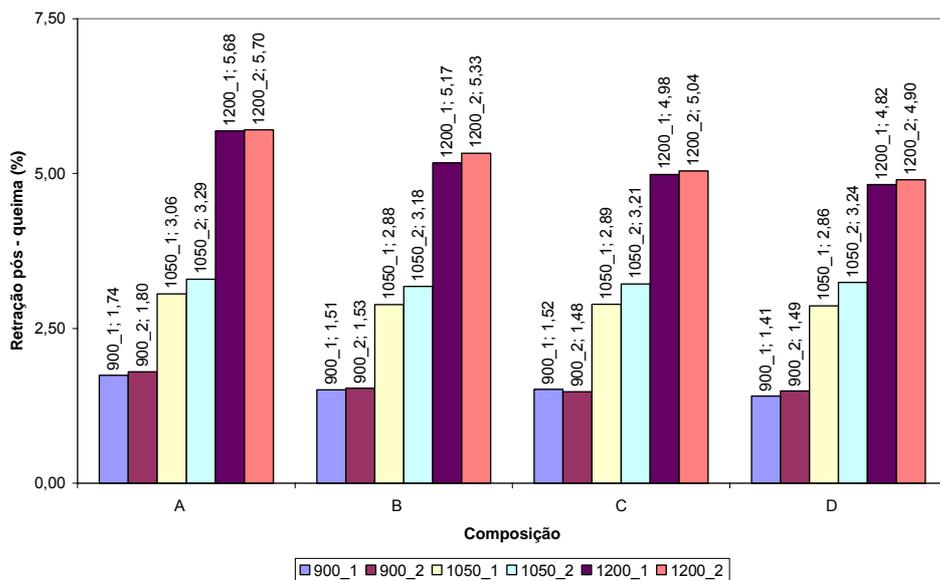


Figura 25 - Gráfico da retração linear de queima por composição e ciclo de queima.

Os valores de retração de queima apresentado na gráfico acima, corroboram com os valores obtidos para a densidade pós-queima, na medida em que as amostras que apresentaram os maiores valores de densidade pós-queima foram os que mostraram os maiores valores de retração.

Este fato pode ser explicado, assim como para a densidade pós queima, pela maior presença de fase líquida no processo de queima.

Observando-se os valores dentro de cada ciclo de queima, tem-se uma diminuição nos valores com o aumento nos teores de escória. Esse comportamento pode ser atribuído à escória se comportar como a sílica no processo de queima, ancorando o processo de densificação que ocorre na queima. Para todas as composições observa-se uma aumento nos valores quanto ocorre uma aumento na temperatura de queima, fato este explicado pelo aumento do processo difusional, o que propicia um aumento do mecanismo de densificação.

#### **4.3.2.3. Perda de Peso (Perda P)**

Os valores médios e os respectivos desvios padrões da perda de peso estão apresentados na

Tabela 30, e esquematizados na Figura 26.

Tabela 30 – Resumos do parâmetro perda de peso.

<b>Perda de Peso - Perda P (%)</b>												
<b>T (C) / t (h)</b>	<b>900/1</b>		<b>900/2</b>		<b>1050/1</b>		<b>1050/2</b>		<b>1200/1</b>		<b>1200/2</b>	
<b>Composição</b>	<b>Média</b>	<b>Desv P</b>	<b>Média</b>	<b>Desv P</b>	<b>Média</b>	<b>Desv P</b>	<b>Média</b>	<b>Desv P</b>	<b>Média</b>	<b>Desv P</b>	<b>Média</b>	<b>Desv P</b>
<b>A</b>	10,703	0,027	10,528	0,053	11,324	0,051	11,304	0,070	10,873	0,035	10,846	0,021
<b>B</b>	10,191	0,052	10,072	0,056	10,352	0,089	10,078	0,074	10,058	0,034	10,159	0,033
<b>C</b>	9,739	0,038	9,795	0,085	9,435	0,050	9,655	0,038	9,793	0,042	9,859	0,046
<b>D</b>	9,323	0,321	9,549	0,078	9,583	0,057	9,740	0,068	9,628	0,054	9,653	0,081

## Resultados e Discussão

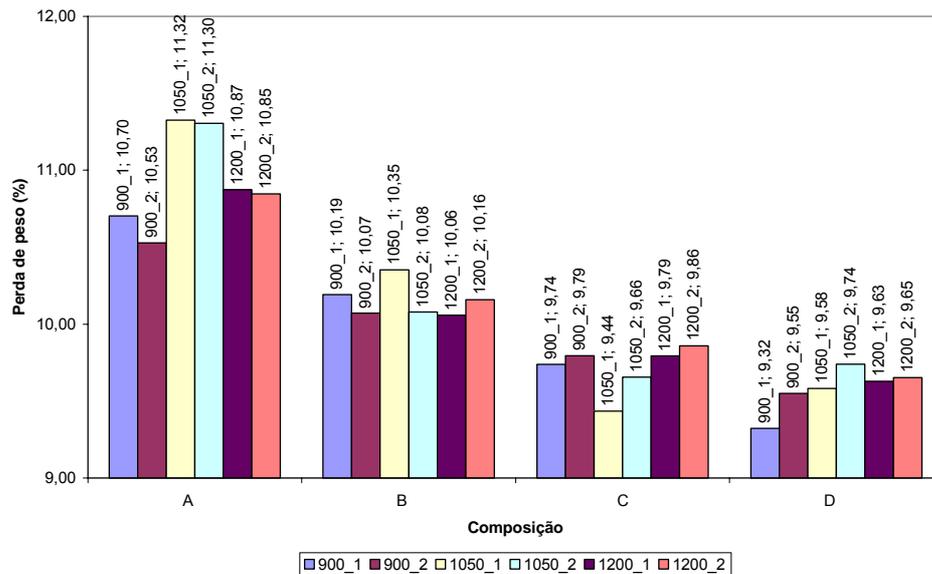


Figura 26 - Gráfico da perda de peso por composição e ciclo de queima.

Observando os valores, tem-se uma queda nos valores de perda de peso durante a queima à medida que aumenta-se o teor de escória de chumbo na massa cerâmica. Este fato é explicado pelos menores valores de perda ao fogo da escória de chumbo, apresentado no item 4.2.1.2, quando comparados aos da massa cerâmica, no item 4.2.2.1.

### 4.3.2.4. Absorção de Água (AA)

Os valores médios e os respectivos desvios padrões da absorção de água estão apresentados na Tabela 31, e esquematizados na Figura 27.

Tabela 31 – Resumos do parâmetro absorção de água.

Absorção de Água - AA (%)												
T (C) / t (h)	900/1		900/2		1050/1		1050/2		1200/1		1200/2	
Composição	Média	Desv P										
A	21,242	0,895	21,857	1,115	19,457	0,987	19,677	0,693	12,181	0,547	11,510	0,132
B	20,919	0,703	20,492	0,600	19,675	0,750	17,762	0,828	11,692	0,189	11,936	0,372
C	20,102	0,623	20,302	1,034	17,966	1,102	16,671	0,433	11,695	0,140	11,610	0,247
D	18,368	0,142	18,947	0,606	17,523	0,678	16,428	1,026	11,168	0,108	11,104	0,086

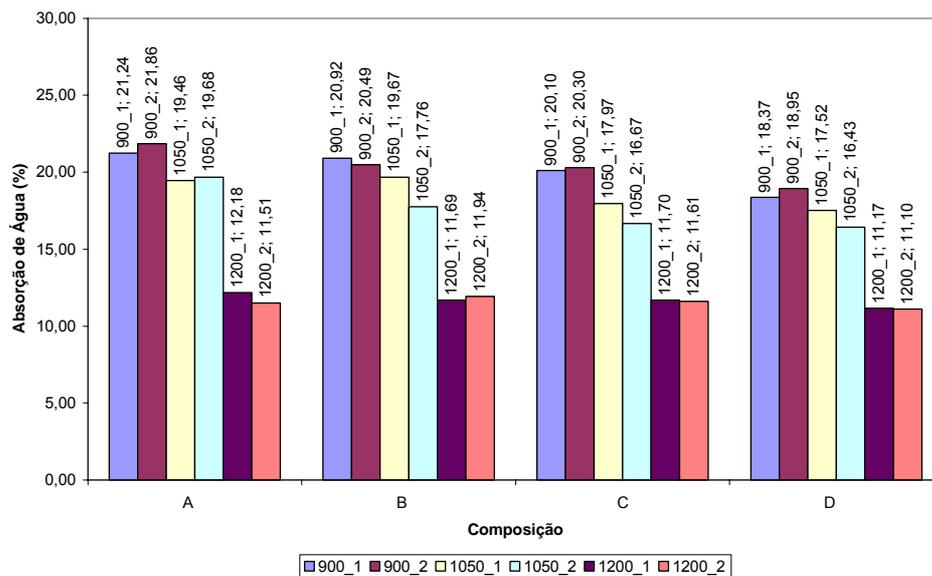


Figura 27 - Gráfico da absorção de água por composição e ciclo de queima.

Os valores mostram que ocorre uma queda nos valores da absorção de água com o aumento da temperatura de queima e com o aumento no teor de chumbo na massa cerâmica.

Os menores valores de absorção de água foram obtidos para as amostras queimadas a 1200 °C, 11,1%, o que é completamente coerente devido ao fato dessas amostras apresentarem os maiores valores de densidade pós queima, e portanto uma microestrutura mais fechada. Os valores mostraram que a escória de chumbo não afeta negativamente os valores de absorção de água.

#### 4.3.2.5. Porosidade Aparente (PA)

Os valores médios e os respectivos desvios padrões da porosidade aparente estão apresentados na Tabela 32, e esquematizados na Figura 28.

Tabela 32 – Resumos do parâmetro porosidade aparente.

Porosidade Aparente - Poro Ap. (%)												
T (C) / t (h)	900/1		900/2		1050/1		1050/2		1200/1		1200/2	
Composição	Média	Desv P										
A	37,178	0,997	37,863	1,194	35,263	1,143	35,504	0,792	25,316	0,857	24,232	0,199
B	37,289	0,778	36,814	0,677	35,926	0,881	33,589	1,017	24,813	0,307	25,170	0,598
C	36,563	0,728	36,795	1,186	34,048	1,374	32,386	0,564	24,931	0,232	24,791	0,402
D	34,737	0,168	35,444	0,717	33,690	0,863	32,239	1,365	24,260	0,180	24,153	0,145

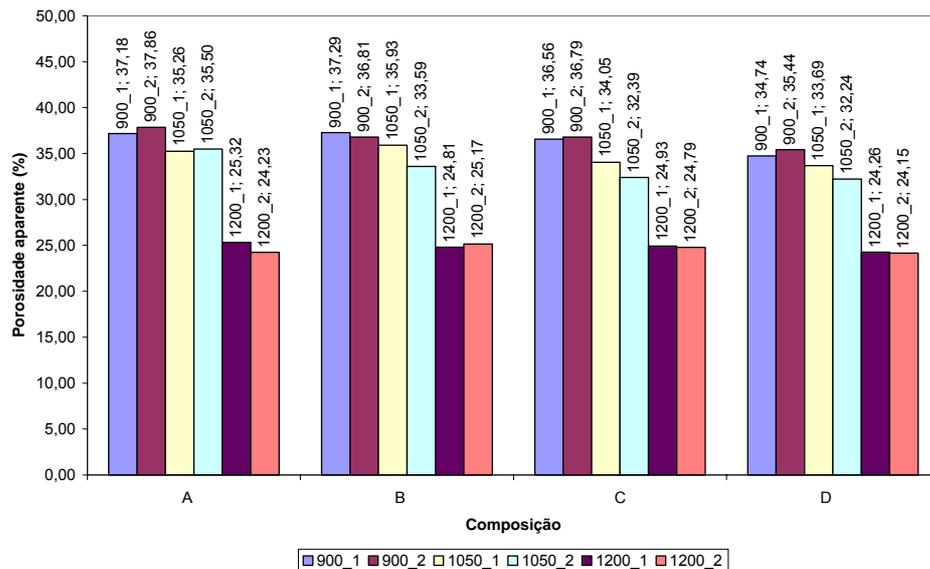


Figura 28 - Gráfico da porosidade aparente por composição e ciclo de queima.

Os dados apresentados para a porosidade aparente corroboram os dados de absorção de água, pois maiores valores de porosidade indica maior espaço dentro do corpo que pode ser ocupado pela água.

Corpos cerâmicos com menos porosidade, geralmente apresentam maiores valores de tensão de ruptura à flexão. Poros atuam como defeitos. Espera-se, portanto, que as amostras com alta porosidade tenham os menores valores de tensão de ruptura à flexão.

#### 4.3.2.6. Resistência à Flexão (RF)

Os valores médios e os respectivos desvios padrões da resistência à flexão estão apresentados na Tabela 33, e esquematizados na Figura 29.

Tabela 33 – Resumos do parâmetro resistência à flexão.

Resistência à flexão - RF (MPa)												
T (C) / t (h)	900/1		900/2		1050/1		1050/2		1200/1		1200/2	
Composição	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P	Média	Desv P
A	3,509	0,470	2,792	0,443	3,590	0,527	4,290	0,639	9,235	0,682	10,677	0,841
B	2,639	0,326	3,187	0,328	3,376	0,611	4,403	0,305	10,010	0,631	9,237	0,482
C	3,224	0,051	3,134	0,601	4,114	0,565	4,587	0,407	8,595	0,443	9,071	0,526
D	4,241	0,472	3,479	0,362	4,504	0,478	5,146	0,798	9,285	0,594	10,785	0,481

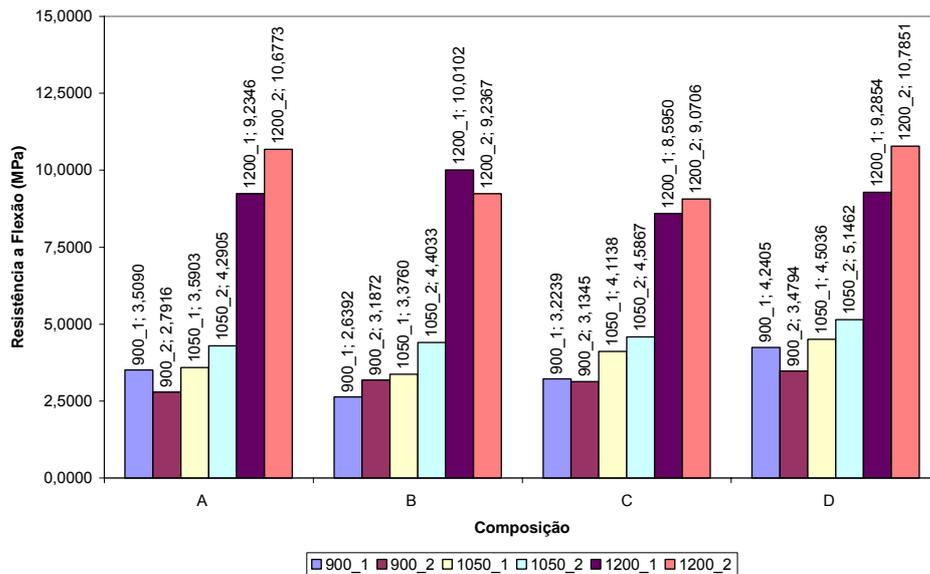


Figura 29 - Gráfico da resistência à flexão por composição e ciclo de queima.

Os valores de resistência à flexão mostram uma tendência do aumento nos valores de tensão de ruptura com o aumento da temperatura de queima.

Esse comportamento está de acordo com os valores de porosidade, na medida em que quanto menor o valor de porosidade, maior o valor da tensão de ruptura, dentro de cada composição para todos os ciclos de queima.

Observa-se que a inclusão da escória não afetou significativamente os valores de resistência à flexão, entretanto, ter-se-ia uma visão mais ampla e precisa se ocorresse um aumento no número de corpos-de-prova.

Os maiores valores de resistência para a temperatura de 1200 °C, 10,8 MPa, deve-se à formação de maior fase líquida, o que proporcionou, também, menores valores de porosidade aparente e de absorção de água.

#### 4.3.2.7. Caracterização Mineralógica das Composições

O resultado da caracterização mineralógica das composições pós queima foram feitas para a composição A e para a composição D, nas temperaturas de 900 °C, 1050 °C, e 1200 °C, por uma hora, e estão apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 – Resumos da DRX nas composições pós queima.

Temp. Queima	Composição A	Composição D
900	Quartzo baixo; e Hematita	Quartzo baixo; e Hematita
1050	Quartzo baixo; e Hematita	Quartzo baixo; e Hematita
1200	Quartzo baixo; Hematita; Mullita; e Cristobalita	Quartzo baixo; Hematita; Mullita; e Cristobalita

#### 4.3.2.8. Microscopia Eletrônica de Varredura

As análises microestruturais foram feitas com o objetivo de corroborar os resultados obtidos para absorção de água, porosidade aparente, e resistência mecânica.

Observando os valores já apresentados para esses parâmetros, tem-se uma grande variação para os corpos-de-prova submetidos à mais alta temperatura de queima (1200 °C), por uma e duas horas de tempo de patamar, quando comparados aos valores obtidos a 900 °C por 1 h.

As análises microestruturais foram realizadas para: a composição A (900 °C por 1 h, 1200 °C por 1 h, 1200 °C por 2 h); a composição B (1200 °C por 2 h); e a composição D (900 °C por 1 h, 1200 °C por 1 h, 1200 °C por 2 h).

Na Figura 30 a Figura 36, estão apresentadas as microestruturas das composições analisadas. Os círculos brancos indicam os pontos que foram comentados nesse item.

A comparação entre as faces de fratura da composição A para os três ciclos de queima mostra que a submetida a temperatura de 900 °C por 1 h (Figura 30) tem menos pontos de contato entre os grãos, que as amostras submetidas à temperatura de queima de 1200 °C por uma e duas horas (Figura 31 e Figura 32).

Quando observa-se os valores de resistência à flexão, tem-se um aumento nos valores para as amostras com maior pontos de contato, ou seja,

3,51 MPa para a queima a 900 °C; 9,23 MPa, e 10,68 MPa, para 1200 °C, por uma e duas horas, respectivamente. Mesmo comportamento é observado para as amostras da composição D (4,24 MPa para a queima a 900 °C; 9,29 MPa, e 10,79 MPa, para 1200 °C, por uma e duas horas, respectivamente).

A Figura 33 mostra as micrografias da composição B, que foi queimada à 1200 °C por duas horas, onde a microestrutura é similar as apresentadas nas Figura 31 e Figura 32. Os valores de resistência da composição B foi de 9,24 MPa, e ficou próximo dos valores das amostras da composição A queimadas na mesma temperatura.

Quando comparou-se as microestruturas da composição A com as da composição B, houveram pontos interessantes.

As micrografias das Figura 31 e Figura 35, das amostras das composições A e D queimadas a 1200 °C por uma hora, respectivamente, são semelhantes, e essas amostras apresentam valores de tensão de ruptura à flexão muito parecidos, com 9,23MPa para a composição A, e 9,29 MPa para D

As micrografias das Figura 32 e Figura 36, das amostras das composições A e D queimadas a 1200 °C por duas horas, respectivamente, são semelhantes, e essas amostras apresentam valores de tensão de ruptura à flexão muito parecidos, com 10,68 MPa para a composição A, e 10,79 MPa para D

Entretanto, somente a amostra da composição D mostrou a presença de uma região com devitrificação de cristais (Figura 36(c), (d), e (e)). Comparando-se os dados obtidos na análise mineralógica atribuiu-se a essa cristalização à fase de mullita.

As amostras submetidas à mesma temperatura de queima mas com patamar de queima de apenas uma hora não apresentaram esses cristais. Provalmente o tempo foi um fator limitador para o crescimento desses cristais.

## Resultados e Discussão

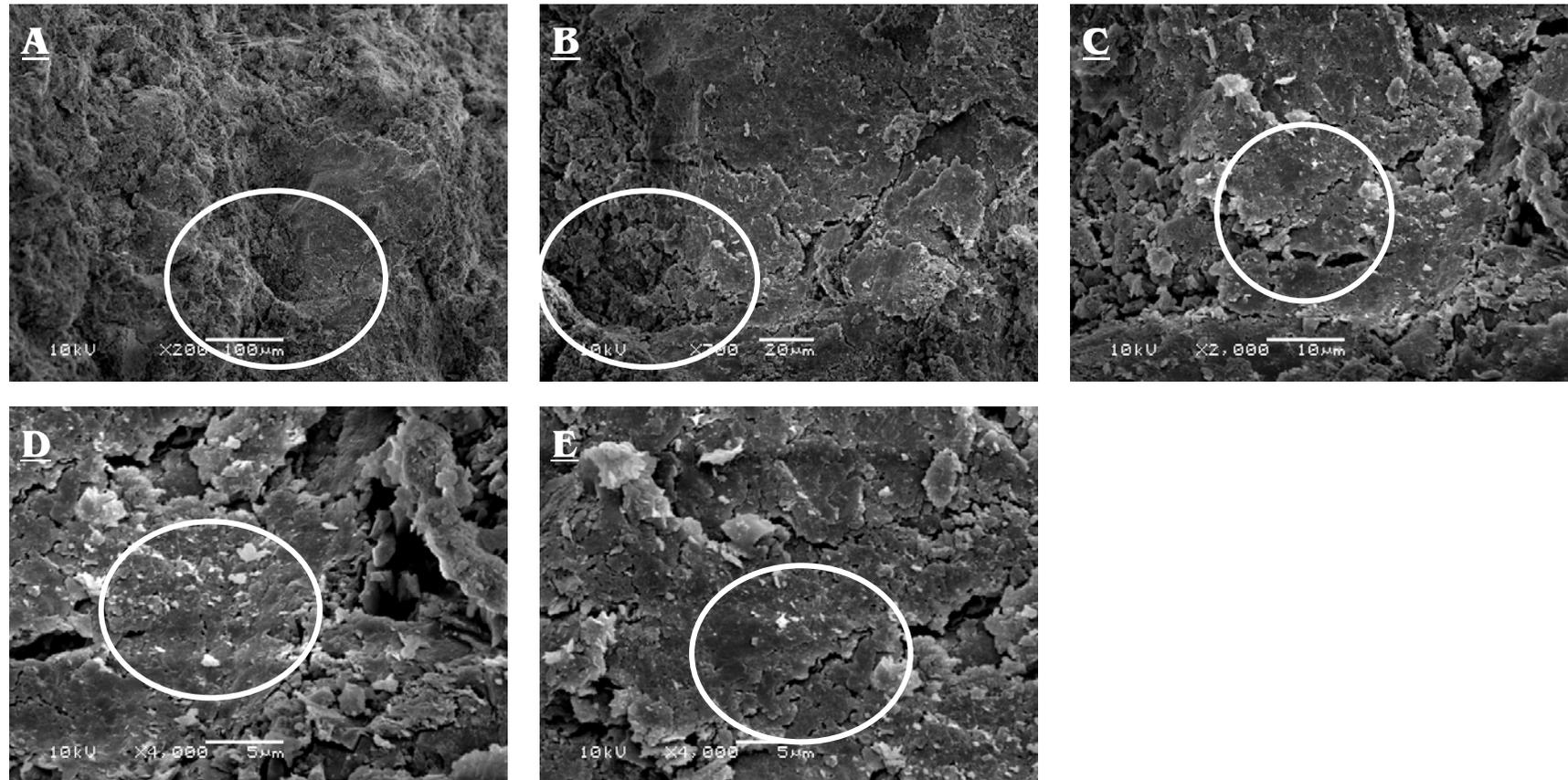


Figura 30 - Micrografias da superfície de fratura da composição A, sinterizada a 900 °C por 1 hora. A) x200; B) x700; C) x2000; D) e E) x4000.

## Resultados e Discussão

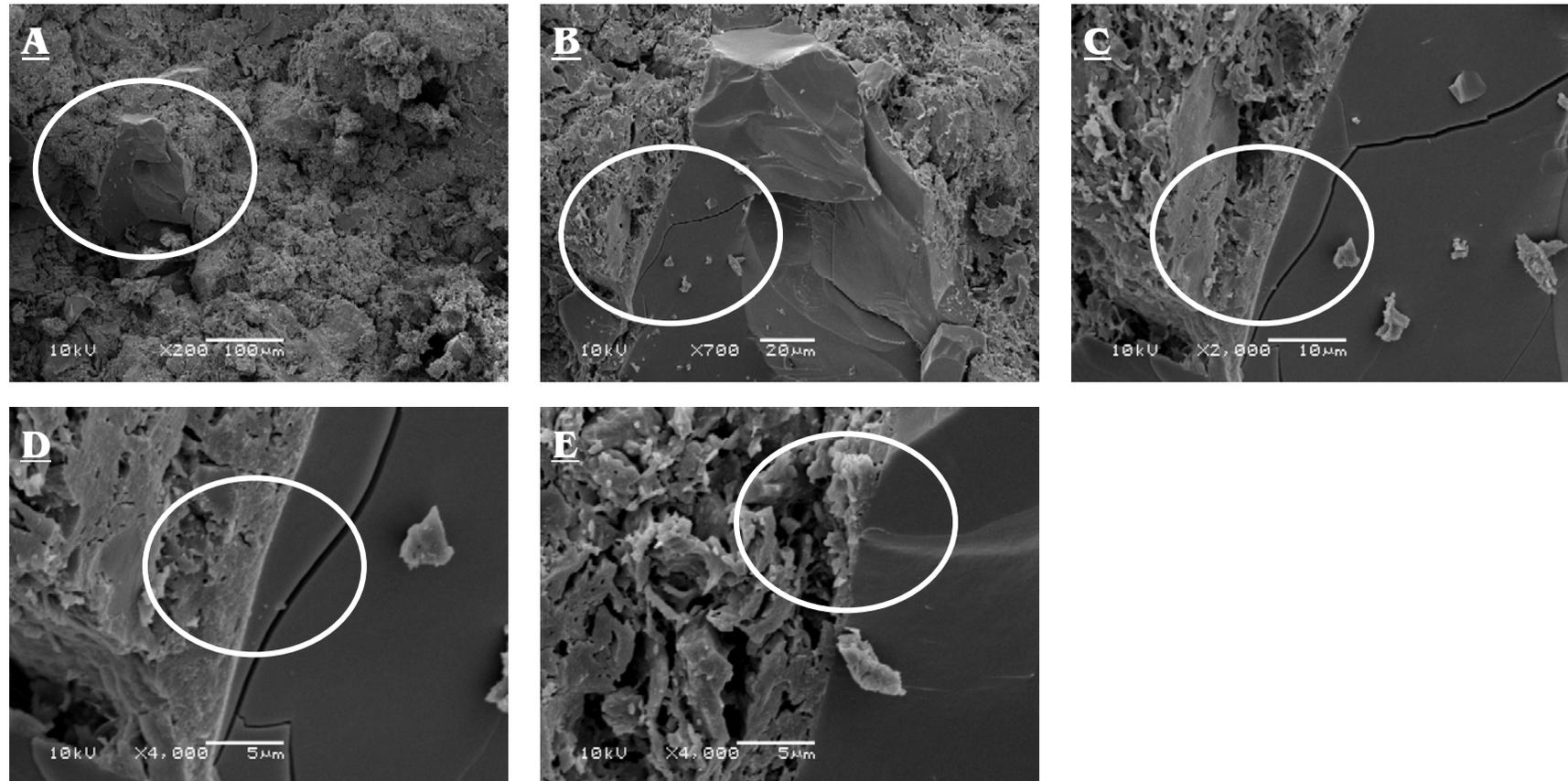


Figura 31 - Micrografias da superfície de fratura da composição A, sinterizada a  $1200\ ^\circ\text{C}$  por 1 hora. A)  $\times 200$ ; B)  $\times 700$ ; C)  $\times 2000$ ; D) e E)  $\times 4000$ .

## Resultados e Discussão

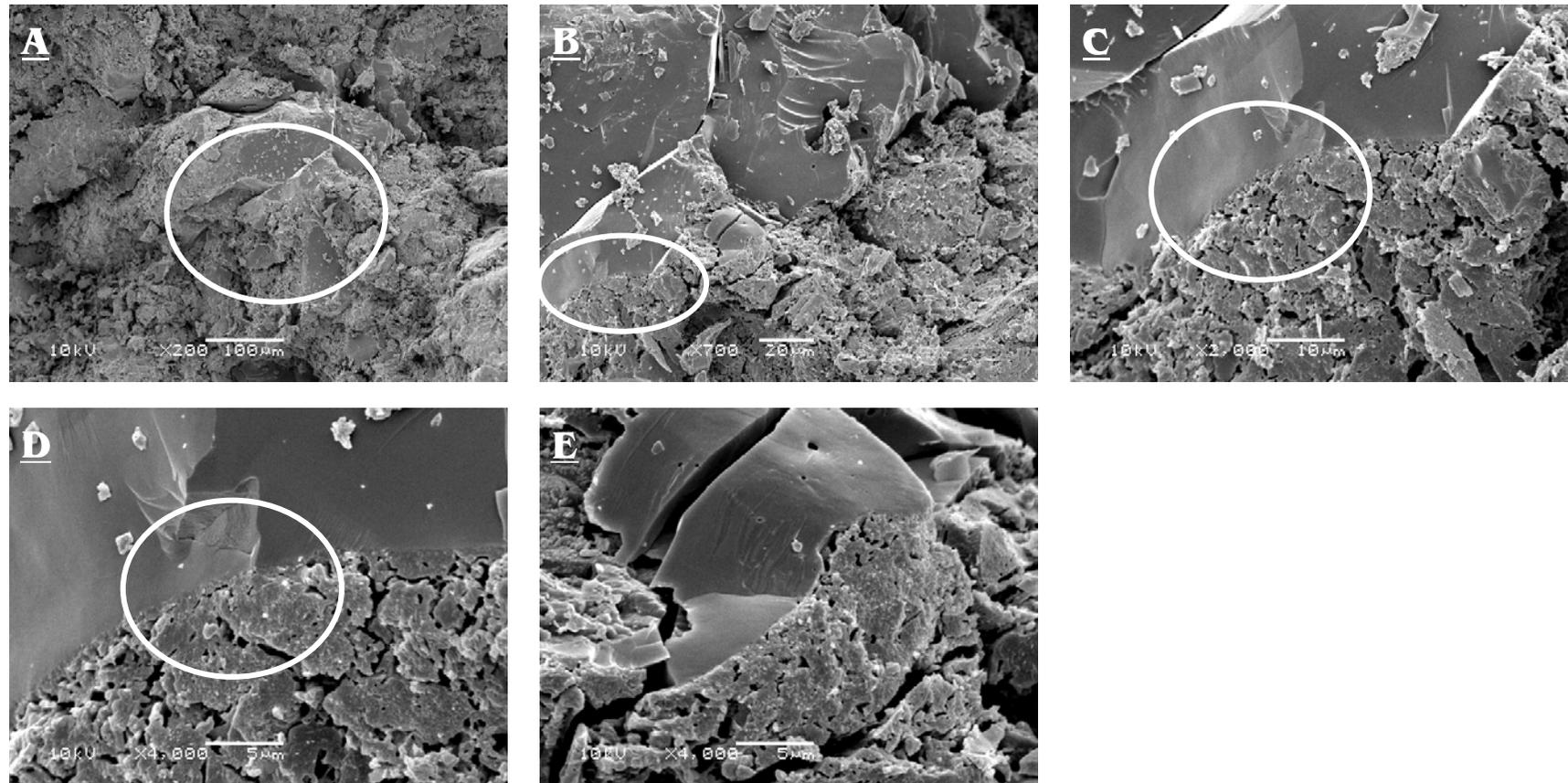


Figura 32 - Micrografias da superfície de fratura da composição A, sinterizada a 1200 °C por 2 horas. A) x200; B) x700; C) x2000; D) e E) x4000.

## Resultados e Discussão

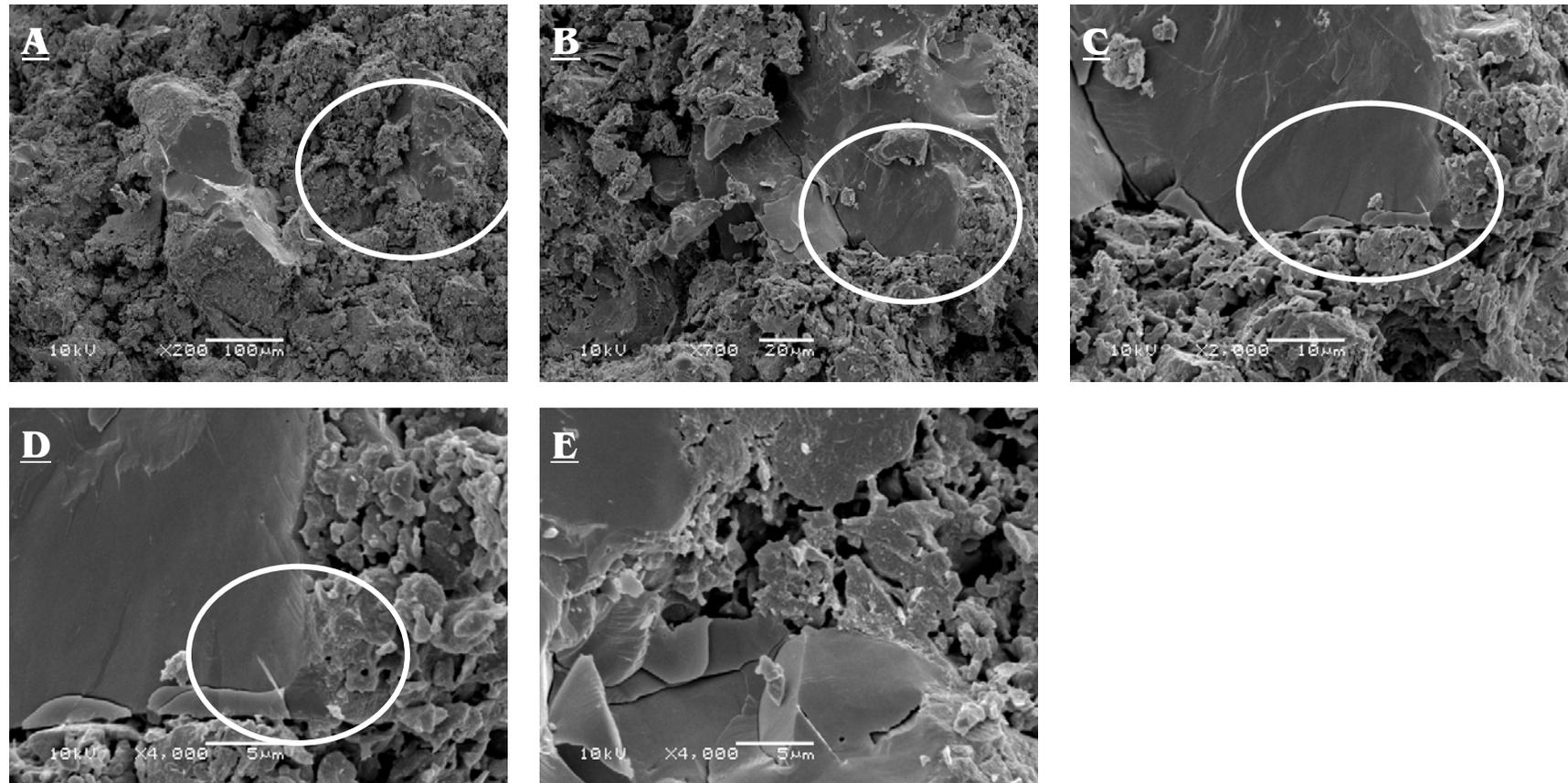


Figura 33 - Micrografias da superfície de fratura da composição B, sinterizada a 1200 °C por 2 horas. A) x200; B) x700; C) x2000; D) e E) x4000.

## Resultados e Discussão

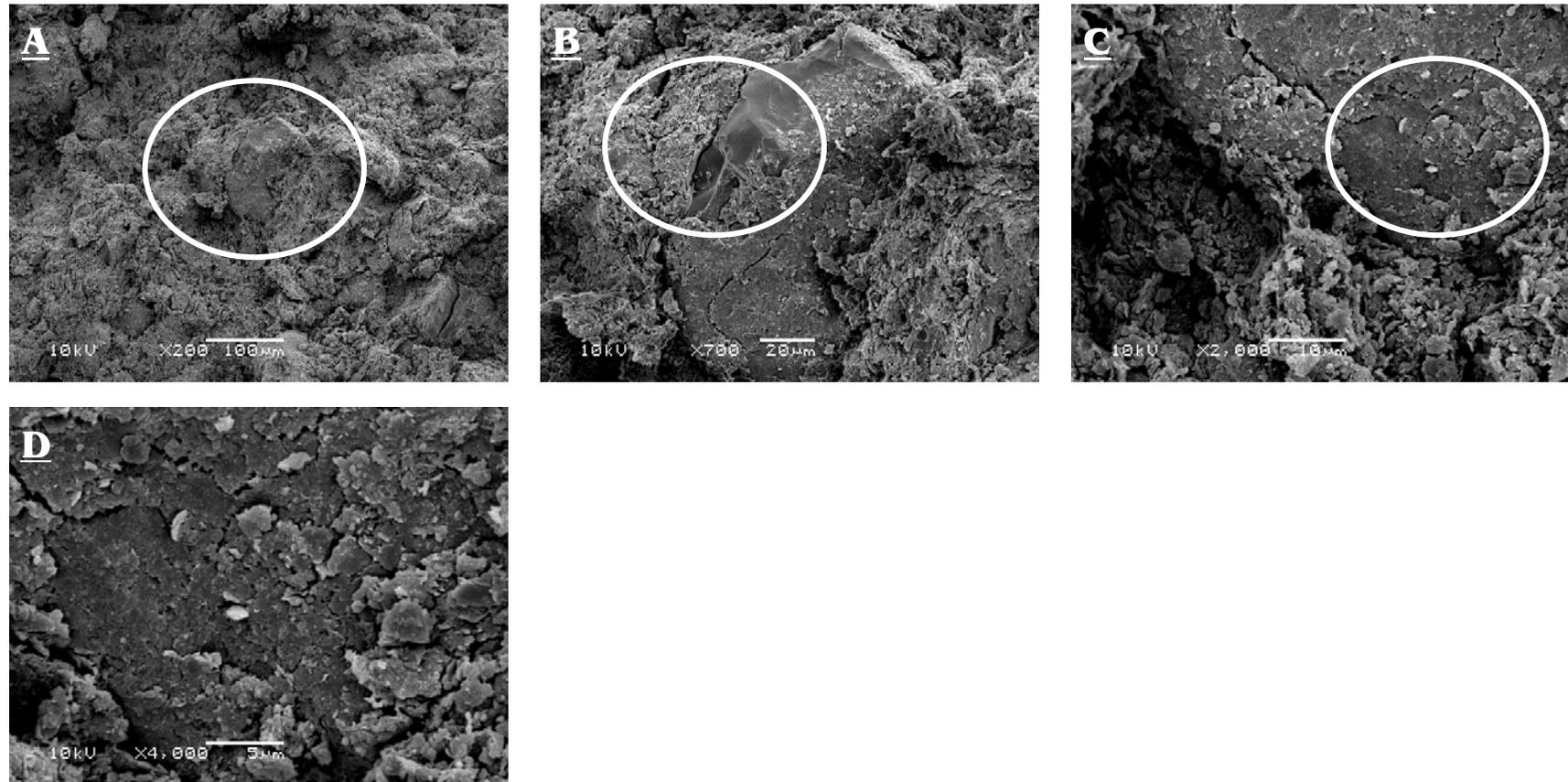


Figura 34 - Micrografias da superfície de fratura da composição D, sinterizada a 900 °C por 1 hora. A) x200; B) x700; C) x2000; e D) x4000.

## Resultados e Discussão

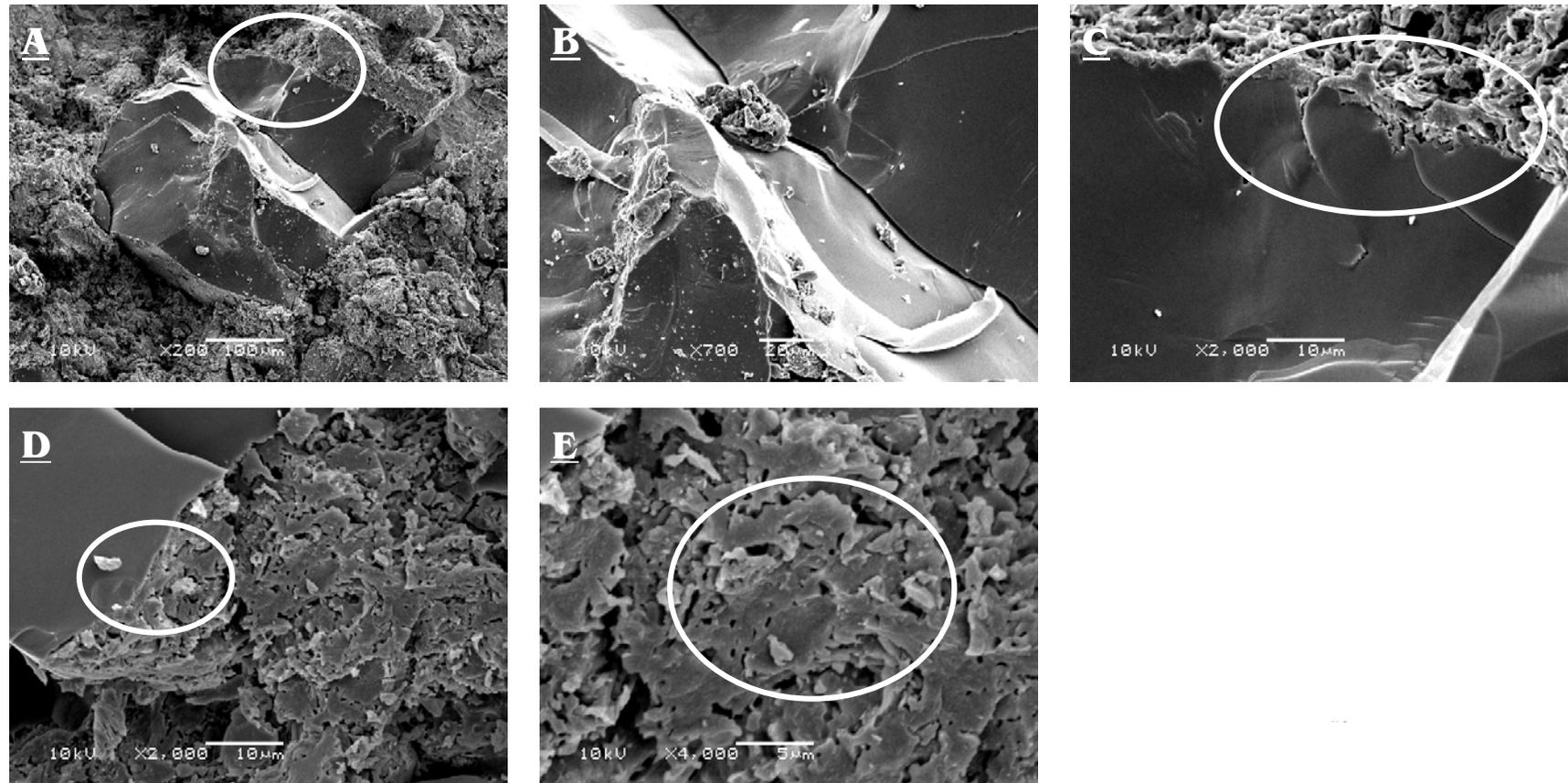


Figura 35 - Micrografias da superfície de fratura da composição D, sinterizada a 1200 °C por 1 hora. A) x200; B) x700; C) e D) x2000; e E) x4000.

## Resultados e Discussão

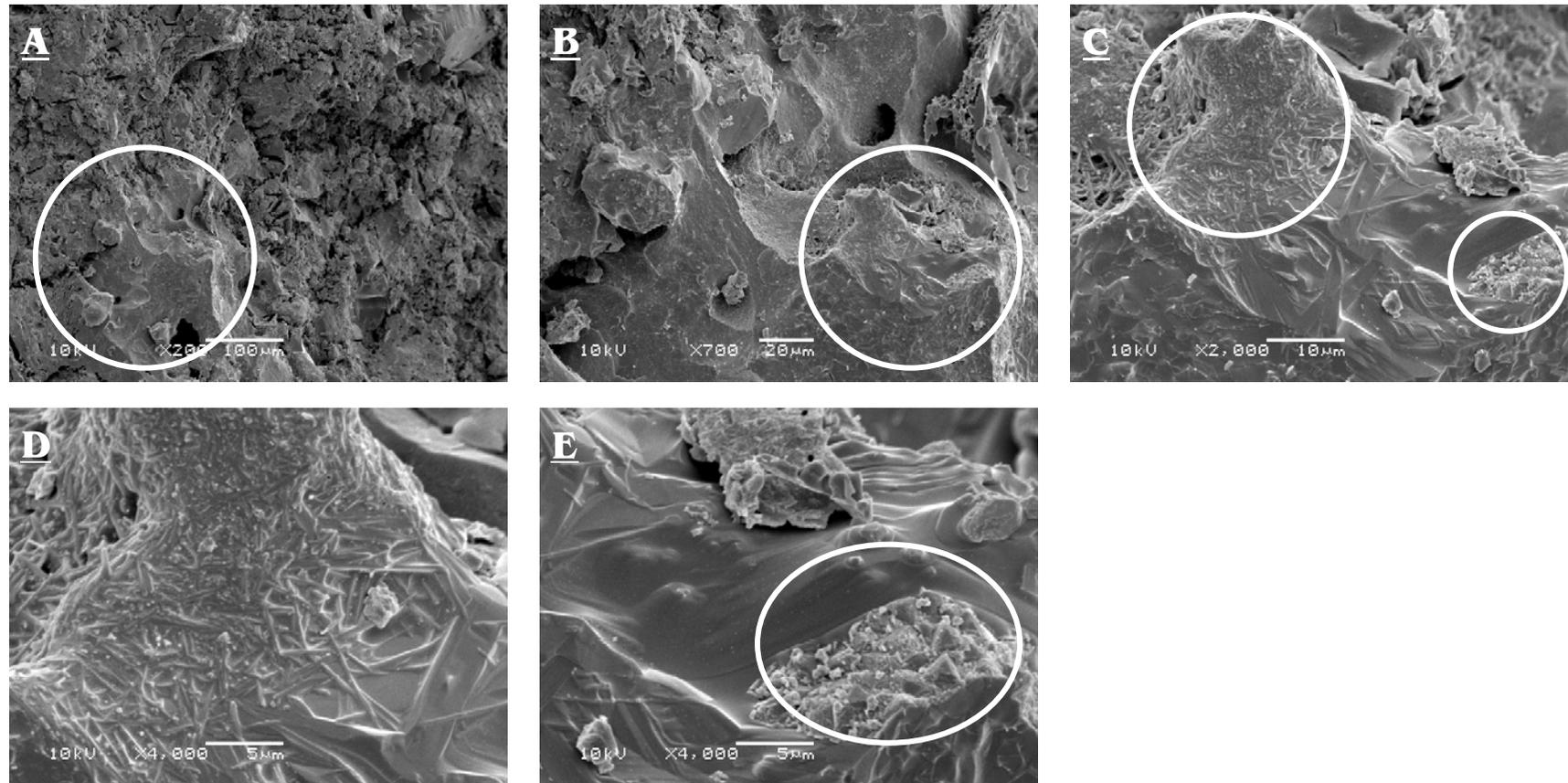


Figura 36 - Micrografias da superfície de fratura da composição D, sinterizada a 1200 °C por 2 horas. A) x200; B) x700; C) x2000; D) e E) x4000.

### 4.3.2.9. Teste de Lixiviação e Solubilização

Os resultados obtidos no teste de lixiviação e solubilização mostraram que a utilização de escória de chumbo em massa cerâmica apresenta-se como um potencial método de tratamento desse resíduo devido a inertização do chumbo, pelo seu aprisionamento na microestrutura cerâmica.

Os resultados para o pó de escória de chumbo utilizado na pesquisa, mostraram os valores de 178,0 mg/L, e 2800,0 mg/L, para os valores nos testes de solubilização e lixiviação, respectivamente. Desses valores, estimou-se que a composição D deveria apresentar valores teóricos de 17,8 mg/L, e 280,0 mg/L, para os valores de solubilização e lixiviação; antes da queima.

Os resultados obtidos para a composição D, que foi queimada por 1 hora à 900 °C, foi de 0,45 mg/L para a solubilização, e 68,2 mg/L para os valores de lixiviação. Tomando por base os valores teóricos, houve uma redução de 97,47% nos valores de solubilização, e 75,64% para a lixiviação.

A mesma composição queimada a temperatura de 1200 °C pelo mesmo tempo, mostrou valor 15,5% menor para a solubilização (0,38 mg/L), e 74,2% menor para a lixiviação (17,6 mg/L), que as queimadas a 900 °C. Tomando por base os valores teóricos, houve uma redução de 97,87% nos valores de solubilização, e 93,71% para a lixiviação.

A ABNT NBR 10004 – 2004, no seu anexos F, e G, indica o limite máximo de 1,0 mg/L para o ensaio de lixiviação; e 0,01 mg/L para os valores de solubilização. Apesar dos valores não passarem nos padrões exigidos, os valores foram reduzidos quando ocorreu o aumento da temperatura de queima.

Esse comportamento abre a possibilidade de aumentar a temperatura de queima, para desse modo aumentar a inertização da escória na massa cerâmica.

## **CAPÍTULO 5**

**- CONCLUSÕES -**

### 5. CONCLUSÕES

A análise e discussão dos resultados obtidos neste trabalho permitiu as seguintes conclusões:

- ▶ a utilização de escória de chumbo na composição de cerâmica vermelha é perfeitamente possível, considerando apenas os fatores tecnológicos.
- ▶ a escória de chumbo, segundo os resultados obtidos, poderia ser usada na formulação das massas usadas na fabricação de tijolos e pisos cerâmicos.
- ▶ os resultados mostraram que a utilização da escória não implica na elevação dos custos de preparação da massa na medida em que, o processo de moagem já faz parte do sistema convencional de produção, entretanto, o uso da escória implicaria na queima das peças em temperaturas mais elevadas, causando uma elevação dos custos de produção.
- ▶ para a composição D, com 10% de escória de chumbo na massa cerâmica, a técnica de inertização da escória na massa cerâmica vermelha apresentou resultados negativos, pelo fato das amostras não passarem nos requisitos da normas ambientais para a solubilização e lixiviação. Entretanto, sob o aspecto da ciência, e observando a diferença nos valores obtidos para as amostras queimadas a 900 °C e 1200 °C, mostrou que pode vir a ser uma técnica promissora para a inertização desse tipo de resíduo, propiciando uma alternativa à técnica de destinação atualmente empregada, que é o aterramento em Aterro de Resíduos Perigosos.

## **CAPÍTULO 6**

**- SUGESTÕES -**

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalho futuros propõe-se o seguinte:

- ▶ fazer as formulações a partir dos componentes básicos utilizados na indústria da cerâmica vermelha (e areia, argila, feldspato);
- ▶ introduzir os parâmetros resistência à flexão pós-secagem;
- ▶ aumentar o número de testes de resistência à flexão pois a Estatística de Weibull é fortemente influenciada pela número de testes.
- ▶ aumentar a temperatura de queima das amostras.
- ▶ realizar estudos com altas dosagem de escória de chumbo, para vislumbrar a possibilidade de obter uma cerâmica com característica de barreira radioativa.
- ▶ avaliar o mecanismo de retenção do chumbo na cerâmica. Em qual fase ele ficou inertizado. Dessa forma, pode-se definir uma melhor condição de composição e parâmetro de queima para retenção da lixiviação.
- ▶ utilizar análise de EDX para identificar a composição das diversas estruturas obtidas pós-queima.
- ▶ definir componentes promotores e estabilizadores das fases que retem o Pb e avaliar a sua concentração em relação a parâmetros de processo e resposta a flexão e lixiviação.

**- REFERÊNCIAS -**

## 7. REFERÊNCIAS

ABNT NBR 10004 Resíduos Sólidos – Classificação, setembro, 1987 (c).

ABNT NBR 10005 Lixiviação de Resíduos – Procedimento, setembro, 1987 (a).

ABNT NBR 10006 Solubilização – Procedimento, setembro, 1987 (b).

ABNT NBR 13818 Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios, abril, 1997.

ACOSTA, A., IGLESIAS, I., e outros. “Utilization os IGCC slag and clay steriles in soft mud bricks (by pressing) for use in building bricks manufacturing”. Waste Management, p. 887-891. 2002.

ARAI, K. e TOGURI, J.M., Leaching of Sulphate in Sodium carbonate solution’. Hydrometallurgy, 12 (1984): 49-59

AQUINO, T. F, PEGORETTI, D. F., KNISS, C.T., FRANJNDLICH, E. U. C., RIELLA, H. G. “Processamento de um resíduo de chumbo: Inertização Vítrea”. ANAIS SULMAT. 2004.

BALATON, V. T., GONÇALVES, P. S., e FERRER, L. M. “Incorporação de Resíduos Sólidos Galvânicos em Massas Cerâmica Vermelha”. Cerâmica Industrial. Vol 7. 2002.

BARBIERI, L., BONAMARTINI, A. C., LANCELLOTTI, I. “Alkaline and alkaline-earth silicate glasses and glass-ceramics from municipal and industrial wastes”. Journal of the European Ceramic Society, p. 2477-2483. 2000.

BORLINI, M. C. “Cerâmicas preparadas a partir de argila sedimentar com adição de cinzas da matéria orgânica do lixo e da celulignina do processo de pré-hidrólise de biomassas: propriedades mecânicas e inertização de metais pesados”. Lorena, Faculdade de Engenharia Química de Lorena, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, 2002. xxi, 189p. (Dissertação de Mestrado).

CAMPOS, M., VELASCO, F., MARTÍNEZ, M. A., TORRALBA, J. M. “Recovered slate waste as raw material for manufacturing sintered structural tiles”. Journal of the European Ceramic Society, p. 811-819. 2004.

## Referências

---

COLOMBO, P., BRUSATIN, G., BERNARDO, E., SCARINCI, G. "Inertization and reuse fo waste materials by vitrification and fabrication of glass-based products". *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, p. 225-239. 2003.

CORRÊA, K. C., PIANARO, S. A. "Utilização de Resíduos de Fundição na Confecção de Tijolos Cerâmicos". *ANAIS SULMAT*. 2004.

DE ANGELIS, G., MEDICI, F., MONTEREALI, M. R., PIETRELLI, L. "Reuse of residues arising from lead batteries recycle: a feasibility study". *Waste Management*, p. 925-930. 2002.

EPA, Locating And Estimating Air Emissions From Sources of Lead And Compounds, EPA-454/R-98-006, index of / ttnchie1/efdocs/, Lead 1.pdf. U.S Environmental Protection Agency, 1998.

FLORÊNCIO, R. V. S., CAMARGO, A. C., e outros. "Fabricação de Tijolos com Matérias-Primas Argilosas do Município de Salto e Indaiatuba e Resíduos Industriais Derivados do Beneficiamento do Xisto" *ANAIS 46<sup>o</sup> CBC*. 2002.

FRANCALANZA, H., 'Coleta e Reciclagem de baterias de chumbo: problemas ambientais e perspectivas' Seminário de reciclagem de Metais Não Ferrosos – São Paulo-SP – out/2000.

GERMAN, M. R., "Power Metallurgy Science, 2a ed., Princeton: Ed. Metal Power Industries Federation, 1994, 472p.

GHOSH, S., DAS, M., e outros. "Development of ceramic tiles from commom clay and blast furnace slag". *Ceramic Internacional*, p. 393-400. 2002.

GODINHO, K. O., RABELO, T. R., HOLANDA, J. N. F., SILVA, A. G. P. "Incorporação de resíduo de vidro em cerâmica vermelha". *ANAIS DO 48<sup>o</sup> CBC*. 2004.

GRAZIANO, J. H., BLUM, C., *The Lancet*, 337 (1991) 141-142.

KAVOURAS, P., KAIMAKAMIS, G., IOANNIDIS, Th. A., e outros. "Vitrification of lead-rich solid ashes from incineration of hazardous industrial wastes". *Waste Mangemente*, p. 361-371. 2003.

KINGERY, W. D., BOWWEN, H. K., UHLMAN, D. R., "Introduction to ceramic". A Wiley-Intescience Publication, John Wiley anf Sons, New York, 1976, 1032p.

KREUSCH, M. A., *Avaliação com Propostas de Melhorias do Processo Industrial de*

## Referências

---

Reciclagem de Chumbo e Indicação de Aplicabilidade para a Escória Gerada, Dissertação de Mestrado de Engenharia Química da UFPR, pp. 129, 2005.

LEWIS, A. E., BEAUTEMENT, C. "Prioritizing objectives for waste reprocessing: a case study in secondary lead refining". *Waste Management*, p. 677-685. 2002.

MACHADO, I. P. "Avaliação Ambiental do Processo de Reciclagem de Chumbo". Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2002. xxi, 144p. (Dissertação de Mestrado)

MARGHUSSIAN, V. K., MAGHSOODIPOOR, A. "Fabrication of unglazed floor tiles containing Iranian cooper slags". *Ceramic International*, p 617-622. 1999.

MELLO, R. M., SANTOS, T. S., SILVA, D. C.; RODRIGUES, E. P. "Utilização de resíduo proveniente do acabamento de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha. ANAIS DO 48o CBC. 2004.

MONTEDO, O. R. K., REITZ, G. M., e outros. "Utilização de Pó de Aciaria em Massa Cerâmica Vermelha. Cerâmica Industrial. Vol 8. 2003.

NORTON, F. H. "Introdução à tecnologia cerâmica: tradutor, Jefferson Vieira de Souza. São Paulo, Edgard Blücher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1973, 324p.

NUNES, R. L. S., FERREIRA, H. S., NEVES, G. A. "Utilização de resíduos de granito na indústria de revestimento cerâmico". ANAIS DO 48o CBC. 2004.

NUVOLARI, A. "Inertização de lodo de esgoto em tijolos cerâmicos maciços: aspectos tecnológicos e ambientais". Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002. xxi, 238p. Tese (Doutorado em Saneamento).

O'CONNELL, G.J., TOGURI, J.M., PICKLES, C.A., SMITH, D., 1989. The distribution of impurities during soda ash smelting of battery residue. In: Laeck, M.L. (Ed.), *Primary and Secondary Lead Processing*, Halifax, Nova Scotia, August 1989. Pergamon Press, New York, pp. 195–208.

OLIVEIRA, G. E., HOLANDA, J. N. F. "Use of mix fo clay / solid waste from steel Works for civil construction materials". *Waste Mangemente & Research*, p 358-363. 2004.

PETRUCCI, E. G. R. *Materiais de Construção*. 2.ed. Porto Alegre : Globo, 1976, 435p.;

## Referências

---

- PISCIELLA, P., CRISUCCI, S., KARAMANOV, A., PELINO, M. "Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes". *Waste Management*, p. 1-9. 2001.
- QUENEAU, P.B., CREGAR, D.E., MICKEY, D.K., 1989. Optimising matte and slag composition in rotary furnace smelting of leady residues. In: Laeck, M.L. (Ed.), *Primary and Secondary Lead Processing*, Halifax, Nova Scotia, August 1989. Pergamon Press, New York, pp. 145–178.
- ROBERTS, 2003, H. "Changing patterns in global lead supply and demand". *Journal of Power Sources*, p. 23-31. 2003.
- RODRIGUEZ-LÓPEZ, D.A. Caracterização da Lixiviabilidade de Escórias de Chumbo: Um Estudo Crítico com Diferentes Ensaios de Laboratório. Fórum Regional de Energia e Meio Ambiente, 10, 1999, Canoas, RS. Anais do III Forema, 1999, p. 235-244.
- SATO, C. H., ARAÚJO, R. V. V., TRINDADE, R. B. E. "Estudo da dessulfuração da pasta de baterias automotivas visando a recuperação de chumbo".
- SCHULTZ, C., MEISE, W., GÜTLICH, P. Changes of lead silicate glasses induced by leaching. *Journal of Non-Crystalline Solids*, p. 83-90. 1998.
- SETZ, L. F. G., MUNHOZ, A. H., ZANDONADI, A. R. "Reciclagem de resíduo sólido de "pó de vidro" em massa cerâmica vermelha – Utilização do método estatístico de Weibull na análise da resistência à flexão de corpos contendo teores diferentes de resíduo". ANAIS DO 45o CBC. 2001.
- SHACKELFORD, J. F., "Introduction to materials science for engineers". Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 1996, 670p.
- SOARES, J. M. D., REICHERT, M., e outros. "Adição de Resíduos de Couro na Massa Para Produção de Cerâmica Vermelha". ANAIS 45o CBC. 2001.
- SOUZA, E. T. A., MONTEIRO, S. N., VIEIRA, C. M. F. "Revestimento cerâmico com granito e argila caulínica". *Cerâmica*, p. 122-127. 2004.
- SOUZA, G. P., HOLANDA, J. N. F. "Caracterização Microestrutural de Corpos Cerâmicos Vitrificados Contendo Resíduo Borra de Petróleo". ANAIS 45o CBC. 2001.
- SPEAR, T.M., WERNER, M.A., BOOTLAND, J., MURRAY, E., RAMACHANDRAN, G. and VICENT, J.H. Assessment of Particle Size Distributions of Health-relevant Aerosol Exposures of Primary Lead Smelter Workers. *British Occupational Hygiene Society*, vol. 42, n. 2, p. 73 – 80, 1998.

## Referências

---

THEVENIN, G., PERA, J. "Interactions between lead and different binders". Cement and Concrete Research, p. 1605-1610. 1999.

TSOULFAS, G. T., PAPPIS, C. P., MINNER, S. An environmental analysis of the reverse supply chain of SLI batteries. Resources, Conservation and Recycling, p135-154. 2002.

(VAN VLACK, Lawrence H., "Princípios de ciência e tecnologia dos materiais". Editora Campus USP, 1984, p.567.

VERÇOSA, E. J. Materiais de construção. Cap. 15 – Materiais cerâmicos. Coord. L. A. Falcão Bauer. Rio de Janeiro : LTD, 1979;

VIEIRA, C. M. F., SOARES, T. M., SANCHEZ, R., MONTEIRO, S. N. "Incorporation of granite waste in red ceramic". Materials Science and Engineering A, p. 115-121. 2004.

WINCKEL, J. W., RICE, D. M. "Lead market trends – technology and economics". Journal of Power Sources, p. 3-10. 1998.

ZANOTTO, E. D., MIGLIORE, A. R., Jr., "Propriedades mecânicas de materiais cerâmicos: uma introdução." Cerâmica, v. 37, n.247, p. 07-16, 1991.

## **- APÊNDICES -**

APÊNDICE 1 – RESULTADOS POR CORPO-DE-PROVA, POR COMPOSIÇÃO E CICLO DE QUEIMA.

APÊNDICE 2 – DADOS DA ANÁLISE ESTÁTÍSTICA.

**APÊNDICE 1 – RESULTADOS POR CORPO-DE-PROVA, POR  
COMPOSIÇÃO E CICLO DE QUEIMA.**

## Apêndice 1

Tabela A 1 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=900 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós-compactação					Pos-secagem							Umidade	
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
A - Argila	21	11,8619	60,25	20,26	5,09	6,22	1,9076	11,1749	60,04	20,15	5,12	6,19	1,8056	1,0619	5,7917
	22	11,8835	60,26	20,27	5,16	6,30	1,8871	11,1904	60,03	20,13	5,13	6,20	1,8061	1,0889	5,8325
	23	11,8553	60,25	20,24	5,12	6,24	1,8985	11,1640	60,04	20,14	5,06	6,12	1,8255	1,0710	5,8311
	24	11,8641	60,26	20,29	5,12	6,26	1,8949	11,1731	60,06	20,15	5,09	6,16	1,8149	1,0763	5,8243
	25	11,8454	60,25	20,26	5,08	6,20	1,9112	11,1628	60,05	20,13	5,11	6,18	1,8061	1,0550	5,7626
	26	11,8558	60,26	20,23	5,16	6,29	1,8834	11,1663	60,08	20,17	5,11	6,19	1,8028	1,0877	5,8157
	27	11,8358	60,22	20,22	5,23	6,37	1,8571	11,1488	60,03	20,11	5,15	6,21	1,7942	1,1167	5,8044
	28	11,8561	60,23	20,22	5,20	6,34	1,8713	11,1677	60,04	20,13	5,20	6,28	1,7784	1,1032	5,8063
	29	11,8566	60,22	20,22	5,15	6,27	1,8895	11,1673	60,03	20,13	5,15	6,23	1,7934	1,0824	5,8136
	30	11,8536	60,21	20,22	5,17	6,29	1,8849	11,1747	60,06	20,13	5,16	6,24	1,7911	1,0877	5,7274
B - (Argila com 5% Escóita)	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem							Umidade	
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
	21	11,8150	60,22	20,22	5,11	6,22	1,8993	11,1246	60,07	20,14	4,96	6,00	1,8550	1,0641	5,8434
	22	11,8222	60,20	20,22	5,14	6,25	1,8911	11,1176	60,04	20,15	5,02	6,08	1,8298	1,0752	5,9600
	23	11,8654	60,18	20,17	5,11	6,20	1,9139	11,1543	60,04	20,15	5,02	6,08	1,8355	1,0580	5,9931
	24	11,8667	60,21	20,22	5,07	6,17	1,9228	11,1487	60,08	20,20	4,95	6,01	1,8554	1,0474	6,0505
	25	11,8264	60,20	20,23	5,11	6,23	1,8989	11,1086	60,05	20,20	5,03	6,10	1,8198	1,0672	6,0695
	26	11,8274	60,22	20,22	5,00	6,09	1,9424	11,1865	60,07	20,16	5,05	6,12	1,8292	1,0193	5,4188
	27	11,8957	60,25	20,22	5,03	6,13	1,9403	11,1897	60,05	20,15	5,04	6,10	1,8350	1,0323	5,9349
	28	11,8827	60,23	20,22	5,01	6,10	1,9475	11,1767	60,09	20,17	4,99	6,05	1,8470	1,0231	5,9414
29	11,8958	60,21	20,20	5,05	6,14	1,9372	11,1838	60,04	20,14	5,06	6,11	1,8289	1,0370	5,9853	
30	11,8326	60,19	20,21	5,04	6,13	1,9313	11,1428	60,06	20,17	5,01	6,07	1,8372	1,0330	5,8297	

**LEGENDA**

Ppc = peso pós-compactação (g)	PS = peso pós-secagem (g)	Retr S = retração volumétrica na secagem (%)
Vpc = volume pós-compactação (cm3)	Vps = volume pós-secagem (cm3)	U = teor de umidade pós-compactação (%)
Dens PC = densidade pós-compactação (g/cm3)	Dens S = densidade pós-secagem (g/cm3)	

## Apêndice 1

Tabela A 2 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=900 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem					Umidade			
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
C - (Argila com 7,5% Escória)	21	11,808	60,20	20,21	5,06	6,16	1,9168	11,1881	60,12	20,18	5,03	6,10	1,8332	1,0439	5,2498
	22	11,7996	60,27	20,24	5,07	6,19	1,9063	11,1682	60,13	20,20	5,05	6,13	1,8211	1,0515	5,3510
	23	11,7996	60,22	20,21	5,00	6,09	1,9378	11,1832	60,09	20,16	4,97	6,02	1,8573	1,0193	5,2239
	24	11,8182	60,22	20,23	5,05	6,15	1,9218	11,1702	60,11	20,16	4,99	6,05	1,8468	1,0395	5,4831
	25	11,8035	60,24	20,23	5,02	6,11	1,9305	11,1821	60,11	20,16	4,96	6,01	1,8616	1,0272	5,2645
	26	11,8075	60,20	20,23	5,06	6,16	1,9169	11,2330	60,09	20,20	5,07	6,15	1,8262	1,0435	4,8656
	27	11,8606	60,21	20,22	5,09	6,20	1,9123	11,1989	60,09	20,16	5,03	6,09	1,8393	1,0578	5,5790
	28	11,8301	60,16	20,20	5,00	6,08	1,9452	11,1920	60,07	20,20	5,02	6,09	1,8375	1,0186	5,3939
	29	11,8141	60,21	20,25	5,02	6,12	1,9319	11,1852	60,12	20,17	4,91	5,96	1,8770	1,0286	5,3233
	30	11,8089	60,20	20,22	5,04	6,14	1,9238	11,1927	60,12	20,16	5,09	6,17	1,8147	1,0363	5,2181
D - (Argila com 10% Escória)	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem					Umidade			
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
	21	11,8797	60,17	20,20	4,96	6,03	1,9696	11,1286	60,08	20,17	4,84	5,86	1,8989	1,0019	6,3226
	22	11,7837	60,16	20,20	4,94	6,00	1,9638	11,1115	60,09	20,13	4,79	5,80	1,9164	0,9918	5,7045
	23	11,8337	60,16	20,21	4,90	5,96	1,9860	11,1577	60,08	20,12	4,82	5,83	1,9151	0,9780	5,7125
	24	11,8821	60,12	20,15	4,92	5,96	1,9947	11,1123	59,99	20,12	4,87	5,88	1,8908	0,9788	6,4787
	25	11,8272	60,19	20,22	4,79	5,83	2,0302	11,0982	60,07	20,13	4,78	5,79	1,9183	0,9339	6,1638
	26	11,837	60,19	20,22	4,85	5,90	2,0069	11,1001	60,09	20,13	4,81	5,82	1,9062	0,9575	6,2254
	27	11,8482	60,16	20,19	4,84	5,87	2,0171	11,0807	60,09	20,15	4,88	5,91	1,8764	0,9503	6,4778
	28	11,8143	60,18	20,22	4,85	5,90	2,0014	11,0829	60,09	20,16	4,86	5,88	1,8833	0,9591	6,1908
29	11,8073	60,15	20,18	4,89	5,93	1,9910	11,1409	60,07	20,13	4,83	5,84	1,9061	0,9692	5,6440	
30	11,8493	60,17	20,21	4,89	5,94	1,9944	11,0805	60,09	20,10	4,86	5,87	1,8874	0,9721	6,4881	

**LEGENDA**

<b>Ppc</b> = peso pós-compactação (g)	<b>PS</b> = peso pós-secagem (g)	<b>Retr S</b> = retração volumétrica na secagem (%)
<b>Vpc</b> = volume pós-compactação (cm <sup>3</sup> )	<b>Vps</b> = volume pós-secagem (cm <sup>3</sup> )	<b>U</b> = teor de umidade pós-compactação (%)
<b>Dens PC</b> = densidade pós-compactação (g/cm <sup>3</sup> )	<b>Dens S</b> = densidade pós-secagem (g/cm <sup>3</sup> )	

## Apêndice 1

Tabela A 3 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=900 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós-compactação					Pos-secagem					Umidade			
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
A - Argila	31	11,8206	60,24	20,26	5,12	6,25	1,8921	11,1216	60,11	20,22	5,06	6,15	1,8092	1,0724	5,9134
	32	11,8290	60,21	20,22	5,06	6,16	1,9188	11,1214	60,09	20,19	5,06	6,14	1,8117	1,0450	5,9819
	33	11,8923	60,25	20,22	5,17	6,30	1,8886	11,1730	60,11	20,15	5,01	6,07	1,8409	1,0892	6,0485
	34	11,8559	60,21	20,19	5,21	6,33	1,8717	11,1409	60,05	20,15	5,22	6,32	1,7628	1,1034	6,0308
	35	11,8790	60,23	20,21	5,20	6,33	1,8766	11,1694	60,09	20,16	5,18	6,28	1,7792	1,1010	5,9736
	36	11,8719	60,22	20,18	5,12	6,22	1,9078	11,1689	60,12	20,17	5,12	6,21	1,7991	1,0646	5,9215
	37	11,8399	60,22	20,20	5,16	6,28	1,8860	11,1354	60,09	20,15	5,15	6,23	1,7860	1,0835	5,9502
	38	11,8549	60,22	20,23	5,19	6,32	1,8761	11,1500	60,07	20,14	5,17	6,26	1,7819	1,0976	5,9461
	39	11,8779	60,20	20,22	5,19	6,31	1,8811	11,1657	60,08	20,13	5,17	6,25	1,7871	1,0969	5,9960
	40	11,8551	60,21	20,21	5,26	6,40	1,8538	11,1548	60,06	20,15	5,25	6,35	1,7558	1,1248	5,9072
B - (Argila com 5% Escória)		Pós Compactação					Pos-secagem					Umidade			
	Identif.	Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
	31	11,8342	60,23	20,24	5,02	6,12	1,9352	11,1117	60,08	20,17	5,01	6,07	1,8306	1,0278	6,1052
	32	11,8920	60,19	20,24	5,11	6,23	1,9101	11,1566	60,05	20,14	5,08	6,15	1,8146	1,0668	6,1840
	33	11,8467	60,20	20,26	5,04	6,15	1,9273	11,1127	60,08	20,16	5,02	6,08	1,8289	1,0395	6,1958
	34	11,9054	60,17	20,22	5,08	6,18	1,9275	11,1631	60,07	20,15	5,06	6,13	1,8213	1,0505	6,2350
	35	11,8833	60,20	20,22	5,03	6,12	1,9411	11,1456	60,06	20,14	5,03	6,09	1,8316	1,0309	6,2079
	36	11,8480	60,20	20,22	5,03	6,12	1,9349	11,122	60,06	20,13	5,09	6,15	1,8081	1,0316	6,1276
	37	11,8680	60,19	20,24	5,04	6,14	1,9315	11,1464	60,06	20,15	5,04	6,10	1,8286	1,0388	6,0802
	38	11,8503	60,18	20,23	5,04	6,14	1,9297	11,1254	60,04	20,15	5,01	6,06	1,8347	1,0381	6,1171
39	11,9021	60,20	20,22	5,13	6,24	1,9069	11,1841	60,05	20,17	5,08	6,15	1,8185	1,0716	6,0325	
40	11,8408	60,15	20,19	5,03	6,11	1,9367	11,1329	60,10	20,16	5,02	6,08	1,8320	1,0299	5,9785	

LEGENDA		
<b>Ppc</b> = peso pós-compactação (g)	<b>PS</b> = peso pós-secagem (g)	<b>Retr S</b> = retração volumétrica na secagem (%)
<b>Vpc</b> = volume pós-compactação (cm3)	<b>Vps</b> = volume pós-secagem (cm3)	<b>U</b> = teor de umidade pós-compactação (%)
<b>Dens PC</b> = densidade pós-compactação (g/cm3)	<b>Dens S</b> = densidade pós-secagem (g/cm3)	

## Apêndice 1

Tabela A 4 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=900 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem						Umidade %		
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps		Dens S	Retr S
C - (Argila com 7,5% Escória)	31	11,7986	60,22	20,21	5,06	6,16	1,9144	11,1972	60,13	20,18	5,02	6,09	1,8379	1,0443	5,0972
	32	11,8595	60,20	20,22	5,07	6,17	1,9207	11,2404	60,11	20,15	5,06	6,13	1,8351	1,0487	5,2203
	33	11,8407	60,20	20,22	5,00	6,09	1,9442	11,2222	60,11	20,17	5,01	6,07	1,8485	1,0203	5,2235
	34	11,8218	60,20	20,23	5,05	6,15	1,9238	11,2079	60,11	20,16	5,01	6,07	1,8449	1,0388	5,1929
	35	11,8032	60,16	20,20	5,02	6,10	1,9361	11,2000	60,08	20,16	5,02	6,08	1,8420	1,0237	5,1105
	36	11,8349	60,18	20,18	5,06	6,14	1,9271	11,2007	60,11	20,18	5,00	6,06	1,8468	1,0381	5,3587
	37	11,8097	60,18	20,19	5,09	6,19	1,9087	11,1818	60,09	20,18	5,03	6,10	1,8323	1,0539	5,3168
	38	11,8459	60,15	20,15	5,00	6,06	1,9532	11,2264	60,09	20,18	5,07	6,14	1,8270	1,0135	5,2297
	39	11,8149	60,18	20,19	5,02	6,10	1,9382	11,2051	60,08	20,15	5,03	6,09	1,8405	1,0227	5,1613
	40	11,8446	60,18	20,18	5,04	6,12	1,9340	11,2537	60,10	20,13	5,05	6,11	1,8410	1,0326	4,9888
D - (Argila com 10% Escória)	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem						Umidade		
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
	31	11,8015	60,19	20,20	4,96	6,03	1,9585	11,1018	60,12	20,17	4,87	5,90	1,8803	0,9991	5,9289
	32	11,8259	60,18	20,19	4,87	5,92	1,9982	11,1072	60,09	20,16	4,92	5,96	1,8633	0,9641	6,0773
	33	11,8308	60,17	20,22	4,92	5,99	1,9766	11,1039	60,08	20,16	5,00	6,05	1,8349	0,9866	6,1441
	34	11,8177	60,18	20,19	4,87	5,92	1,9955	11,1128	60,10	20,16	4,99	6,04	1,8392	0,9655	5,9648
	35	11,8027	60,16	20,19	5,00	6,07	1,9449	11,1403	60,09	20,15	4,89	5,92	1,8819	1,0143	5,6123
	36	11,8413	60,20	20,22	4,96	6,03	1,9630	11,1263	60,10	20,19	4,91	5,95	1,8691	1,0011	6,0382
	37	11,8395	60,18	20,21	4,95	6,02	1,9654	11,1274	60,09	20,19	4,79	5,81	1,9137	0,9992	6,0146
	38	11,8242	60,16	20,17	4,95	6,00	1,9696	11,1314	60,10	20,17	4,82	5,85	1,9035	0,9928	5,8592
39	11,7861	60,16	20,21	4,82	5,86	2,0101	11,0936	60,11	20,18	4,80	5,82	1,9063	0,9470	5,8756	
40	11,7754	60,18	20,20	4,85	5,90	1,9968	11,1035	60,12	20,18	4,82	5,85	1,8977	0,9572	5,7060	

**LEGENDA**

<b>Ppc</b> = peso pós-compactação (g) <b>Vpc</b> = volume pós-compactação (cm3) <b>Dens PC</b> = densidade pós-compactação (g/cm3)	<b>PS</b> = peso pós-secagem (g) <b>Vps</b> = volume pós-secagem (cm3) <b>Dens S</b> = densidade pós-secagem (g/cm3)	<b>Retr S</b> = retração volumétrica na secagem (%) <b>U</b> = teor de umidade pós-compactação (%)
--	--	---

## Apêndice 1

Tabela A 5 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=1050 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós-compactação					Pos-secagem						Umidade		
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
A - Argila	1	11,7328	60,37	20,28	5,18	6,35	1,8487	11,1721	60,23	20,22	5,20	6,33	1,7644	1,1019	4,7789
	2	11,7599	60,40	20,35	5,32	6,53	1,7995	11,1694	60,25	20,27	5,20	6,35	1,7591	1,1671	5,0213
	3	11,7534	60,45	20,35	5,30	6,52	1,8027	11,1656	60,20	20,23	5,22	6,35	1,7572	1,1598	5,0011
	4	11,7865	60,42	20,27	5,35	6,55	1,7993	11,2038	60,22	20,20	5,27	6,41	1,7489	1,1721	4,9438
	5	11,7636	60,32	20,28	5,30	6,48	1,8142	11,1944	60,18	20,25	5,23	6,38	1,7552	1,1521	4,8387
	6	11,7290	60,28	20,28	5,27	6,44	1,8213	11,1461	60,17	20,30	5,18	6,33	1,7606	1,1377	4,9697
	7	11,7331	60,37	20,28	5,25	6,43	1,8252	11,1597	60,22	20,28	5,25	6,41	1,7400	1,1305	4,8870
	8	11,7308	60,33	20,37	5,32	6,53	1,7956	11,1514	60,22	20,28	5,20	6,35	1,7558	1,1690	4,9391
	9	11,7605	60,33	20,32	5,23	6,41	1,8333	11,1956	60,17	20,23	5,10	6,21	1,8032	1,1271	4,8034
	10	11,7358	60,33	20,28	5,20	6,36	1,8442	11,1972	60,20	20,25	5,10	6,22	1,8010	1,1091	4,5894
B - (Argila com 5% Escófia)	1	11,7797	60,32	20,27	5,20	6,36	1,8532	11,133	60,22	20,22	5,15	6,27	1,7757	1,1073	5,4900
	2	11,8365	60,28	20,27	5,22	6,37	1,8572	11,1396	60,22	20,25	5,17	6,30	1,7681	1,1144	5,8877
	3	11,8628	60,25	20,25	5,20	6,34	1,8698	11,1608	60,20	20,23	5,27	6,42	1,7398	1,1054	5,9177
	4	11,8304	60,28	20,28	5,27	6,44	1,8371	11,1186	60,22	20,23	5,23	6,38	1,7438	1,1377	6,0167
	5	11,8338	60,25	20,25	5,20	6,34	1,8653	11,1248	60,20	20,20	5,12	6,22	1,7880	1,1055	5,9913
	6	11,8520	60,22	20,22	5,15	6,27	1,8904	11,1503	60,17	20,23	5,25	6,39	1,7446	1,0806	5,9205
	7	11,8595	60,25	20,18	5,22	6,34	1,8695	11,1572	60,22	20,22	5,23	6,37	1,7513	1,1052	5,9218
	8	11,8406	60,32	20,27	5,28	6,46	1,8334	11,1478	60,17	20,25	5,22	6,36	1,7539	1,1430	5,8511
	9	11,8604	60,25	20,28	5,28	6,46	1,8369	11,159	60,18	20,23	5,18	6,31	1,7680	1,1449	5,9138
	10	11,8597	60,27	20,25	5,18	6,33	1,8748	11,197	60,22	20,27	5,13	6,26	1,7873	1,0983	5,5878

**LEGENDA**

<b>Ppc</b> = peso pós-compactação (g) <b>Vpc</b> = volume pós-compactação (cm3) <b>Dens PC</b> = densidade pós-compactação (g/cm3)	<b>PS</b> = peso pós-secagem (g) <b>Vps</b> = volume pós-secagem (cm3) <b>Dens S</b> = densidade pós-secagem (g/cm3)	<b>Retr S</b> = retração volumétrica na secagem (%) <b>U</b> = teor de umidade pós-compactação (%)
--	--	---

## Apêndice 1

Tabela A 6 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=1050 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem					Umidade			
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
C - (Argila com 7,5% Escória)	1	11,8289	60,28	20,33	5,22	6,39	1,8499	11,0964	60,17	20,22	5,05	6,14	1,8064	1,1218	6,1925
	2	11,8904	60,32	20,33	5,12	6,28	1,8948	11,0582	60,18	20,23	5,05	6,15	1,7982	1,0792	6,9989
	3	11,8247	60,37	20,35	5,13	6,31	1,8751	11,0850	60,15	20,25	5,07	6,17	1,7962	1,0880	6,2555
	4	11,8072	60,37	20,30	5,13	6,29	1,8770	11,0510	60,18	20,22	5,07	6,16	1,7926	1,0827	6,4046
	5	11,8125	60,35	20,27	5,18	6,34	1,8633	11,0624	60,18	20,22	5,05	6,14	1,8004	1,1003	6,3501
	6	11,8874	60,37	20,30	5,17	6,33	1,8775	11,1253	60,18	20,25	5,03	6,13	1,8137	1,0968	6,4110
	7	11,8544	60,37	20,28	5,12	6,27	1,8922	11,0933	60,22	20,27	5,05	6,16	1,8000	1,0739	6,4204
	8	11,8814	60,30	20,37	5,17	6,35	1,8725	11,1265	60,18	20,22	5,12	6,23	1,7873	1,1040	6,3536
	9	11,8613	60,35	20,35	5,15	6,32	1,8754	11,1136	60,22	20,22	5,05	6,15	1,8077	1,0951	6,3037
	10	11,8407	60,35	20,35	5,10	6,26	1,8905	11,1247	60,23	20,25	5,02	6,12	1,8181	1,0739	6,0469
D - (Argila com 10% Escória)	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem					Umidade			
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
	1	11,8576	60,35	20,32	5,03	6,17	1,9214	11,0976	60,15	20,25	5,02	6,11	1,8162	1,0425	6,4094
	2	11,8801	60,33	20,30	5,02	6,14	1,9335	11,1167	60,13	20,25	5,02	6,11	1,8198	1,0339	6,4259
	3	11,8610	60,35	20,30	5,08	6,23	1,9046	11,0934	60,17	20,27	5,02	6,12	1,8135	1,0616	6,4716
	4	11,8214	60,35	20,35	4,97	6,10	1,9380	11,0629	60,12	20,25	5,02	6,11	1,8115	1,0184	6,4163
	5	11,7984	60,33	20,32	4,97	6,09	1,9380	11,0506	60,17	20,23	4,97	6,05	1,8277	1,0151	6,3381
	6	11,8133	60,35	20,32	5,00	6,13	1,9270	11,0625	60,15	20,25	4,95	6,03	1,8348	1,0288	6,3555
	7	11,8340	60,35	20,33	5,12	6,28	1,8848	11,075	60,15	20,23	4,98	6,06	1,8261	1,0792	6,4137
	8	11,8671	60,28	20,30	5,07	6,20	1,9139	11,114	60,18	20,27	5,03	6,14	1,8103	1,0547	6,3461
9	11,8788	60,35	20,33	5,00	6,14	1,9361	11,121	60,20	20,28	4,98	6,08	1,8276	1,0305	6,3794	
10	11,7930	60,33	20,30	5,10	6,25	1,8880	11,0792	60,17	20,25	5,00	6,09	1,8187	1,0686	6,0527	

**LEGENDA**

<b>Ppc</b> = peso pós-compactação (g) <b>Vpc</b> = volume pós-compactação (cm3) <b>Dens PC</b> = densidade pós-compactação (g/cm3)	<b>PS</b> = peso pós-secagem (g) <b>Vps</b> = volume pós-secagem (cm3) <b>Dens S</b> = densidade pós-secagem (g/cm3)	<b>Retr S</b> = retração volumétrica na secagem (%) <b>U</b> = teor de umidade pós-compactação (%)
--	--	---

## Apêndice 1

Tabela A 7 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=1050 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós-compactação					Pos-secagem						Umidade		
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
A - Argila	11	11,7865	60,30	20,25	5,25	6,41	1,8386	11,1684	60,22	20,25	5,25	6,40	1,7445	1,1268	5,2441
	12	11,8453	60,10	20,27	5,23	6,37	1,8583	11,2120	60,13	20,27	5,23	6,38	1,7580	1,1214	5,3464
	13	11,8375	60,15	20,18	5,28	6,41	1,8455	11,1913	60,00	20,18	5,28	6,40	1,7492	1,1336	5,4589
	14	11,7874	60,18	20,27	5,23	6,38	1,8466	11,1325	60,18	20,27	5,23	6,38	1,7440	1,1215	5,5559
	15	11,8402	60,25	20,22	5,13	6,25	1,8936	11,2025	60,25	20,22	5,13	6,25	1,7916	1,0737	5,3859
	16	11,8291	60,27	20,22	5,17	6,30	1,8791	11,2027	60,22	20,22	5,17	6,29	1,7811	1,0877	5,2954
	17	11,7919	60,25	20,20	5,25	6,39	1,8455	11,1553	60,18	20,20	5,25	6,38	1,7478	1,1212	5,3986
	18	11,8062	60,27	20,27	5,20	6,35	1,8589	11,1808	60,23	20,27	5,20	6,35	1,7614	1,1072	5,2972
	19	11,7619	60,23	20,20	5,28	6,43	1,8297	11,1252	60,17	20,20	5,28	6,42	1,7326	1,1355	5,4132
	20	11,7954	60,25	20,23	5,25	6,40	1,8430	11,1692	60,22	20,23	5,25	6,40	1,7461	1,1249	5,3088
B - (Argila com 5% Escória)	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem						Umidade		
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
	11	11,8092	60,28	20,27	5,22	6,37	1,8529	11,0971	60,20	20,23	5,13	6,25	1,7748	1,1144	6,0300
	12	11,8327	60,32	20,27	5,12	6,25	1,8918	11,1057	60,23	20,25	5,08	6,20	1,7912	1,0721	6,1440
	13	11,8306	60,28	20,18	5,23	6,37	1,8580	11,1075	60,20	20,23	5,12	6,23	1,7822	1,1123	6,1121
	14	11,8432	60,30	20,27	5,17	6,31	1,8757	11,121	60,18	20,25	5,12	6,24	1,7834	1,0931	6,0980
	15	11,8216	60,28	20,27	5,10	6,23	1,8973	11,1026	60,17	20,27	5,10	6,22	1,7853	1,0651	6,0821
	16	11,8406	60,30	20,28	5,10	6,24	1,8982	11,1278	60,22	20,25	5,07	6,18	1,8011	1,0668	6,0200
	17	11,8567	60,30	20,28	5,15	6,30	1,8823	11,1403	60,18	20,25	5,10	6,22	1,7924	1,0879	6,0422
	18	11,8333	60,25	20,25	5,22	6,36	1,8592	11,1373	60,18	20,27	5,12	6,24	1,7846	1,1126	5,8817
19	11,7978	60,33	20,25	5,20	6,35	1,8570	11,1239	60,18	20,23	5,05	6,15	1,8089	1,1055	5,7121	
20	11,8218	60,27	20,25	5,20	6,35	1,8629	11,1605	60,20	20,25	5,15	6,28	1,7777	1,1054	5,5939	

**LEGENDA**

<b>Ppc</b> = peso pós-compactação (g) <b>Vpc</b> = volume pós-compactação (cm3) <b>Dens PC</b> = densidade pós-compactação (g/cm3)	<b>PS</b> = peso pós-secagem (g) <b>Vps</b> = volume pós-secagem (cm3) <b>Dens S</b> = densidade pós-secagem (g/cm3)	<b>Retr S</b> = retração volumétrica na secagem (%) <b>U</b> = teor de umidade pós-compactação (%)
--	--	---

## Apêndice 1

Tabela A 8 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=1050 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem							Umidade	
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
C - (Argila com 7,5% Escória)	11	11,8665	60,38	20,35	5,08	6,25	1,8997	11,1133	60,18	20,25	5,02	6,11	1,8177	1,0669	6,3473
	12	11,8380	60,35	20,32	5,10	6,25	1,8931	11,0857	60,20	20,20	4,98	6,06	1,8293	1,0704	6,3550
	13	11,8153	60,33	20,30	5,15	6,31	1,8732	11,0364	60,15	20,23	4,98	6,06	1,8197	1,0898	6,5923
	14	11,8512	60,28	20,32	5,13	6,29	1,8850	11,1016	60,15	20,22	5,05	6,14	1,8078	1,0844	6,3251
	15	11,8410	60,30	20,30	5,15	6,30	1,8783	11,1035	60,18	20,25	5,02	6,11	1,8161	1,0897	6,2284
	16	11,8417	60,28	20,28	5,15	6,30	1,8805	11,0959	60,17	20,23	5,05	6,15	1,8049	1,0879	6,2981
	17	11,8403	60,32	20,30	5,12	6,26	1,8899	11,1001	60,18	20,25	4,98	6,07	1,8277	1,0757	6,2515
	18	11,8713	60,30	20,28	5,12	6,26	1,8969	11,1278	60,17	20,23	5,08	6,19	1,7982	1,0738	6,2630
	19	11,8366	60,33	20,32	5,10	6,25	1,8934	11,1124	60,20	20,25	4,93	6,01	1,8478	1,0704	6,1183
	20	11,8373	60,30	20,32	5,10	6,25	1,8946	11,1271	60,22	20,25	5,05	6,16	1,8070	1,0704	5,9997
D - (Argila com 10% Escória)	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem							Umidade	
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
	11	11,7906	60,38	20,32	4,98	6,11	1,9286	11,0837	60,20	20,25	4,98	6,07	1,8245	1,0219	5,9955
	12	11,8112	60,35	20,33	5,00	6,14	1,9250	11,0909	60,18	20,28	4,98	6,08	1,8232	1,0305	6,0984
	13	11,7914	60,32	20,35	5,02	6,16	1,9149	11,0902	60,18	20,23	4,98	6,07	1,8276	1,0391	5,9467
	14	11,8245	60,32	20,32	4,97	6,09	1,9428	11,1118	60,18	20,25	4,98	6,07	1,8296	1,0151	6,0273
	15	11,7887	60,33	20,32	5,02	6,15	1,9171	11,0945	60,17	20,22	5,00	6,08	1,8242	1,0357	5,8887
	16	11,7903	60,32	20,32	5,00	6,13	1,9243	11,0895	60,13	20,22	5,02	6,10	1,8183	1,0288	5,9439
	17	11,7842	60,30	20,28	5,02	6,14	1,9206	11,0847	60,17	20,27	4,98	6,08	1,8242	1,0323	5,9359
	18	11,8006	60,32	20,27	5,00	6,11	1,9307	11,1128	60,17	20,27	5,02	6,12	1,8166	1,0237	5,8285
19	11,7828	60,32	20,28	5,05	6,18	1,9071	11,1021	60,15	20,23	5,03	6,13	1,8124	1,0460	5,7771	
20	11,8193	60,30	20,30	5,07	6,20	1,9057	11,1147	60,17	20,27	5,00	6,10	1,8283	1,0547	5,6882	

**LEGENDA**

<b>Ppc</b> = peso pós-compactação (g) <b>Vpc</b> = volume pós-compactação (cm3) <b>Dens PC</b> = densidade pós-compactação (g/cm3)	<b>PS</b> = peso pós-secagem (g) <b>Vps</b> = volume pós-secagem (cm3) <b>Dens S</b> = densidade pós-secagem (g/cm3)	<b>Retr S</b> = retração volumétrica na secagem (%) <b>U</b> = teor de umidade pós-compactação (%)
--	--	---

## Apêndice 1

Tabela A 9 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=1200 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós-compactação						Pos-secagem						Umidade	
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
A - Argila	41	11,9232	60,22	20,20	5,14	6,25	1,9080	11,0565	60,04	20,15	5,18	6,26	1,7652	1,074	7,2690
	42	11,8620	60,22	20,21	5,07	6,17	1,9233	10,9841	60,02	20,11	5,11	6,17	1,7794	1,046	7,4009
	43	11,8484	60,21	20,24	4,98	6,07	1,9507	10,9740	59,96	20,13	5,12	6,18	1,7758	1,015	7,3799
	44	11,9186	60,22	20,22	5,06	6,16	1,9336	11,0351	59,98	20,12	5,02	6,06	1,8216	1,045	7,4128
	45	11,9026	60,20	20,21	5,02	6,10	1,9506	11,0410	59,99	20,13	5,01	6,05	1,8247	1,024	7,2388
	46	11,8804	60,16	20,18	5,03	6,11	1,9458	11,0013	60,02	20,13	5,05	6,10	1,8040	1,027	7,3996
	47	11,9154	60,22	20,20	5,04	6,13	1,9439	11,0225	60,00	20,11	5,04	6,08	1,8126	1,033	7,4937
	48	11,8561	60,19	20,18	4,96	6,03	1,9667	10,9701	59,99	20,14	5,08	6,13	1,7886	1,000	7,4729
	49	11,8617	60,20	20,18	4,94	6,00	1,9778	10,9718	60,01	20,12	4,97	6,00	1,8299	0,989	7,5023
	50	11,8535	60,19	20,21	5,04	6,13	1,9344	10,9710	60,00	20,11	5,10	6,16	1,7815	1,033	7,4451
B - (Argila com 5% Escória)		Pós Compactação						Pos-secagem						Umidade	
	Identif.	Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
	41	11,9383	60,20	20,22	4,85	5,91	2,0210	11,0564	59,99	20,15	4,93	5,96	1,8551	0,960	7,3871
	42	11,9597	60,21	20,20	4,92	5,99	1,9982	11,0662	59,99	20,11	4,99	6,02	1,8374	0,985	7,4709
	43	11,9459	60,21	20,18	4,97	6,04	1,9783	11,0494	59,99	20,15	4,96	6,00	1,8419	1,003	7,5047
	44	11,9733	60,14	20,17	4,93	5,98	2,0033	11,0612	60,02	20,14	4,90	5,92	1,8689	0,985	7,6178
	45	11,9500	60,17	20,19	4,90	5,95	2,0074	11,0505	60,04	20,16	4,89	5,91	1,8686	0,976	7,5272
	46	11,9473	60,18	20,17	4,93	5,99	1,9948	11,0432	60,06	20,14	4,92	5,96	1,8539	0,987	7,5674
	47	11,9544	60,17	20,19	4,93	5,98	1,9977	11,0496	60,02	20,16	4,92	5,95	1,8577	0,986	7,5688
	48	11,9462	60,19	20,18	4,95	6,02	1,9856	11,0385	60,06	20,19	4,89	5,93	1,8620	0,996	7,5982
49	11,9521	60,14	20,15	5,01	6,07	1,9685	11,0453	60,01	20,16	4,92	5,95	1,8565	1,016	7,5870	
50	11,9585	60,17	20,15	4,93	5,97	2,0017	11,0614	60,02	20,16	4,92	5,95	1,8584	0,983	7,5018	

**LEGENDA**

**Ppc** = peso pós-compactação (g)  
**Vpc** = volume pós-compactação (cm3)  
**Dens PC** = densidade pós-compactação (g/cm3)

**PS** = peso pós-secagem (g)  
**Vps** = volume pós-secagem (cm3)  
**Dens S** = densidade pós-secagem (g/cm3)

**Retr S** = retração volumétrica na secagem (%)  
**U** = teor de umidade pós-compactação (%)

## Apêndice 1

Tabela A 10 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=1200 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós Compactação						Pos-secagem						Umidade	
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
C - (Argila com 7,5% Escória)	41	11,7926	60,18	20,19	4,96	6,03	1,9563	11,0813	60,09	20,17	4,97	6,02	1,8394	1,0001	6,0317
	42	11,8067	60,16	20,18	4,89	5,93	1,9902	11,0800	60,07	20,18	4,96	6,01	1,8426	0,9694	6,1550
	43	11,7763	60,16	20,17	4,92	5,97	1,9737	11,0319	60,04	20,14	4,90	5,93	1,8603	0,9808	6,3212
	44	11,8013	60,16	20,18	4,90	5,94	1,9855	11,0372	60,08	20,19	4,92	5,97	1,8498	0,9731	6,4747
	45	11,8059	60,16	20,18	4,93	5,98	1,9741	11,0598	60,07	20,15	4,91	5,94	1,8620	0,9851	6,3197
	46	11,7519	60,18	20,20	4,97	6,04	1,9441	11,0322	60,08	20,18	4,87	5,90	1,8695	1,0059	6,1241
	47	11,7495	60,18	20,18	4,91	5,96	1,9701	11,0187	60,06	20,16	4,82	5,84	1,8868	0,9791	6,2198
	48	11,75	60,16	20,18	4,94	5,99	1,9601	11,0063	60,07	20,19	4,82	5,84	1,8844	0,9898	6,3294
	49	11,7701	60,10	20,15	4,87	5,90	1,9958	11,0385	60,07	20,17	4,93	5,97	1,8488	0,9600	6,2158
	50	11,7743	60,10	20,15	4,87	5,90	1,9963	11,0429	60,08	20,17	4,86	5,88	1,8766	0,9600	6,2118
D - (Argila com 10% Escória)	Identif.	Pós Compactação						Pos-secagem						Umidade	
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
	41	11,8813	60,15	20,22	4,80	5,84	2,0340	11,0738	60,05	20,18	4,83	5,86	1,8907	0,9401	6,7964
	42	11,8389	60,16	20,19	4,88	5,93	1,9963	11,021	60,05	20,19	4,79	5,81	1,8978	0,9689	6,9086
	43	11,8312	60,16	20,20	4,90	5,96	1,9851	11,0125	60,06	20,17	4,81	5,83	1,8897	0,9784	6,9198
	44	11,8654	60,14	20,17	4,84	5,87	2,0220	11,0464	60,06	20,16	4,77	5,78	1,9114	0,9492	6,9024
	45	11,8183	60,15	20,19	4,81	5,84	2,0236	11,0083	60,17	20,19	4,78	5,81	1,8947	0,9399	6,8538
	46	11,846	60,18	20,16	4,85	5,88	2,0144	11,0406	60,07	20,17	4,79	5,80	1,9036	0,9521	6,7989
	47	11,8822	60,17	20,19	4,80	5,83	2,0364	11,0565	60,07	20,17	4,78	5,80	1,9075	0,9376	6,9490
	48	11,8788	60,17	20,18	4,83	5,86	2,0257	11,0521	60,06	20,19	4,79	5,81	1,9012	0,9468	6,9595
49	11,8215	60,16	20,21	4,84	5,88	2,0098	11,0048	60,06	20,18	4,82	5,84	1,8835	0,9529	6,9086	
50	11,8753	60,15	20,19	4,83	5,86	2,0262	11,0749	60,06	20,17	4,81	5,82	1,9024	0,9464	6,7400	

**LEGENDA**

**Ppc** = peso pós-compactação (g)  
**Vpc** = volume pós-compactação (cm3)  
**Dens PC** = densidade pós-compactação (g/cm3)

**PS** = peso pós-secagem (g)  
**Vps** = volume pós-secagem (cm3)  
**Dens S** = densidade pós-secagem (g/cm3)

**Retr S** = retração volumétrica na secagem (%)  
**U** = teor de umidade pós-compactação (%)

## Apêndice 1

Tabela A 11 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, antes da Queima a T=1200 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós-compactação					Pos-secagem							Umidade	
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
A - Argila	51	11,9032	60,20	20,21	5,03	6,12	1,9442	11,0658	60,01	20,14	5,01	6,06	1,8271	1,0313	7,0351
	52	11,8745	60,18	20,20	4,98	6,06	1,9602	11,0015	60,00	20,15	5,01	6,05	1,8179	1,0102	7,3519
	53	11,8750	60,10	20,11	5,02	6,07	1,9576	11,0225	59,98	20,13	5,01	6,05	1,8222	1,0157	7,1789
	54	11,8759	60,12	20,17	5,07	6,15	1,9300	11,0121	59,97	20,11	4,97	6,00	1,8359	1,0443	7,2736
	55	11,8700	60,15	20,17	4,99	6,05	1,9620	10,9998	60,00	20,17	5,03	6,08	1,8085	1,0085	7,3311
	56	11,8735	60,17	20,21	5,00	6,08	1,9539	11,0118	60,03	20,19	4,96	6,01	1,8319	1,0170	7,2573
	57	11,8872	60,20	20,22	5,00	6,08	1,9545	11,0100	60,06	20,15	5,00	6,05	1,8205	1,0177	7,3794
	58	11,8822	60,19	20,22	4,98	6,06	1,9614	11,0101	60,03	20,14	5,00	6,04	1,8218	1,0098	7,3395
	59	11,9485	60,18	20,16	5,00	6,07	1,9699	11,0789	60,02	20,14	5,01	6,06	1,8295	1,0126	7,2779
	60	11,8679	60,14	20,20	5,04	6,12	1,9381	11,0156	60,05	20,16	4,95	5,99	1,8398	1,0337	7,1816
B - (Argila com 5% Escória)	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem							Umidade	
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
	51	11,9375	60,19	20,18	4,93	5,98	1,9950	11,0808	60,05	20,13	4,94	5,97	1,8566	0,9854	7,1765
	52	11,8901	60,19	20,19	4,96	6,03	1,9715	11,0216	60,05	20,21	4,92	5,97	1,8468	1,0008	7,3044
	53	11,9182	60,16	20,14	5,01	6,08	1,9618	11,0534	60,02	20,16	5,00	6,05	1,8279	1,0167	7,2561
	54	11,8790	60,16	20,15	4,95	6,00	1,9800	11,056	60,02	20,14	4,90	5,92	1,8665	0,9915	6,9282
	55	11,8734	60,17	20,16	4,99	6,05	1,9632	11,0435	60,07	20,17	4,92	5,96	1,8514	1,0073	6,9896
	56	11,9151	60,19	20,17	5,00	6,07	1,9642	11,0543	60,08	20,13	4,96	6,00	1,8437	1,0126	7,2244
	57	11,9031	60,15	20,16	5,01	6,07	1,9602	11,0366	60,01	20,16	4,98	6,02	1,8329	1,0160	7,2796
	58	11,9076	60,13	20,13	4,95	5,99	1,9885	11,0402	60,03	20,12	4,94	5,97	1,8489	0,9888	7,2844
59	11,9351	60,19	20,14	4,93	5,98	1,9958	11,0639	60,02	20,15	5,06	6,11	1,8094	0,9841	7,2995	
60	11,8960	60,12	20,15	4,95	6,00	1,9829	11,0453	60,08	20,18	4,91	5,96	1,8546	0,9928	7,1511	

**LEGENDA**

**Ppc** = peso pós-compactação (g)  
**Vpc** = volume pós-compactação (cm<sup>3</sup>)  
**Dens PC** = densidade pós-compactação (g/cm<sup>3</sup>)

**PS** = peso pós-secagem (g)  
**Vps** = volume pós-secagem (cm<sup>3</sup>)  
**Dens S** = densidade pós-secagem (g/cm<sup>3</sup>)

**Retr S** = retração volumétrica na secagem (%)  
**U** = teor de umidade pós-compactação (%)

## Apêndice 1

Tabela A 12 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, antes da Queima a T=1200 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem						Umidade		
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
C - (Argila com 7,5% Escória)	51	11,771	60,11	20,15	4,92	5,96	1,9766	11,0786	60,06666667	20,14666667	4,893333333	5,92	1,8709	0,9785	5,8823
	52	11,7536	60,09	20,13	4,91	5,94	1,9772	11,0698	60,05333333	20,16333333	4,95	5,99	1,8469	0,9755	5,8178
	53	11,7378	60,12	20,14	4,98	6,02	1,9482	11,0158	60,05	20,19	4,923333333	5,97	1,8455	1,0012	6,1511
	54	11,7719	60,11	20,17	4,95	6,00	1,9617	11,0461	60,06	20,17	4,846666667	5,87	1,8814	0,9935	6,1655
	55	11,7606	60,15	20,18	4,93	5,99	1,9649	11,0740	60,06333333	20,17	4,916666667	5,96	1,8592	0,9871	5,8381
	56	11,7546	60,14	20,20	4,95	6,01	1,9549	11,0532	60,03	20,17333333	4,916666667	5,95	1,8564	0,9964	5,9670
	57	11,7725	60,14	20,19	4,91	5,97	1,9733	11,0420	60,05666667	20,15666667	4,863333333	5,89	1,8756	0,9811	6,2051
	58	11,7302	60,13	20,17	4,88	5,92	1,9808	10,9938	60,03666667	20,19	4,876666667	5,91	1,8598	0,9669	6,2778
	59	11,7981	60,16	20,18	4,93	5,98	1,9730	11,0799	60,06666667	20,17	4,943333333	5,99	1,8500	0,9851	6,0874
	60	11,7401	60,18	20,19	4,96	6,02	1,9497	11,0656	60,06666667	20,16666667	4,943333333	5,99	1,8479	0,9981	5,7453
D - (Argila com 10% Escória)	Identif.	Pós Compactação					Pos-secagem						Umidade		
		Ppc	Comprimento	Largura	Espessura	Vpc	Dens PC	PS	Comprimento	Largura	Espessura	Vps	Dens S	Retr S	%
	51	11,8343	60,16	20,18	4,89	5,94	1,9939	11,0996	60,02666667	20,16666667	4,786666667	5,79	1,9156	0,9705	6,2082
	52	11,8071	60,17	20,17	4,83	5,86	2,0154	11,0272	60,05333333	20,15	4,773333333	5,78	1,9091	0,9452	6,6053
	53	11,818	60,16	20,16	4,87	5,91	2,0006	11,0332	60,04	20,15	4,816666667	5,83	1,8934	0,9613	6,6407
	54	11,8118	60,18	20,21	4,85	5,90	2,0022	11,0265	60,06333333	20,15666667	4,816666667	5,83	1,8909	0,9582	6,6484
	55	11,8217	60,16	20,19	4,80	5,83	2,0272	11,0459	60,04333333	20,16333333	4,776666667	5,78	1,9101	0,9366	6,5625
	56	11,8033	60,16	20,16	4,83	5,86	2,0150	11,0277	60,04	20,13333333	4,78	5,78	1,9085	0,9453	6,5710
	57	11,8518	60,16	20,18	4,80	5,83	2,0329	11,058	60,03333333	20,15666667	4,766666667	5,77	1,9171	0,9364	6,6977
	58	11,8155	60,16	20,15	4,87	5,90	2,0024	11,0444	60,04333333	20,15666667	4,81	5,82	1,8972	0,9591	6,5262
59	11,8097	60,15	20,19	4,82	5,85	2,0190	11,0239	60,05666667	20,17666667	4,81	5,83	1,8914	0,9428	6,6539	
60	11,8377	60,18	20,19	4,84	5,88	2,0143	11,0712	60,06	20,16666667	4,75	5,75	1,9243	0,9507	6,4751	

**LEGENDA**

**Ppc** = peso pós-compactação (g)  
**Vpc** = volume pós-compactação (cm<sup>3</sup>)  
**Dens PC** = densidade pós-compactação (g/cm<sup>3</sup>)

**PS** = peso pós-secagem (g)  
**Vps** = volume pós-secagem (cm<sup>3</sup>)  
**Dens S** = densidade pós-secagem (g/cm<sup>3</sup>)

**Retr S** = retração volumétrica na secagem (%)  
**U** = teor de umidade pós-compactação (%)

## Apêndice 1

Tabela A 13 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=900 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
A - Argila	21	9,9826	59,01	19,80	5,00	5,84	12,0058	6,3986	26	1,7099	5,67	10,67	36,08	20,27	3,94
	22	9,9952	59,00	19,85	5,02	5,88	12,1203	6,4060	19	1,7003	5,12	10,68	37,19	21,26	2,85
	23	9,9722	59,05	19,84	4,97	5,82	11,9564	6,3959	26	1,7134	4,83	10,68	35,68	19,90	3,98
	24	9,9735	59,04	19,81	4,97	5,82	12,0324	6,3931	22	1,7147	5,52	10,74	36,51	20,64	3,37
	25	9,9653	59,02	19,81	4,95	5,79	11,9956	6,3902	22	1,7223	6,38	10,73	36,22	20,37	3,40
	26	9,9701	58,98	19,80	5,06	5,90	12,1505	6,3945	-	1,6885	4,66	10,71	37,88	21,87	-
	27	9,9568	58,96	19,79	5,05	5,90	12,1659	6,3912	-	1,6887	5,11	10,69	38,25	22,19	-
	28	9,9707	58,97	19,81	5,07	5,93	12,1963	6,3955	-	1,6824	5,63	10,72	38,37	22,32	-
	29	9,9744	58,98	19,83	5,00	5,85	12,1125	6,3946	-	1,7064	6,13	10,68	37,39	21,44	-
	30	9,9746	58,98	19,80	5,04	5,89	12,1854	6,3976	-	1,6933	5,59	10,74	38,20	22,16	-
B - (Argila com 5% Escófia)	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
	21	9,9865	59,17	19,84	5,05	5,93	12,0350	6,4716	20	1,6835	1,08	10,23	36,82	20,51	2,96
	22	9,9826	59,12	19,88	5,07	5,96	12,1187	6,4725	16	1,6763	1,99	10,21	37,83	21,40	2,35
	23	10,0213	59,15	19,84	5,06	5,93	12,1611	6,4990	17	1,6891	2,37	10,16	37,79	21,35	2,51
	24	10,0215	59,19	19,90	5,00	5,89	12,0072	6,5018	20	1,7020	2,01	10,11	36,07	19,81	3,02
	25	9,9841	59,13	19,88	5,06	5,95	12,1638	6,4734	16	1,6773	2,49	10,12	38,30	21,83	2,35
	26	10,0380	59,18	19,87	4,99	5,87	12,0904	6,5065	-	1,7093	3,97	10,27	36,76	20,45	-
	27	10,0501	59,19	19,88	5,03	5,91	12,1273	6,5173	-	1,6995	3,02	10,18	37,03	20,67	-
	28	10,0368	59,14	19,91	4,99	5,87	12,1290	6,5060	-	1,7093	2,96	10,20	37,21	20,85	-
29	10,0367	59,12	19,86	5,04	5,92	12,2448	6,5023	-	1,6964	3,24	10,26	38,45	22,00	-	
30	10,0088	59,17	19,85	5,00	5,87	12,0428	6,4893	-	1,7058	3,26	10,18	36,63	20,32	-	

LEGENDA

<b>Ppq</b> = peso pós-queima (g)	<b>Pi</b> = peso imerso (g)	<b>Retr Q</b> = retração na queima (%)	<b>AA</b> = absorção de água (%)
<b>Vpq</b> = volume pós-queima (cm3)	<b>Vps</b> = volume pós-secagem (cm3)	<b>Perda P</b> = perda peso na queima (%)	<b>RF</b> = resistência a flexão (MPa)
<b>Pu</b> = peso úmido (g)	<b>Dens PQ</b> = densidade pós-queima (g/cm3)	<b>Poros Ap</b> = porosidade aparente (%)	

## Apêndice 1

Tabela A 14 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=900 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
C - (Argila com 7.5% Escória)	21	10,1017	59,20	19,92	5,01	5,91	12,1165	6,5739	21,00	1,7098	3,20	9,71	36,35	19,95	3,15
	22	10,0847	59,22	19,90	4,93	5,81	12,0858	6,5697	21,00	1,7371	5,33	9,70	36,28	19,84	3,26
	23	10,0900	59,16	19,88	4,96	5,84	12,1378	6,5740	21,00	1,7287	3,06	9,78	36,81	20,30	3,22
	24	10,0867	59,21	19,88	4,91	5,78	11,9975	6,5726	21,00	1,7444	4,39	9,70	35,22	18,94	3,28
	25	10,0888	59,18	19,92	4,96	5,85	12,0729	6,5648	21,00	1,7243	2,59	9,78	36,02	19,67	3,21
	26	10,1362	59,17	19,87	4,98	5,86	12,2584	6,6074	-	1,7309	4,80	9,76	37,55	20,94	-
	27	10,1070	59,18	19,85	4,99	5,87	12,1572	6,5840	-	1,7232	3,67	9,75	36,79	20,28	-
	28	10,1050	59,16	19,89	5,00	5,89	12,1916	6,5801	-	1,7168	3,36	9,71	37,18	20,65	-
	29	10,1000	59,23	19,90	5,00	5,90	12,0799	6,5795	-	1,7123	1,01	9,70	36,00	19,60	-
	30	10,0962	59,22	19,87	5,00	5,89	12,2011	6,5772	-	1,7149	4,55	9,80	37,43	20,85	-
D - (Argila com 10% Escória)	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
	21	10,0971	59,25	19,87	4,89	5,75	11,9556	6,6120	29,00	1,7548	1,82	9,27	34,78	18,41	4,58
	22	10,0363	59,27	19,90	4,89	5,77	11,8714	6,5721	24,00	1,7399	0,51	9,68	34,63	18,28	3,78
	23	10,0766	59,22	19,84	4,83	5,68	11,9256	6,6000	26,00	1,7740	2,51	9,69	34,72	18,35	4,21
	24	10,1203	59,14	19,88	4,89	5,75	11,9570	6,6321	24,00	1,7611	2,22	8,93	34,49	18,15	3,79
	25	10,0653	59,23	19,90	4,83	5,70	11,9177	6,5919	30,00	1,7669	1,53	9,31	34,78	18,40	4,84
	26	10,0672	59,23	19,89	4,81	5,67	11,8980	6,5950	-	1,7755	2,63	9,31	34,52	18,19	-
	27	10,0824	59,22	19,90	4,88	5,75	11,9575	6,6006	-	1,7545	2,69	9,01	35,00	18,60	-
	28	10,0468	59,25	19,90	4,77	5,63	11,8934	6,5810	-	1,7848	4,34	9,35	34,76	18,38	-
29	10,0488	59,21	19,91	4,88	5,75	11,9139	6,5821	-	1,7479	1,64	9,80	34,98	18,56	-	
30	10,0944	59,26	19,91	4,90	5,78	11,9481	6,6065	-	1,7450	1,47	8,90	34,70	18,36	-	
LEGENDA															
Ppq = peso pós-queima (g)				Pi = peso imerso (g)				Retr Q = retração na queima (%)				AA = absorção de água (%)			
Vpq = volume pós-queima (cm3)				Vps = volume pós-secagem (cm3)				Perda P = perda peso na queima (%)				RF = resistência a flexão (MPa)			
Pu = peso úmido (g)				Dens PQ = densidade pós-queima (g/cm3)				Poros Ap = porosidade aparente (%)							

## Apêndice 1

Tabela A 15 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=900 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
A - Argila	31	9,9570	59,06	19,82	5,06	5,93	12,0344	6,3887	21	1,6799	3,58	10,47	36,80	20,86	3,10
	32	9,9545	59,06	19,85	5,03	5,90	11,9830	6,3892	20	1,6871	3,88	10,49	36,26	20,38	2,98
	33	10,0050	59,06	19,86	4,97	5,83	12,0500	6,4225	21	1,7159	3,93	10,45	36,34	20,44	3,21
	34	9,9728	58,99	19,82	5,12	5,99	12,2622	6,3981	15	1,6657	5,26	10,48	39,04	22,96	2,16
	35	9,9956	59,01	19,86	5,07	5,94	12,2277	6,4133	17	1,6835	5,42	10,51	38,39	22,33	2,50
	36	9,9832	59,01	19,87	5,03	5,90	12,0796	6,4047	-	1,6926	4,99	10,62	36,94	21,00	-
	37	9,9573	58,97	19,81	5,04	5,88	12,1328	6,3895	-	1,6924	5,63	10,58	37,88	21,85	-
	38	9,9724	58,95	19,82	5,12	5,98	12,2286	6,3971	-	1,6678	4,44	10,56	38,69	22,62	-
	39	9,9871	58,99	19,88	5,10	5,98	12,2497	6,4076	-	1,6696	4,26	10,56	38,73	22,66	-
	40	9,9773	58,96	19,84	5,14	6,01	12,3194	6,3987	-	1,6604	5,42	10,56	39,56	23,47	-
B - (Argila com 5% Escória)	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
	31	10,0004	59,15	19,82	4,95	5,81	11,9335	6,4855	21	1,7219	4,32	10,00	35,48	19,33	3,24
	32	10,0360	59,17	19,82	4,98	5,84	12,0793	6,5107	19	1,7183	5,00	10,04	36,69	20,36	2,90
	33	9,9939	59,16	19,84	4,94	5,80	11,9867	6,4834	24	1,7221	4,49	10,07	36,21	19,94	3,71
	34	10,0457	59,13	19,84	5,01	5,88	12,1084	6,5145	21	1,7096	4,13	10,01	36,87	20,53	3,16
	35	10,0299	59,14	19,87	4,95	5,82	12,0710	6,5061	19	1,7235	4,37	10,01	36,68	20,35	2,92
	36	9,9922	59,15	19,85	5,01	5,88	12,1310	6,4778	-	1,6990	4,39	10,16	37,83	21,40	-
	37	10,0153	59,11	19,87	5,00	5,87	12,1325	6,4922	-	1,7058	3,68	10,15	37,54	21,14	-
	38	10,0007	59,13	19,68	4,98	5,80	12,0491	6,4820	-	1,7244	4,36	10,11	36,79	20,48	-
39	10,0553	59,14	19,85	4,98	5,85	12,1690	6,5190	-	1,7186	4,87	10,09	37,41	21,02	-	
40	10,0104	59,19	19,88	4,97	5,84	12,0484	6,4842	-	1,7129	3,83	10,08	36,63	20,36	-	
LEGENDA															
Ppq = peso pós-queima (g)				Pi = peso imerso (g)				Retr Q = retração na queima (%)				AA = absorção de água (%)			
Vpq = volume pós-queima (cm3)				Vps = volume pós-secagem (cm3)				Perda P = perda peso na queima (%)				RF = resistência a flexão (MPa)			
Pu = peso úmido (g)				Dens PQ = densidade pós-queima (g/cm3)				Poros. Ap = porosidade aparente (%)							

## Apêndice 1

Tabela A 16 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=900 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
C - (Argila com 7,5% Escória)	31	10,1062	59,25	19,90	4,95	5,83	12,0014	6,5843	24,00	1,7328	4,27	9,74	34,99	18,75	3,70
	32	10,1414	59,27	19,92	4,96	5,86	12,2347	6,6101	19,00	1,7306	4,33	9,78	37,22	20,64	2,90
	33	10,1245	59,24	19,90	4,94	5,83	12,0393	6,5996	25,00	1,7373	4,01	9,78	35,20	18,91	3,86
	34	10,1013	59,22	19,86	4,94	5,81	12,2250	6,5816	17,00	1,7387	4,37	9,87	37,63	21,02	2,63
	35	10,0885	59,20	19,88	4,98	5,86	12,2160	6,5751	17,00	1,7209	3,59	9,92	37,72	21,09	2,59
	36	10,1159	59,17	19,87	5,01	5,89	12,0239	6,5966	-	1,7174	2,88	9,69	35,16	18,86	-
	37	10,0950	59,18	19,93	5,01	5,91	12,1773	6,5806	-	1,7080	3,15	9,72	37,21	20,63	-
	38	10,1334	59,18	19,87	4,98	5,86	12,2827	6,6017	-	1,7289	4,61	9,74	37,83	21,21	-
	39	10,1094	59,20	19,94	5,01	5,91	12,1964	6,5854	-	1,7097	2,87	9,78	37,19	20,64	-
	40	10,1366	59,21	19,88	5,03	5,92	12,2915	6,5923	-	1,7134	3,22	9,93	37,81	21,26	-
D - (Argila com 10% Escória)		Pós- queima													
	Identif.	Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
	31	10,0353	59,24	19,90	4,95	5,83	11,8792	6,5756	25,00	1,7212	1,25	9,61	34,77	18,37	3,85
	32	10,0552	59,18	19,82	4,90	5,74	11,9784	6,5875	22,00	1,7503	3,63	9,47	35,67	19,13	3,47
	33	10,0522	59,18	19,90	4,88	5,74	11,9082	6,5858	24,00	1,7507	5,11	9,47	34,87	18,46	3,80
	34	10,0464	59,23	19,89	4,91	5,78	11,9698	6,5817	21,00	1,7372	4,29	9,60	35,70	19,15	3,29
	35	10,0393	59,19	19,88	4,90	5,77	12,0499	6,5710	19,00	1,7412	2,60	9,88	36,70	20,03	2,99
	36	10,0778	59,20	19,91	4,90	5,78	11,9345	6,6017	-	1,7447	2,97	9,42	34,82	18,42	-
	37	10,0677	59,23	19,87	4,90	5,77	11,9280	6,5950	-	1,7450	0,78	9,52	34,88	18,48	-
	38	10,0618	59,19	19,86	4,98	5,85	12,0580	6,5900	-	1,7195	-0,06	9,61	36,51	19,84	-
39	10,0296	59,22	19,88	4,90	5,77	11,9438	6,5698	-	1,7390	0,89	9,59	35,62	19,09	-	
40	10,0323	59,20	19,87	4,90	5,77	11,8885	6,5714	-	1,7396	1,43	9,65	34,91	18,50	-	
LEGENDA															
Ppq = peso pós-queima (g)				Pi = peso imerso (g)				Retr Q = retração na queima (%)				AA = absorção de água (%)			
Vpq = volume pós-queima (cm3)				Vps = volume pós-secagem (cm3)				Perda P = perda peso na queima (%)				RF = resistência a flexão (MPa)			
Pu = peso úmido (g)				Dens PQ = densidade pós-queima (g/cm3)				Poros. Ap = porosidade aparente (%)							

## Apêndice 1

Tabela A 17 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=1050 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
A - Argila	1	9,9095	58,37	19,60	5,10	5,83	11,8280	6,3708	26	1,6983	7,85	11,30	35,16	19,36	3,83
	2	9,9131	58,37	19,58	5,03	5,74	11,7908	6,3759	28	1,7258	9,54	11,25	34,68	18,94	4,25
	3	9,9062	58,36	19,65	5,04	5,77	11,9072	6,3729	24	1,7155	9,12	11,28	36,16	20,20	3,61
	4	9,9377	58,30	19,61	5,04	5,77	11,9607	6,3868	23	1,7237	10,01	11,30	36,29	20,36	3,46
	5	9,9241	58,39	19,62	5,08	5,82	12,0594	6,3849	19	1,7038	8,67	11,35	37,63	21,52	2,81
	6	9,8836	58,36	19,56	5,06	5,78	11,7634	6,3555	-	1,7110	8,76	11,33	34,76	19,02	-
	7	9,8986	58,37	19,58	4,96	5,67	11,7115	6,3691	-	1,7472	11,66	11,30	33,93	18,31	-
	8	9,8829	58,43	19,61	4,99	5,72	11,8050	6,3524	-	1,7282	9,96	11,38	35,25	19,45	-
	9	9,9261	58,34	19,57	4,93	5,62	11,7467	6,3844	-	1,7651	9,42	11,34	33,95	18,34	-
	10	9,9178	58,35	19,57	5,03	5,74	11,8088	6,3777	-	1,7274	7,65	11,43	34,82	19,07	-
B - (Argila com 5% Escória)	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
	1	9,9726	58,47	19,61	5,05	5,79	12,0171	6,4752	16	1,7215	7,60	10,42	36,89	20,50	2,40
	2	9,9956	58,51	19,67	5,02	5,77	11,8910	6,4809	21	1,7316	8,38	10,27	35,03	18,96	3,18
	3	10,0074	58,51	19,65	5,04	5,79	12,0238	6,4983	24	1,7283	9,74	10,33	36,49	20,15	3,61
	4	9,9749	58,53	19,65	5,00	5,75	11,8383	6,4805	25	1,7346	9,81	10,29	34,78	18,68	3,82
	5	9,9864	58,44	19,62	4,97	5,70	11,8367	6,4895	25	1,7534	8,46	10,23	34,60	18,53	3,87
	6	10,0041	58,47	19,65	5,02	5,77	12,0464	6,4966	-	1,7330	9,68	10,28	36,80	20,41	-
	7	10,0034	58,41	19,59	5,04	5,76	12,0082	6,4952	-	1,7353	9,52	10,34	36,36	20,04	-
	8	9,9894	58,48	19,61	5,01	5,75	12,0316	6,4856	-	1,7372	9,53	10,39	36,82	20,44	-
9	9,9907	58,38	19,61	5,00	5,72	11,9516	6,4833	-	1,7465	9,37	10,47	35,86	19,63	-	
10	10,0218	58,44	19,61	5,01	5,75	11,9661	6,5060	-	1,7439	8,27	10,50	35,61	19,40	-	
LEGENDA															
Ppq = peso pós-queima (g)				Pi = peso imerso (g)				Retr Q = retração na queima (%)				AA = absorção de água (%)			
Vpq = volume pós-queima (cm3)				Vps = volume pós-secagem (cm3)				Perda P = perda peso na queima (%)				RF = resistência a flexão (MPa)			
Pu = peso úmido (g)				Dens PQ = densidade pós-queima (g/cm3)				Poros. Ap = porosidade aparente (%)							

## Apêndice 1

Tabela A 18 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=1050 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
C - (Argila com 7,5% Escória)	1	10,0436	58,44	19,65	5,02	5,76	11,9377	6,5507	22,00	1,7430	6,19	9,49	35,16	18,86	3,34
	2	10,0141	58,43	19,65	4,88	5,61	11,7363	6,5353	29,00	1,7861	8,82	9,44	33,11	17,20	4,64
	3	10,0407	58,43	19,62	4,96	5,69	11,9239	6,5497	30,00	1,7657	7,86	9,42	35,04	18,76	4,66
	4	10,0091	58,40	19,63	5,00	5,73	11,9290	6,5300	27,00	1,7454	6,98	9,43	35,56	19,18	4,12
	5	10,0193	58,38	19,63	4,91	5,62	11,9308	6,5312	24,00	1,7817	8,48	9,43	35,40	19,08	3,81
	6	10,0843	58,48	19,66	4,92	5,65	11,8303	6,5817	-	1,7840	7,85	9,36	33,27	17,31	-
	7	10,0530	58,49	19,65	4,90	5,63	11,7155	6,5632	-	1,7842	8,57	9,38	32,27	16,54	-
	8	10,0747	58,43	19,61	4,98	5,71	11,9949	6,5752	-	1,7657	8,35	9,45	35,43	19,06	-
	9	10,0556	58,51	19,65	4,91	5,64	11,7552	6,5592	-	1,7828	8,25	9,52	32,71	16,90	-
	10	10,0499	58,52	19,68	4,89	5,63	11,7360	6,5533	-	1,7859	8,04	9,66	32,53	16,78	-
D - (Argila com 10% Escória)	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
	1	10,0362	58,41	19,63	4,86	5,57	11,7712	6,5767	28,00	1,8014	8,82	9,56	33,40	17,29	4,53
	2	10,0621	58,40	19,63	4,83	5,54	11,7575	6,5971	27,00	1,8174	9,37	9,49	32,85	16,85	4,42
	3	10,0398	58,41	19,62	4,87	5,58	11,6864	6,5778	32,00	1,8001	8,83	9,50	32,23	16,40	5,16
	4	9,9983	58,39	19,62	4,92	5,64	11,7331	6,5509	29,00	1,7735	7,69	9,62	33,48	17,35	4,58
	5	9,9905	58,46	19,64	4,90	5,62	11,7877	6,5473	24,00	1,7767	7,00	9,59	34,30	17,99	3,82
	6	10,0026	58,50	19,62	4,83	5,55	11,7270	6,5508	-	1,8028	7,97	9,58	33,31	17,24	-
	7	10,0119	58,45	19,64	4,94	5,67	11,8633	6,5593	-	1,7647	6,45	9,60	34,91	18,49	-
	8	10,0446	58,44	19,64	4,91	5,63	11,8854	6,5810	-	1,7836	8,27	9,62	34,70	18,33	-
9	10,0553	58,46	19,62	4,89	5,61	11,7836	6,5896	-	1,7924	7,80	9,58	33,27	17,19	-	
10	10,007	58,42	19,43	4,87	5,53	11,8190	6,5578	-	1,8102	9,25	9,68	34,44	18,11	-	
LEGENDA															
<b>Ppq</b> = peso pós-queima (g)				<b>Pi</b> = peso imerso (g)				<b>Retr Q</b> = retração na queima (%)				<b>AA</b> = absorção de água (%)			
<b>Vpq</b> = volume pós-queima (cm3)				<b>Vps</b> = volume pós-secagem (cm3)				<b>Perda P</b> = perda peso na queima (%)				<b>RF</b> = resistência a flexão (MPa)			
<b>Pu</b> = peso úmido (g)				<b>Dens PQ</b> = densidade pós-queima (g/cm3)				<b>Poros. Ap</b> = porosidade aparente (%)							

## Apêndice 1

Tabela A 19 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=1050 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
A - Argila	11	9,9057	58,29	19,57	4,97	5,67	11,8560	6,3630	32	1,7464	11,40	11,31	35,51	19,69	4,96
	12	9,9546	58,17	19,50	4,95	5,62	11,8401	6,3992	30	1,7715	11,89	11,21	34,65	18,94	4,70
	13	9,9298	58,08	19,47	5,04	5,70	11,8793	6,3802	26	1,7424	10,93	11,27	35,45	19,63	3,94
	14	9,8782	58,16	19,54	5,01	5,69	11,7768	6,3525	22	1,7354	10,82	11,27	35,00	19,22	3,36
	15	9,9420	58,29	19,56	4,98	5,68	11,8297	6,3899	29	1,7511	9,20	11,25	34,70	18,99	4,48
	16	9,9392	58,28	19,59	5,02	5,73	11,8698	6,3884	-	1,7345	8,89	11,28	35,22	19,42	-
	17	9,8936	58,21	19,54	5,04	5,73	11,8976	6,3612	-	1,7255	10,16	11,31	36,20	20,26	-
	18	9,9178	58,27	19,57	4,98	5,68	11,8127	6,3747	-	1,7450	10,46	11,30	34,85	19,11	-
	19	9,8580	58,12	19,52	5,07	5,76	11,8933	6,3328	-	1,7126	10,36	11,39	36,60	20,65	-
	20	9,8896	58,13	19,53	5,06	5,74	11,9536	6,3535	-	1,7230	10,27	11,46	36,86	20,87	-
B - (Argila com 5% Escória)	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
	11	9,9643	58,30	19,57	5,00	5,70	11,8304	6,4677	26	1,7476	8,81	10,21	34,80	18,73	3,99
	12	9,9815	58,25	19,57	4,96	5,65	11,7002	6,4801	30	1,7668	8,88	10,12	32,92	17,22	4,68
	13	9,9922	58,26	19,54	4,94	5,62	11,7460	6,4852	29	1,7771	9,78	10,04	33,34	17,55	4,56
	14	10,0120	58,32	19,59	4,98	5,69	11,7721	6,5012	27	1,7597	8,76	9,97	33,39	17,58	4,17
	15	9,9836	58,25	19,60	4,99	5,69	11,6903	6,4771	30	1,7533	8,44	10,08	32,74	17,10	4,62
	16	10,0148	58,35	19,60	5,02	5,74	11,7334	6,5019	-	1,7441	7,06	10,00	32,85	17,16	-
	17	10,0229	58,27	19,57	4,97	5,67	11,7695	6,5067	-	1,7676	8,77	10,03	33,19	17,43	-
	18	10,0099	58,28	19,59	5,00	5,70	11,8597	6,4951	-	1,7548	8,60	10,12	34,48	18,48	-
19	9,9978	58,28	19,65	4,99	5,71	11,6925	6,4910	-	1,7499	7,09	10,12	32,58	16,95	-	
20	9,9923	58,27	19,58	4,98	5,69	11,9334	6,4813	-	1,7573	9,43	10,47	35,60	19,43	-	
LEGENDA															
Ppq = peso pós-queima (g)				Pi = peso imerso (g)				Retr Q = retração na queima (%)				AA = absorção de água (%)			
Vpq = volume pós-queima (cm3)				Vps = volume pós-secagem (cm3)				Perda P = perda peso na queima (%)				RF = resistência a flexão (MPa)			
Pu = peso úmido (g)				Dens PQ = densidade pós-queima (g/cm3)				Poros. Ap = porosidade aparente (%)							

## Apêndice 1

Tabela A 20 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=1050 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
C - (Argila com 7,5% Escória)	11	10,0383	58,23	19,55	4,99	5,68	11,7145	6,5433	28,00	1,7684	7,15	9,67	32,41	16,70	4,32
	12	10,0201	58,25	19,58	4,94	5,63	11,6297	6,5348	31,00	1,7799	7,10	9,61	31,59	16,06	4,87
	13	9,9712	58,12	19,51	4,97	5,64	11,6505	6,5014	31,00	1,7681	7,02	9,65	32,61	16,84	4,82
	14	10,0326	58,23	19,58	4,99	5,69	11,7023	6,5431	32,00	1,7632	7,34	9,63	32,36	16,64	4,92
	15	10,0316	58,28	19,57	4,99	5,69	11,7441	6,5359	26,00	1,7623	6,90	9,65	32,88	17,07	4,00
	16	10,0294	58,23	19,56	4,97	5,66	11,6882	6,5424	-	1,7732	8,00	9,61	32,24	16,54	-
	17	10,0301	58,31	19,58	4,84	5,53	11,7253	6,5409	-	1,8148	9,00	9,64	32,70	16,90	-
	18	10,0470	58,29	19,58	4,99	5,70	11,7789	6,5473	-	1,7631	7,92	9,71	33,10	17,24	-
	19	10,0330	58,22	19,54	4,93	5,61	11,7260	6,5440	-	1,7873	6,66	9,71	32,67	16,87	-
	20	10,0296	58,29	19,57	4,87	5,56	11,6180	6,5402	-	1,8037	9,70	9,86	31,28	15,84	-
D - (Argila com 10% Escória)	11	9,9954	58,19	19,62	4,87	5,56	11,5321	6,5473	33,00	1,7966	8,42	9,82	30,83	15,37	5,31
	12	10,0136	58,23	19,63	4,87	5,57	11,5194	6,5616	34,00	1,7989	8,50	9,71	30,37	15,04	5,48
	13	10,0156	58,17	19,60	4,92	5,61	11,7325	6,5617	24,00	1,7854	7,56	9,69	33,20	17,14	3,79
	14	10,041	58,15	19,52	4,91	5,57	11,5593	6,5777	37,00	1,8024	8,27	9,64	30,48	15,12	5,90
	15	10,0212	58,23	19,58	4,98	5,68	11,5971	6,5668	34,00	1,7637	6,57	9,67	31,33	15,73	5,24
	16	10,0035	58,22	19,57	4,94	5,63	11,8001	6,5495	-	1,7762	7,65	9,79	34,22	17,96	-
	17	10,008	58,25	19,59	4,88	5,56	11,6933	6,5577	-	1,7987	8,44	9,71	32,82	16,84	-
	18	10,031	58,26	19,59	4,87	5,55	11,7395	6,5725	-	1,8063	9,22	9,73	33,07	17,03	-
	19	10,0164	58,19	19,57	4,92	5,60	11,7469	6,5624	-	1,7894	8,62	9,78	33,38	17,28	-
	20	10,049	58,31	19,61	4,91	5,61	11,7344	6,5803	-	1,7909	7,97	9,85	32,70	16,77	-

LEGENDA

<b>Ppq</b> = peso pós-queima (g) <b>Vpq</b> = volume pós-queima (cm3) <b>Pu</b> = peso úmido (g)	<b>Pi</b> = peso imerso (g) <b>Vps</b> = volume pós-secagem (cm3) <b>Dens PQ</b> = densidade pós-queima (g/cm3)	<b>Retr Q</b> = retração na queima (%) <b>Perda P</b> = perda peso na queima (%) <b>Poros. Ap</b> = porosidade aparente (%)
<b>AA</b> = absorção de água (%) <b>RF</b> = resistência a flexão (MPa)		

## Apêndice 1

Tabela A 21 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=1200 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
A - Argila	41	9,8547	56,71	19,03	4,82	5,20	11,0586	6,3233	55	1,8963	17,03	10,87	25,42	12,22	9,34
	42	9,7892	56,65	19,04	4,78	5,16	11,0303	6,2772	54	1,8977	16,43	10,88	26,11	12,68	9,30
	43	9,7792	56,52	19,02	4,77	5,13	11,0288	6,2673	47	1,9057	16,96	10,89	26,24	12,78	8,13
	44	9,8335	56,64	19,03	4,76	5,13	11,0139	6,2991	54	1,9152	15,24	10,89	25,04	12,00	9,38
	45	9,8315	56,62	19,05	4,73	5,11	10,9924	6,2987	57	1,9258	15,63	10,95	24,73	11,81	10,02
	46	9,8057	56,62	18,98	4,78	5,13	11,0491	6,2823	-	1,9100	15,82	10,87	26,08	12,68	-
	47	9,8294	56,56	18,99	4,72	5,07	11,0381	6,2980	-	1,9404	16,69	10,82	25,50	12,30	-
	48	9,7801	56,53	18,98	4,79	5,14	10,8703	6,2721	-	1,9028	16,20	10,85	23,71	11,15	-
	49	9,7821	56,50	18,95	4,67	5,00	11,0182	6,2651	-	1,9559	16,59	10,84	26,01	12,64	-
	50	9,7784	56,55	18,98	4,76	5,11	10,9096	6,2572	-	1,9125	16,98	10,87	24,31	11,57	-
B - (Argila com 5% Escória)	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
	41	9,9412	56,96	19,10	4,67	5,09	11,0836	6,4144	56	1,9549	14,68	10,09	24,47	11,49	10,07
	42	9,9531	56,84	19,09	4,68	5,08	11,0930	6,4294	58	1,9600	15,68	10,06	24,44	11,45	10,40
	43	9,9409	56,90	19,12	4,69	5,10	11,0982	6,4294	54	1,9494	15,00	10,03	24,79	11,64	9,64
	44	9,9558	56,92	19,15	4,67	5,09	11,0967	6,4251	60	1,9558	13,99	9,99	24,42	11,46	10,77
	45	9,9384	56,94	19,17	4,67	5,09	11,1133	6,4170	51	1,9515	13,89	10,06	25,02	11,82	9,16
	46	9,9287	56,94	19,16	4,72	5,15	11,0954	6,4108	-	1,9284	13,56	10,09	24,91	11,75	-
	47	9,9365	56,86	19,11	4,67	5,07	11,1068	6,4158	-	1,9585	14,70	10,07	24,95	11,78	-
	48	9,9310	56,96	19,16	4,66	5,08	11,0956	6,4116	-	1,9537	14,26	10,03	24,86	11,73	-
49	9,9360	56,93	19,14	4,72	5,15	11,1344	6,4192	-	1,9309	13,51	10,04	25,42	12,06	-	
50	9,9436	56,92	19,11	4,71	5,12	11,1107	6,4160	-	1,9408	13,92	10,11	24,86	11,74	-	
LEGENDA															
Ppq = peso pós-queima (g)				Pi = peso imerso (g)				Retr Q = retração na queima (%)				AA = absorção de água (%)			
Vpq = volume pós-queima (cm3)				Vps = volume pós-secagem (cm3)				Perda P = perda peso na queima (%)				RF = resistência a flexão (MPa)			
Pu = peso úmido (g)				Dens PQ = densidade pós-queima (g/cm3)				Poros Ap = porosidade aparente (%)							

## Apêndice 1

Tabela A 22 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=1200 °C, por 1 hora.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
C - (Argila com 7.5% Escória)	41	9,9928	57,07	19,19	4,73	5,18	11,1582	6,4883	47,00	1,9305	14,08	9,82	24,96	11,66	8,22
	42	10,0000	57,12	19,21	4,62	5,07	11,1697	6,4792	51,00	1,9727	15,70	9,75	24,94	11,70	9,33
	43	9,9549	57,03	19,15	4,64	5,06	11,1452	6,4500	47,00	1,9654	14,59	9,76	25,35	11,96	8,56
	44	9,9579	57,12	19,23	4,67	5,13	11,1306	6,4490	48,00	1,9428	14,10	9,78	25,05	11,78	8,60
	45	9,9690	57,04	19,15	4,62	5,04	11,1436	6,4576	45,00	1,9764	15,08	9,86	25,07	11,78	8,27
	46	9,9467	57,09	19,20	4,64	5,08	11,1175	6,4445	-	1,9568	13,86	9,84	25,05	11,77	-
	47	9,9382	57,00	19,15	4,60	5,02	11,0830	6,4405	-	1,9781	13,97	9,81	24,66	11,52	-
	48	9,9314	57,08	19,21	4,61	5,06	11,0769	6,4359	-	1,9637	13,41	9,77	24,68	11,53	-
	49	9,9639	57,14	19,23	4,63	5,08	11,1324	6,4541	-	1,9596	14,84	9,74	24,98	11,73	-
	50	9,9597	57,07	19,17	4,60	5,04	11,1076	6,4377	-	1,9775	14,41	9,81	24,58	11,53	-
D - (Argila com 10% Escória)	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
	41	10,0123	57,18	19,23	4,61	5,07	11,1524	6,5216	48,00	1,9740	13,40	9,59	24,62	11,39	8,80
	42	9,9636	57,19	19,21	4,59	5,04	11,0713	6,4813	49,00	1,9778	13,25	9,59	24,13	11,12	9,10
	43	9,95	57,12	19,20	4,57	5,01	11,0715	6,4797	50,00	1,9842	13,95	9,65	24,42	11,27	9,34
	44	9,9779	57,20	19,24	4,57	5,03	11,0880	6,5030	55,00	1,9856	13,05	9,67	24,21	11,13	10,28
	45	9,9448	57,19	19,19	4,54	4,98	11,0550	6,4778	47,00	1,9960	14,25	9,66	24,26	11,16	8,91
	46	9,9655	57,13	19,22	4,57	5,02	11,0841	6,4937	-	1,9846	13,42	9,74	24,37	11,22	-
	47	10,0004	57,20	19,23	4,58	5,04	11,0993	6,5168	-	1,9834	13,01	9,55	23,98	10,99	-
	48	9,99	57,14	19,22	4,56	5,01	11,1008	6,5078	-	1,9945	13,84	9,61	24,18	11,12	-
49	9,9496	57,17	19,22	4,55	5,00	11,0626	6,4817	-	1,9889	14,38	9,59	24,30	11,19	-	
50	10,0086	57,21	19,23	4,53	4,99	11,1196	6,5141	-	2,0070	14,34	9,63	24,12	11,10	-	
LEGENDA															
Ppq = peso pós-queima (g)				Pi = peso imerso (g)				Retr Q = retração na queima (%)				AA = absorção de água (%)			
Vpq = volume pós-queima (cm3)				Vps = volume pós-secagem (cm3)				Perda P = perda peso na queima (%)				RF = resistência a flexão (MPa)			
Pu = peso úmido (g)				Dens PQ = densidade pós-queima (g/cm3)				Poros Ap = porosidade aparente (%)							

## Apêndice 1

Tabela A 23 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições A, e B, após a Queima a T=1200 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
A - Argila	51	9,8571	57,52	18,97	4,75	5,18	11,0171	6,3062	54	1,9019	14,43	10,92	24,62	11,77	9,46
	52	9,8093	56,57	19,03	4,73	5,10	10,9466	6,2816	62	1,9246	15,78	10,84	24,38	11,59	10,90
	53	9,8275	56,44	18,95	4,72	5,05	10,9589	6,2924	61	1,9452	16,48	10,84	24,25	11,51	10,82
	54	9,8191	56,43	18,96	4,73	5,06	10,9411	6,2867	59	1,9391	15,58	10,83	24,11	11,43	10,42
	55	9,8045	56,49	19,00	4,67	5,01	10,9255	6,2756	65	1,9571	17,64	10,87	24,11	11,43	11,78
	56	9,8139	56,51	19,07	4,71	5,08	10,9434	6,2793	-	1,9334	15,56	10,88	24,22	11,51	-
	57	9,8181	56,57	19,04	4,70	5,06	10,9438	6,2872	-	1,9404	16,33	10,83	24,17	11,47	-
	58	9,8187	56,39	18,95	4,71	5,03	10,9274	6,2870	-	1,9520	16,77	10,82	23,89	11,29	-
	59	9,8784	56,41	18,91	4,72	5,04	11,0106	6,3280	-	1,9601	16,78	10,84	24,18	11,46	-
	60	9,8181	56,56	19,06	4,72	5,09	10,9611	6,2765	-	1,9304	15,06	10,87	24,40	11,64	-
B - (Argila com 5% Escória)	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
	51	9,9528	56,91	19,12	4,65	5,06	11,1003	6,4173	53	1,9668	15,22	10,18	24,50	11,53	9,61
	52	9,9065	56,80	19,11	4,65	5,05	11,0425	6,3894	52	1,9629	15,44	10,12	24,41	11,47	9,44
	53	9,9332	56,81	19,09	4,69	5,09	11,1778	6,4082	49	1,9534	15,91	10,13	26,09	12,53	8,75
	54	9,9387	56,81	19,08	4,64	5,03	11,1082	6,4154	53	1,9777	15,16	10,11	24,92	11,77	9,69
	55	9,9194	56,92	19,16	4,70	5,13	11,1244	6,4043	49	1,9354	14,08	10,18	25,53	12,15	8,68
	56	9,9263	56,91	19,10	4,66	5,07	11,0990	6,4052	-	1,9585	15,47	10,20	24,98	11,81	-
	57	9,9146	56,80	19,07	4,65	5,04	11,1303	6,4005	-	1,9682	16,34	10,17	25,70	12,26	-
	58	9,9208	56,79	19,06	4,67	5,05	11,1086	6,4060	-	1,9645	15,43	10,14	25,26	11,97	-
59	9,9385	56,77	19,13	4,69	5,10	11,1639	6,4127	-	1,9502	16,66	10,17	25,79	12,33	-	
60	9,9195	56,92	19,12	4,66	5,07	11,0643	6,3928	-	1,9557	14,84	10,19	24,51	11,54	-	
LEGENDA															
Ppq = peso pós-queima (g)				Pi = peso imerso (g)				Retr Q = retração na queima (%)				AA = absorção de água (%)			
Vpq = volume pós-queima (cm3)				Vps = volume pós-secagem (cm3)				Perda P = perda peso na queima (%)				RF = resistência a flexão (MPa)			
Pu = peso úmido (g)				Dens PQ = densidade pós-queima (g/cm3)				Poros Ap = porosidade aparente (%)							

## Apêndice 1

Tabela A 24 - Resultados das análises feitas nas amostras das composições C, e D, após a Queima a T=1200 °C, por 2 horas.

	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
C - (Argila com 7,5% Escória)	51	9,9865	57,08	19,18	4,72	5,17	11,1843	6,4673	47,00	1,9327	12,74	9,86	25,39	11,99	8,25
	52	9,9819	57,01	19,17	4,62	5,05	11,1750	6,4692	50,00	1,9772	15,77	9,83	25,35	11,95	9,17
	53	9,9270	57,01	19,17	4,64	5,07	11,0625	6,4292	49,00	1,9580	15,06	9,88	24,51	11,44	8,91
	54	9,9658	57,07	19,20	4,66	5,10	11,0897	6,4506	53,00	1,9527	13,07	9,78	24,23	11,28	9,55
	55	9,9852	57,04	19,14	4,59	5,01	11,1251	6,4692	51,00	1,9926	15,87	9,83	24,48	11,42	9,49
	56	9,9622	57,00	19,14	4,65	5,07	11,1150	6,4580	-	1,9653	14,86	9,87	24,75	11,57	-
	57	9,9571	57,03	19,17	4,64	5,07	11,0916	6,4505	-	1,9643	13,90	9,83	24,44	11,39	-
	58	9,9020	56,88	19,15	4,57	4,98	11,0427	6,4156	-	1,9881	15,74	9,93	24,65	11,52	-
	59	9,9875	57,09	19,16	4,64	5,07	11,1665	6,4746	-	1,9690	15,31	9,86	25,13	11,80	-
	60	9,9678	57,07	19,17	4,66	5,09	11,1370	6,4530	-	1,9570	14,94	9,92	24,96	11,73	-
D - (Argila com 10% Escória)	Identif.	Pós- queima													
		Ppq	Comprimento	Largura	Espessura	Vpq	Pu	Pi	CR (N)	Dens PQ	Retr Q	Perda P	Poros Ap.	AA	RF
	51	10,0287	57,09	19,19	4,58	5,01	11,1394	6,5320	55,00	1,9998	13,45	9,65	24,11	11,08	10,26
	52	9,9559	57,01	19,17	4,54	4,97	11,0594	6,4861	58,00	2,0050	14,03	9,72	24,13	11,08	10,99
	53	9,9747	57,06	19,18	4,58	5,01	11,0913	6,4951	61,00	1,9900	13,98	9,59	24,29	11,19	11,37
	54	9,9534	57,03	19,18	4,54	4,97	11,0605	6,4838	58,00	2,0028	14,78	9,73	24,19	11,12	10,99
	55	9,9896	57,18	19,25	4,52	4,97	11,1108	6,5040	54,00	2,0092	14,03	9,56	24,34	11,22	10,31
	56	9,9618	57,15	19,20	4,56	5,00	11,0687	6,4867	-	1,9919	13,45	9,67	24,16	11,11	-
	57	9,9954	57,10	19,19	4,53	4,96	11,0978	6,5063	-	2,0133	13,93	9,61	24,01	11,03	-
	58	9,9919	57,16	19,20	4,62	5,07	11,1054	6,5085	-	1,9691	12,83	9,53	24,22	11,14	-
59	9,9568	57,14	19,22	4,62	5,08	11,0654	6,4930	-	1,9619	12,93	9,68	24,25	11,13	-	
60	9,9869	57,11	19,18	4,54	4,98	11,0775	6,5029	-	2,0070	13,51	9,79	23,84	10,92	-	
LEGENDA															
Ppq = peso pós-queima (g)				Pi = peso imerso (g)				Retr Q = retração na queima (%)				AA = absorção de água (%)			
Vpq = volume pós-queima (cm3)				Vps = volume pós-secagem (cm3)				Perda P = perda peso na queima (%)				RF = resistência a flexão (MPa)			
Pu = peso úmido (g)				Dens PQ = densidade pós-queima (g/cm3)				Poros Ap = porosidade aparente (%)							

## **APÊNDICE 2 – DADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA.**

Aqui encontra-se discriminado na forma de Tabelas, todas os valores fornecidos pelo programa computacional que executou a análise estatística dos dados experimentais, e que foi previamente apresentada no item 3.6 da metodologia.

## Apêndice 2

Tabela A 25 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,88855	1,8883
B	10	1,92247	1,92705
C	10	1,92433	1,9228
D	10	1,99551	1,99455

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,88849	0,000260529	0,0161409	0,00510421
B	1,92237	0,000420731	0,0205117	0,00648638
C	1,9243	0,000144529	0,012022	0,0038017
D	1,99542	0,000402608	0,0200651	0,00634514

Tabela A 26 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,88526	1,88355
B	10	1,92809	1,9306
C	10	1,93004	1,93055
D	10	1,97786	1,9731

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,88518	0,00033792	0,0183826	0,00581309
B	1,92806	0,000125352	0,0111961	0,00354051
C	1,93	0,000187856	0,0137061	0,00433424
D	1,97776	0,000447787	0,021161	0,00669169

Tabela A 27 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,8184	1,81775
B	10	1,85876	1,86125
C	10	1,87682	1,8762
D	10	1,91853	1,9242

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,81831	0,000374042	0,0193402	0,0061159
B	1,85867	0,000351318	0,0187435	0,00592721
C	1,87678	0,000186508	0,0136568	0,00431866
D	1,91843	0,000406247	0,0201556	0,00637375

## Apêndice 2

Tabela A 28 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,85388	1,84605
B	10	1,87353	1,8693
C	10	1,88846	1,8915
D	10	1,92168	1,92245

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,85379	0,000376493	0,0194034	0,0061359
B	1,87345	0,000316378	0,017787	0,00562475
C	1,88844	0,0000771893	0,00878575	0,0027783
D	1,92165	0,000125471	0,0112014	0,00354218

Tabela A 29 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,94348	1,94485
B	10	1,99565	1,99795
C	10	1,97462	1,9739
D	10	2,01735	2,0228

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,94339	0,000407948	0,0201977	0,00638708
B	1,9956	0,000225154	0,0150051	0,00474504
C	1,97455	0,0003088	0,0175727	0,00555697
D	2,01729	0,000266414	0,0163222	0,00516153

Tabela A 30 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-compactação das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,95318	1,95605
B	10	1,97631	1,97575
C	10	1,96603	1,96895
D	10	2,01229	2,01465

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,95315	0,00014904	0,0122082	0,00386056
B	1,97627	0,000194061	0,0139306	0,00440524
C	1,966	0,000142729	0,0119469	0,00377795
D	2,01226	0,000154181	0,012417	0,00392659

## Apêndice 2

Tabela A 31 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	1,80181	1,8042	
B	10	1,83728	1,83525	
C	10	1,84147	1,8384	
D	10	1,8997	1,9025	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,80177	0,000175121	0,0132333	0,00418475
B	1,83725	0,000138022	0,0117483	0,00371513
C	1,84138	0,0003778	0,0194371	0,00614654
D	1,89965	0,000221344	0,0148776	0,00470473

Tabela A 32 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	1,79137	1,78655	
B	10	1,82489	1,82875	
C	10	1,8396	1,84075	
D	10	1,8789	1,881	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,79121	0,000623391	0,0249678	0,00789551
B	1,82487	0,0000773077	0,00879248	0,00278043
C	1,83959	0,0000447622	0,00669046	0,00211571
D	1,87872	0,000754767	0,027473	0,00868773

Tabela A 33 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	1,76454	1,75815	
B	10	1,76205	1,76095	
C	10	1,80206	1,8002	
D	10	1,82062	1,81925	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,76443	0,000437043	0,0209056	0,00661092
B	1,76197	0,000320434	0,0179007	0,00566069
C	1,80204	0,0000896671	0,00946927	0,00299445
D	1,8206	0,000066024	0,00812552	0,00256951

## Apêndice 2

Tabela A 34 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,75563	1,7485
B	10	1,78816	1,78495
C	10	1,81762	1,8169
D	10	1,82289	1,8242

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,75555	0,000329385	0,018149	0,0057392
B	1,78813	0,000110194	0,0104973	0,00331954
C	1,81757	0,000211517	0,0145436	0,0045991
D	1,82288	0,0000303632	0,00551028	0,0017425

Tabela A 35 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,79833	1,7963
B	10	1,85604	1,8571
C	10	1,86202	1,86115
D	10	1,89825	1,8995

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,7982	0,000534531	0,0231199	0,00731116
B	1,85602	0,000102227	0,0101107	0,0031973
C	1,86195	0,000288811	0,0169944	0,00537411
D	1,89823	0,0000748339	0,00865066	0,00273558

Tabela A 36 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-secagem das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,82551	1,82465
B	10	1,84387	1,84785
C	10	1,85936	1,8578
D	10	1,90576	1,9088

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,82549	0,0000853899	0,00924066	0,00292215
B	1,8438	0,000271498	0,0164772	0,00521055
C	1,85932	0,000161994	0,0127277	0,00402485
D	1,90573	0,000139969	0,0118309	0,00374125

## Apêndice 2

Tabela A 37 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	0,326	0,325
B	10	0,25	0,24
C	10	0,181	0,185
D	10	0,148	0,14

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	0,324222	0,00120444	0,0347051	0,0109747
B	0,248095	0,00115556	0,0339935	0,0107497
C	0,177918	0,00123222	0,035103	0,0111006
D	0,145376	0,000951111	0,0308401	0,00975249

Tabela A 38 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	0,223	0,225
B	10	0,207	0,22
C	10	0,142	0,14
D	10	0,125	0,13

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	0,220242	0,00124556	0,0352924	0,0111604
B	0,199662	0,00242333	0,0492274	0,0155671
C	0,140183	0,000551111	0,0234758	0,00742369
D	0,122536	0,000627778	0,0250555	0,00792324

Tabela A 39 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	0,256	0,235
B	10	0,113	0,095
C	10	0,25	0,235
D	10	0,299	0,315

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	0,248835	0,00471556	0,0686699	0,0217153
B	0,103349	0,00324556	0,0569698	0,0180154
C	0,24416	0,0034	0,0583095	0,0184391
D	0,292748	0,00354333	0,0595259	0,0188237

## Apêndice 2

Tabela A 40 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	0,075	0,07
B	10	0,16	0,14
C	10	0,228	0,22
D	10	0,257	0,265

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A		0,00747222	0,086442	0,0273354
B	0,154935	0,00193333	0,0439697	0,0139044
C	0,222172	0,00299556	0,0547317	0,0173077
D	0,254879	0,00120111	0,034657	0,0109595

Tabela A 41 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	0,337	0,33
B	10	0,263	0,235
C	10	0,142	0,16
D	10	0,15	0,17

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	0,332947	0,00284556	0,0533437	0,0168688
B	0,25473	0,00524556	0,0724262	0,0229032
C	0,125226	0,00317333	0,0563323	0,0178139
D		0,00466667	0,068313	0,0216025

Tabela A 42 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de secagem das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	0,246	0,25
B	10	0,204	0,23
C	10	0,133	0,145
D	10	0,194	0,195

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	0,240716	0,00244889	0,0494862	0,0156489
B	0,192932	0,00347111	0,0589161	0,0186309
C	0,125417	0,00197889	0,0444847	0,0140673
D	0,193145	0,000337778	0,0183787	0,00581187

## Apêndice 2

Tabela A 43 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	5,80096	5,80995	
B	10	5,90266	5,9507	
C	10	5,29522	5,2939	
D	10	6,14082	6,2081	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	5,80087	0,00109263	0,0330549	0,0104529
B	5,8999	0,0348316	0,186632	0,0590183
C	5,29206	0,0364535	0,190928	0,0603768
D	6,13242	0,112468	0,335362	0,106051

Tabela A 44 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	5,96692	5,9619	
B	10	6,12638	6,12235	
C	10	5,18997	5,2066	
D	10	5,9221	5,94685	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	5,96674	0,00233972	0,0483707	0,0152961
B	6,12589	0,00665931	0,0816046	0,0258056
C	5,18896	0,0116	0,107703	0,0340588
D	5,92	0,0273411	0,165351	0,0522887

Tabela A 45 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	4,87724	4,91305	
B	10	5,84984	5,91575	
C	10	6,37372	6,35185	
D	10	6,36087	6,3944	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	4,87565	0,0169395	0,130152	0,0411577
B	5,84751	0,0295894	0,172016	0,0543962
C	6,36952	0,0616518	0,248298	0,0785186
D	6,3599	0,0134207	0,115848	0,0366343

## Apêndice 2

Tabela A 46 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	5,37044	5,36615	
B	10	5,97161	6,0361	
C	10	6,27787	6,28055	
D	10	5,91302	5,9399	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	5,36973	0,00849059	0,0921444	0,0291386
B	5,96899	0,0340518	0,184531	0,0583539
C	6,27613	0,0242756	0,155806	0,0492703
D	5,91188	0,0148437	0,121835	0,0385275

Tabela A 47 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	7,4015	7,40685	
B	10	7,53309	7,5473	
C	10	6,24032	6,2178	
D	10	6,8737	6,9055	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	7,40102	0,00780957	0,0883718	0,0279456
B	7,5328	0,0048638	0,0697409	0,022054
C	6,23919	0,0157618	0,125546	0,0397012
D	6,87335	0,00536208	0,0732262	0,0231562

Tabela A 48 - Resumo dos dados estatísticos para a teor de umidade das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	7,26063	7,27575	
B	10	7,18938	7,24025	
C	10	6,01374	6,0272	
D	10	6,5589	6,58815	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	7,25995	0,0108767	0,104291	0,0329798
B	7,18827	0,0175512	0,132481	0,0418941
C	6,01112	0,0349371	0,186915	0,0591076
D	6,55752	0,0195985	0,139995	0,0442702

## Apêndice 2

Tabela A 49 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,70199	1,70335
B	10	1,69485	1,69795
C	10	1,72424	1,72375
D	10	1,76044	1,75795

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,70194	0,000178554	0,0133624	0,00422557
B	1,69481	0,000158516	0,0125903	0,00398141
C	1,72421	0,000125645	0,0112091	0,00354464
D	1,76039	0,000214543	0,0146473	0,00463188

Tabela A 50 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,68149	1,6817
B	10	1,71561	1,71845
C	10	1,72377	1,7249
D	10	1,73884	1,7404

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,68142	0,000276383	0,0166248	0,00525722
B	1,71559	0,0000725521	0,00851775	0,00269355
C	1,72374	0,000129276	0,0113699	0,00359549
D	1,73881	0,000115372	0,0107411	0,00339664

Tabela A 51 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,7246	1,72475
B	10	1,73653	1,73495
C	10	1,77245	1,78225
D	10	1,79228	1,79625

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,7245	0,00039624	0,0199058	0,00629476
B	1,73651	0,0000860446	0,00927602	0,00293334
C	1,77238	0,000280167	0,0167382	0,00529308
D	1,79221	0,000293175	0,0171224	0,00541456

## Apêndice 2

Tabela A 52 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	1,73874	1,7389	
B	10	1,75782	1,75605	
C	10	1,7784	1,7708	
D	10	1,79085	1,79375	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,73867	0,000274747	0,0165755	0,00524163
B	1,75779	0,000104086	0,0102023	0,00322624
C	1,77832	0,000333776	0,0182695	0,00577733
D	1,79081	0,000168349	0,012975	0,00410304

Tabela A 53 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	1,91623	1,91125	
B	10	1,94839	1,9526	
C	10	1,96235	1,96455	
D	10	1,9876	1,9851	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,91614	0,000370565	0,0192501	0,0060874
B	1,94836	0,000126254	0,0112363	0,00355323
C	1,96229	0,000247581	0,0157347	0,00497575
D	1,98758	0,0000910467	0,00954184	0,00301739

Tabela A 54 - Resumo dos dados estatísticos para a densidade pós-queima das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	1,93842	1,93975	
B	10	1,95933	1,9607	
C	10	1,96569	1,9648	
D	10	1,995	2,0013	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,93835	0,00029644	0,0172174	0,00544463
B	1,9593	0,00013516	0,0116258	0,00367641
C	1,96562	0,000307068	0,0175233	0,00554137
D	1,99493	0,00029616	0,0172093	0,00544206

## Apêndice 2

Tabela A 55 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,743	1,73
B	10	1,505	1,5
C	10	1,514	1,51
D	10	1,411	1,41

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,74214	0,00331222	0,0575519	0,0181995
B	1,50456	0,00147222	0,0383695	0,0121335
C	1,51381	0,000626667	0,0250333	0,00791623
D	1,41077	0,000721111	0,0268535	0,00849183

Tabela A 56 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	1,797	1,805
B	10	1,534	1,53
C	10	1,475	1,475
D	10	1,49	1,495

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	1,79624	0,00302333	0,0549848	0,0173877
B	1,53365	0,00120444	0,0347051	0,0109747
C	1,47439	0,00200556	0,0447834	0,0141618
D	1,48976	0,0008	0,0282843	0,00894427

Tabela A 57 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	3,057	3,065
B	10	2,883	2,875
C	10	2,887	2,865
D	10	2,865	2,88

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	3,05636	0,00435667	0,0660051	0,0208726
B	2,88201	0,00640111	0,0800069	0,0253004
C	2,88648	0,00335667	0,0579367	0,0183212
D	2,86457	0,00267222	0,0516935	0,0163469

## Apêndice 2

Tabela A 58 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	3,294	3,265	
B	10	3,179	3,175	
C	10	3,213	3,21	3,11
D	10	3,241	3,23	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	3,29294	0,00789333	0,0888444	0,0280951
B	3,17856	0,00312111	0,0558669	0,0176667
C	3,21213	0,00622333	0,0788881	0,0249466
D	3,23991	0,00785444	0,0886253	0,0280258

Tabela A 59 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	5,682	5,7	
B	10	5,17	5,165	
C	10	4,982	4,99	
D	10	4,822	4,795	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	5,68128	0,00912889	0,0955452	0,0302141
B	5,1697	0,00342222	0,0584998	0,0184992
C	4,98166	0,00375111	0,0612463	0,0193678
D	4,82143	0,00610667	0,0781452	0,0247117

Tabela A 60 - Resumo dos dados estatísticos para a retração de queima das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana	
A	10	5,704	5,85	
B	10	5,326	5,35	
C	10	5,04	5,035	
D	10	4,898	4,89	
Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	5,67541	0,304249	0,551588	0,174427
B	5,32556	0,00524889	0,0724492	0,0229105
C	5,03935	0,00742222	0,0861523	0,0272438
D	4,89706	0,01024	0,101193	0,032

## Apêndice 2

Tabela A 61 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras

submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	10,704	10,7
B	10	10,192	10,19
C	10	9,739	9,73
D	10	9,325	9,31

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	10,704	0,000737778	0,0271621	0,0085894
B	10,1919	0,00286222	0,0534997	0,0169181
C	9,73893	0,00154333	0,0392853	0,0124231
D	9,32005	0,102761	0,320564	0,101371

Tabela A 62 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras

submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	10,528	10,535
B	10	10,072	10,075
C	10	9,795	9,78
D	10	9,582	9,595

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	10,5279	0,00308444	0,0555378	0,0175626
B	10,0719	0,00328444	0,0573101	0,018123
C	9,79468	0,00698333	0,0835663	0,026426
D	9,58122	0,0167289	0,12934	0,040901

Tabela A 63 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras

submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	11,326	11,315
B	10	10,352	10,335
C	10	9,458	9,435
D	10	9,582	9,585

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	11,3259	0,00271556	0,052111	0,0164789
B	10,3516	0,00812889	0,0901604	0,0285112
C	9,45766	0,00719556	0,0848266	0,0268245
D	9,58185	0,00317333	0,0563323	0,0178139

## Apêndice 2

Tabela A 64 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	11,305	11,29
B	10	10,116	10,1
C	10	9,674	9,65
D	10	9,739	9,72

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	11,3048	0,00516111	0,0718409	0,0227181
B	10,1151	0,0203822	0,142766	0,0451467
C	9,67375	0,00551556	0,0742668	0,0234852
D	9,73879	0,00465444	0,0682235	0,0215742

Tabela A 65 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	10,873	10,87
B	10	10,057	10,06
C	10	9,794	9,795
D	10	9,628	9,62

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	10,8729	0,00122333	0,0349762	0,0110604
B	10,0569	0,00126778	0,0356059	0,0112596
C	9,79393	0,00160444	0,0400555	0,0126667
D	9,62786	0,00295111	0,0543241	0,0171788

Tabela A 66 - Resumo dos dados estatísticos para a perda de peso das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	10,854	10,84
B	10	10,159	10,17
C	10	9,859	9,86
D	10	9,653	9,66

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	10,854	0,000937778	0,0306232	0,00968389
B	10,159	0,000987778	0,0314289	0,0099387
C	9,85891	0,00201	0,044833	0,0141774
D	9,65269	0,00664556	0,0815203	0,025779

## Apêndice 2

Tabela A 67 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	37,177	37,29
B	10	37,289	37,12
C	10	36,563	36,57
D	10	34,736	34,74

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	37,1649	0,996223	0,99811	0,31563
B	37,2818	0,600788	0,775105	0,24511
C	36,5565	0,52889	0,727248	0,229976
D	34,7356	0,0281822	0,167876	0,0530869

Tabela A 68 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	37,863	38,135
B	10	36,813	36,74
C	10	36,796	37,215
D	10	35,445	35,265

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	37,846	1,42776	1,19489	0,377857
B	36,8074	0,458868	0,677398	0,214212
C	36,7786	1,40427	1,18502	0,374736
D	35,4385	0,515317	0,717856	0,227006

Tabela A 69 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	35,263	34,99
B	10	35,924	36,11
C	10	34,048	34,155
D	10	33,689	33,44

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	35,2466	1,30698	1,14323	0,361522
B	35,9142	0,775271	0,880495	0,278437
C	34,023	1,88728	1,37378	0,434429
D	33,679	0,747699	0,864696	0,273441

## Apêndice 2

Tabela A 70 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	35,504	35,335
B	10	33,589	33,265
C	10	32,384	32,51
D	10	32,24	32,76

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	35,4961	0,629493	0,793406	0,250897
B	33,5754	1,0331	1,01641	0,321419
C	32,3795	0,318071	0,563978	0,178345
D	32,2138	1,86547	1,36582	0,43191

Tabela A 71 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	25,315	25,46
B	10	24,814	24,86
C	10	24,932	24,97
D	10	24,259	24,235

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	25,3018	0,733894	0,856676	0,270905
B	24,8123	0,0950711	0,308336	0,0975044
C	24,931	0,0540178	0,232417	0,0734968
D	24,2584	0,0325211	0,180336	0,0570273

Tabela A 72 - Resumo dos dados estatísticos para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	24,233	24,2
B	10	25,169	25,12
C	10	24,789	24,7
D	10	24,154	24,175

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	24,2323	0,0393789	0,198441	0,0627526
B	25,1626	0,356677	0,597224	0,188859
C	24,7861	0,161099	0,401371	0,126925
D	24,1536	0,0210933	0,145235	0,0459275

## Apêndice 2

Tabela A 73 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	21,242	21,35
B	10	20,919	20,76
C	10	20,102	20,115
D	10	18,368	18,37

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	21,2249	0,800662	0,894797	0,28296
B	20,9084	0,495366	0,703822	0,222568
C	20,0932	0,390396	0,624816	0,197584
D	18,3675	0,0201067	0,141798	0,0448405

Tabela A 74 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	21,857	22,09
B	10	20,491	20,42
C	10	20,301	20,64
D	10	18,947	18,795

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	21,8313	1,243	1,1149	0,352562
B	20,4831	0,35941	0,599508	0,189581
C	20,2767	1,07117	1,03497	0,327287
D	18,9383	0,370134	0,608387	0,192389

Tabela A 75 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	19,457	19,215
B	10	19,674	19,835
C	10	17,967	18,035
D	10	17,524	17,32

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	19,4349	0,978246	0,989063	0,312769
B	19,661	0,561649	0,749432	0,236991
C	17,9364	1,21498	1,10226	0,348565
D	17,5122	0,459804	0,678089	0,214431

## Apêndice 2

Tabela A 76 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	19,678	19,525
B	10	17,763	17,49
C	10	16,67	16,77
D	10	16,428	16,805

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	19,6672	0,480418	0,693122	0,219184
B	17,7461	0,686312	0,82844	0,261976
C	16,6649	0,187378	0,432872	0,136886
D	16,3989	1,05255	1,02594	0,32443

Tabela A 77 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	12,183	12,26
B	10	11,692	11,735
C	10	11,696	11,715
D	10	11,169	11,145

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	12,1718	0,298868	0,546688	0,172878
B	11,6906	0,03584	0,189315	0,0598665
C	11,6952	0,01976	0,14057	0,0444522
D	11,1685	0,0116989	0,108161	0,0342036

Tabela A 78 - Resumo dos dados estatísticos para a absorção de água das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	10	11,51	11,49
B	10	11,936	11,89
C	10	11,609	11,545
D	10	11,102	11,115

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	11,5093	0,0173556	0,13174	0,04166
B	11,9308	0,138027	0,371519	0,117485
C	11,6067	0,0602767	0,245513	0,077638
D	11,1017	0,00706222	0,084037	0,0265748

## Apêndice 2

Tabela A 79 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	5	3,50898	3,39987
B	5	2,63916	2,5137
C	5	3,22385	3,21655
D	5	4,24054	4,20655

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	3,48303	0,220616	0,469698	0,210055
B	2,62336	0,106174	0,325844	0,145722
C	3,22353	0,00262289	0,0512142	0,0229037
D	4,21971	0,222502	0,471702	0,210951

Tabela A 80 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	5	2,79163	2,98277
B	5	3,18721	3,16327
C	5	3,1345	2,90388
D	5	3,47945	3,47141

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	2,7618	0,195958	0,442671	0,197968
B	3,17426	0,107823	0,328365	0,146849
C	3,08961	0,361081	0,6009	0,268731
D	3,46403	0,131359	0,362435	0,162086

Tabela A 81 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	5	3,59026	3,61158
B	5	3,37602	3,61097
C	5	4,11384	4,12154
D	5	4,5036	4,53002

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	3,55787	0,277616	0,526892	0,235633
B	3,32623	0,373374	0,611043	0,273267
C	4,08177	0,319163	0,564945	0,252651
D	4,483	0,228754	0,478283	0,213895

## Apêndice 2

Tabela A 82 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	5	4,29046	4,48365
B	5	4,40329	4,562
C	5	4,58675	4,81804
D	5	5,14618	5,31158

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	4,25026	0,407847	0,638629	0,285604
B	4,39463	0,0932415	0,305355	0,136559
C	4,57179	0,165561	0,406892	0,181968
D	5,09025	0,637329	0,798329	0,357024

Tabela A 83 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	5	9,23463	9,34476
B	5	10,0102	10,0667
C	5	8,59498	8,56058
D	5	9,28542	9,09517

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	9,21373	0,464901	0,681836	0,304926
B	9,99412	0,398732	0,631452	0,282394
C	8,5861	0,196481	0,443262	0,198233
D	9,27081	0,352634	0,59383	0,265569

Tabela A 84 - Resumo dos dados estatísticos para a resistência à flexão das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostras	Média	Mediana
A	5	10,6773	10,8214
B	5	9,23668	9,44004
C	5	9,07062	9,16644
D	5	10,7851	10,9873

Composição	Média Geométrica	Variância	Desvio Padrão	Erro Padrão
A	10,6504	0,707584	0,84118	0,376187
B	9,22651	0,232266	0,48194	0,21553
C	9,05806	0,277139	0,52644	0,235431
D	10,7765	0,231414	0,481055	0,215134

## Apêndice 2

Tabela A 85 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0606903	3	0,0202301	65,87	0,0000
Dentro grupos	0,0110556	36	0,000307099		

Tabela A 86 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0429551	3	0,0143184	52,12	0,0000
Dentro grupos	0,00989024	36	0,000274729		

Tabela A 87 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0517655	3	0,0172552	52,36	0,0000
Dentro grupos	0,011863	36	0,000329529		

Tabela A 88 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0245591	3	0,00818636	36,57	0,0000
Dentro grupos	0,00805978	36	0,000223883		

Tabela A 89 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,029718	3	0,00990599	32,79	0,0000
Dentro grupos	0,0108748	36	0,000302079		

## Apêndice 2

Tabela A 90 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0193358	3	0,00644528	40,28	0,0000
Dentro grupos	0,0057601	36	0,000160003		

Tabela A 91 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0492951	3	0,0164317	72,05	0,0000
Dentro grupos	0,00821059	36	0,000228072		

Tabela A 92 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0394729	3	0,0131576	35,08	0,0000
Dentro grupos	0,013502	36	0,000375057		

Tabela A 93 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0248366	3	0,00827886	36,26	0,0000
Dentro grupos	0,00821851	36	0,000228292		

Tabela A 94 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0288168	3	0,00960559	56,38	0,0000
Dentro grupos	0,00613313	36	0,000170365		

## Apêndice 2

Tabela A 95 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0512523	3	0,0170841	68,31	0,0000
Dentro grupos	0,00900363	36	0,000250101		

Tabela A 96 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0353656	3	0,0117885	71,57	0,0000
Dentro grupos	0,00592966	36	0,000164713		

Tabela A 97 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,186848	3	0,0622825	54,83	0,0000
Dentro grupos	0,04089	36	0,00113583		

Tabela A 98 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0691475	3	0,0230492	19,02	0,0000
Dentro grupos	0,04363	36	0,00121194		

Tabela A 99 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,19525	3	0,0650833	17,47	0,0000
Dentro grupos	0,13414	36	0,00372611		

## Apêndice 2

Tabela A 100 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,19658	3	0,0655267	19,27	0,0000
Dentro grupos	0,12242	36	0,00340056		

Tabela A 101 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,26486	3	0,0882867	22,17	0,0000
Dentro grupos	0,14338	36	0,00398278		

Tabela A 102 - Resultados da análise da variância para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0652475	3	0,0217492	10,56	0,0000
Dentro grupos	0,07413	36	0,00205917		

Tabela A 103 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	3,80591	3	1,26864	27,45	0,0000
Dentro grupos	1,66361	36	0,0462114		

Tabela A 104 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	5,21424	3	1,73808	145,02	0,0000
Dentro grupos	0,431461	36	0,011985		

## Apêndice 2

Tabela A 105 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	14,8058	3	4,93527	162,34	0,0000
Dentro grupos	1,09441	36	0,0304004		

Tabela A 106 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	4,27393	3	1,42464	69,78	0,0000
Dentro grupos	0,734956	36	0,0204154		

Tabela A 107 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	10,3786	3	3,45954	409,45	0,0000
Dentro grupos	0,304176	36	0,00844932		

Tabela A 108 - Resultados da análise da variância para a umidade das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	10,3227	3	3,44089	165,90	0,0000
Dentro grupos	0,746671	36	0,0207409		

Tabela A 109 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0260968	3	0,00869892	51,38	0,0000
Dentro grupos	0,00609532	36	0,000169315		

## Apêndice 2

Tabela A 110 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0176853	3	0,0058951	39,73	0,0000
Dentro grupos	0,00534224	36	0,000148396		

Tabela A 111 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0295102	3	0,00983672	37,27	0,0000
Dentro grupos	0,00950064	36	0,000263907		

Tabela A 112 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0158048	3	0,00526828	23,92	0,0000
Dentro grupos	0,00792863	36	0,00022024		

Tabela A 113 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0265622	3	0,00885405	42,39	0,0000
Dentro grupos	0,00751901	36	0,000208862		

Tabela A 114 - Resultados da análise da variância para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0163851	3	0,00546171	21,11	0,0000
Dentro grupos	0,00931345	36	0,000258707		

## Apêndice 2

Tabela A 115 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,597087	3	0,199029	129,83	0,0000
Dentro grupos	0,05519	36	0,00153306		

Tabela A 116 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,68186	3	0,227287	129,26	0,0000
Dentro grupos	0,0633	36	0,00175833		

Tabela A 117 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,24216	3	0,08072	19,23	0,0000
Dentro grupos	0,15108	36	0,00419667		

Tabela A 118 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	0,0709475	3	0,0236492	3,77	0,0188
Dentro grupos	0,22583	36	0,00627306		

Tabela A 119 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	4,18448	3	1,39483	248,98	0,0000
Dentro grupos	0,20168	36	0,00560222		

## Apêndice 2

Tabela A 120 - Resultados da análise da variância para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	3,7964	3	1,26547	15,47	0,0000
Dentro grupos	2,94444	36	0,08179		

Tabela A 121 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	10,5583	3	3,51942	130,46	0,0000
Dentro grupos	0,97114	36	0,0269761		

Tabela A 122 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	5,00585	3	1,66862	221,88	0,0000
Dentro grupos	0,27073	36	0,00752028		

Tabela A 123 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	22,2179	3	7,40596	1396,47	0,0000
Dentro grupos	0,19092	36	0,00530333		

Tabela A 124 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	17,1699	3	5,7233	641,03	0,0000
Dentro grupos	0,32142	36	0,00892833		

## Apêndice 2

Tabela A 125 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	9,15222	3	3,05074	1731,74	0,0000
Dentro grupos	0,06342	36	0,00176167		

Tabela A 126 - Resultados da análise da variância para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	8,25981	3	2,75327	1040,82	0,0000
Dentro grupos	0,09523	36	0,00264528		

Tabela A 127 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	41,8271	3	13,9424	25,89	0,0000
Dentro grupos	19,3867	36	0,538521		

Tabela A 128 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	29,4616	3	9,82052	10,32	0,0000
Dentro grupos	34,2559	36	0,951553		

Tabela A 129 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	32,5853	3	10,8618	9,21	0,0001
Dentro grupos	42,4551	36	1,17931		

## Apêndice 2

Tabela A 130 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	68,3697	3	22,7899	23,70	0,0000
Dentro grupos	34,6152	36	0,961533		

Tabela A 131 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	5,71926	3	1,90642	8,33	0,0002
Dentro grupos	8,23954	36	0,228876		

Tabela A 132 - Resultados da análise da variância para a porosidade aparente das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	6,92331	3	2,30777	15,96	0,0000
Dentro grupos	5,20423	36	0,144562		

Tabela A 133 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	49,6141	3	16,538	38,76	0,0000
Dentro grupos	15,3588	36	0,426633		

Tabela A 134 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	42,5214	3	14,1738	18,63	0,0000
Dentro grupos	27,3934	36	0,760928		

## Apêndice 2

Tabela A 135 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	34,3407	3	11,4469	14,24	0,0000
Dentro grupos	28,9321	36	0,803669		

Tabela A 136 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	65,7831	3	21,9277	36,45	0,0000
Dentro grupos	21,6599	36	0,601665		

Tabela A 137 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	5,1443	3	1,71477	18,73	0,0000
Dentro grupos	3,2955	36	0,0915417		

Tabela A 138 - Resultados da análise da variância para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	3,54319	3	1,18106	21,21	0,0000
Dentro grupos	2,00449	36	0,0556803		

Tabela A 139 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	6,64123	3	2,21374	16,04	0,0000
Dentro grupos	2,20766	16	0,137979		

## Apêndice 2

Tabela A 140 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	1,19287	3	0,397624	2,00	0,1550
Dentro grupos	3,18488	16	0,199055		

Tabela A 141 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	3,90241	3	1,3008	4,34	0,0203
Dentro grupos	4,79563	16	0,299727		

Tabela A 142 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	2,1641	3	0,721367	2,21	0,1262
Dentro grupos	5,21592	16	0,325995		

Tabela A 143 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	5,02248	3	1,67416	4,74	0,0150
Dentro grupos	5,65099	16	0,353187		

Tabela A 144 - Resultados da análise da variância para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Fonte	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Entre os grupos	12,5415	3	4,18049	11,55	0,0003
Dentro grupos	5,79361	16	0,362101		

## Apêndice 2

Tabela A 145 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,88855	X
B	10	1,92247	X
C	10	1,92433	X
D	10	1,99551	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*-0,03392 0,0158944
A - C			*-0,03578 0,0158944
A - D			*-0,10696 0,0158944
B - C			-0,00186 0,0158944
B - D			*-0,07304 0,0158944
C - D			*-0,07118 0,0158944

Tabela A 146 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,88526	X
B	10	1,92809	X
C	10	1,93004	X
D	10	1,97786	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*-0,04283 0,0150334
A - C			*-0,04478 0,0150334
A - D			*-0,0926 0,0150334
B - C			-0,00195 0,0150334
B - D			*-0,04977 0,0150334
C - D			*-0,04782 0,0150334

Tabela A 147 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,8184	X
B	10	1,85876	X
C	10	1,87682	X
D	10	1,91853	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*-0,04036 0,0164646
A - C			*-0,05842 0,0164646
A - D			*-0,10013 0,0164646
B - C			*-0,01806 0,0164646
B - D			*-0,05977 0,0164646
C - D			*-0,04171 0,0164646

## Apêndice 2

Tabela A 148 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,85388	X
B	10	1,87353	X
C	10	1,88846	X
D	10	1,92168	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,01965
A - C			*-0,03458
A - D			*-0,0678
B - C			*-0,01493
B - D			*-0,04815
C - D			*-0,03322

Tabela A 149 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,94348	X
C	10	1,97462	X
B	10	1,99565	X
D	10	2,01735	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,05217
A - C			*-0,03114
A - D			*-0,07387
B - C			*0,02103
B - D			*-0,0217
C - D			*-0,04273

Tabela A 150 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-compactação das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,95318	X
C	10	1,96603	X
B	10	1,97631	X
D	10	2,01229	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,02313
A - C			*-0,01285
A - D			*-0,05911
B - C			0,01028
B - D			*-0,03598
C - D			*-0,04626

## Apêndice 2

Tabela A 151 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,80181	X
B	10	1,83728	X
C	10	1,84147	X
D	10	1,8997	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*-0,03547 0,0136975
A - C			*-0,03966 0,0136975
A - D			*-0,09789 0,0136975
B - C			-0,00419 0,0136975
B - D			*-0,06242 0,0136975
C - D			*-0,05823 0,0136975

Tabela A 152 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,79137	X
B	10	1,82489	X
C	10	1,8396	X
D	10	1,8789	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*-0,03352 0,0175652
A - C			*-0,04823 0,0175652
A - D			*-0,08753 0,0175652
B - C			-0,01471 0,0175652
B - D			*-0,05401 0,0175652
C - D			*-0,0393 0,0175652

Tabela A 153 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
B	10	1,76205	X
A	10	1,76454	X
C	10	1,80206	X
D	10	1,82062	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			0,00249 0,0137041
A - C			*-0,03752 0,0137041
A - D			*-0,05608 0,0137041
B - C			*-0,04001 0,0137041
B - D			*-0,05857 0,0137041
C - D			*-0,01856 0,0137041

## Apêndice 2

Tabela A 154 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,75563	X
B	10	1,78816	X
C	10	1,81762	X
D	10	1,82289	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,03253
A - C			*-0,06199
A - D			*-0,06726
B - C			*-0,02946
B - D			*-0,03473
C - D			-0,00527

Tabela A 155 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,79833	X
B	10	1,85604	X
C	10	1,86202	X
D	10	1,89825	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,05771
A - C			*-0,06369
A - D			*-0,09992
B - C			-0,00598
B - D			*-0,04221
C - D			*-0,03623

Tabela A 156 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,82551	X
B	10	1,84387	X
C	10	1,85936	X
D	10	1,90576	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,01836
A - C			*-0,03385
A - D			*-0,08025
B - C			*-0,01549
B - D			*-0,06189
C - D			*-0,0464

## Apêndice 2

Tabela A 157 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	0,148	X
C	10	0,181	X
B	10	0,25	X
A	10	0,326	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*0,076 0,0305676
A - C			*0,145 0,0305676
A - D			*0,178 0,0305676
B - C			*0,069 0,0305676
B - D			*0,102 0,0305676
C - D			*0,033 0,0305676

Tabela A 158 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	0,125	X
C	10	0,142	X
B	10	0,207	X
A	10	0,223	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			0,016 0,0315751
A - C			*0,081 0,0315751
A - D			*0,098 0,0315751
B - C			*0,065 0,0315751
B - D			*0,082 0,0315751
C - D			0,017 0,0315751

Tabela A 159 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
B	10	0,113	X
C	10	0,25	X
A	10	0,256	X
D	10	0,299	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*0,143 0,0553646
A - C			0,006 0,0553646
A - D			-0,043 0,0553646
B - C			*-0,137 0,0553646
B - D			*-0,186 0,0553646
C - D			-0,049 0,0553646

## Apêndice 2

Tabela A 160 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	0,075	X
B	10	0,16	X
C	10	0,228	X
D	10	0,257	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*-0,085 0,0528906
A - C			*-0,153 0,0528906
A - D			*-0,182 0,0528906
B - C			*-0,068 0,0528906
B - D			*-0,097 0,0528906
C - D			-0,029 0,0528906

Tabela A 161 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
C	10	0,142	X
D	10	0,15	X
B	10	0,263	X
A	10	0,337	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*0,074 0,0572397
A - C			*0,195 0,0572397
A - D			*0,187 0,0572397
B - C			*0,121 0,0572397
B - D			*0,113 0,0572397
C - D			-0,008 0,0572397

Tabela A 162 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de secagem das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
C	10	0,133	X
D	10	0,194	X
B	10	0,204	X
A	10	0,246	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*0,042 0,0411576
A - C			*0,113 0,0411576
A - D			*0,052 0,0411576
B - C			*0,071 0,0411576
B - D			0,01 0,0411576
C - D			*-0,061 0,0411576

## Apêndice 2

Tabela A 163 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
C	10	5,29522	X
A	10	5,80096	X
B	10	5,90266	X
D	10	6,14082	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			-0,1017
A - C			*0,50574
A - D			*-0,33986
B - C			*0,60744
B - D			*-0,23816
C - D			*-0,8456

Tabela A 164 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
C	10	5,18997	X
D	10	5,9221	X
A	10	5,96692	X
B	10	6,12638	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,15946
A - C			*0,77695
A - D			0,04482
B - C			*0,93641
B - D			*0,20428
C - D			*-0,73213

Tabela A 165 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	4,87724	X
B	10	5,84984	X
D	10	6,36087	X
C	10	6,37372	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,9726
A - C			*-1,49648
A - D			*-1,48363
B - C			*-0,52388
B - D			*-0,51103
C - D			0,01285

## Apêndice 2

Tabela A 166 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	5,37044	X
D	10	5,91302	X
B	10	5,97161	X
C	10	6,27787	X

Contraste	Diferença	+/- Limites
A - B	*-0,60117	0,129594
A - C	*-0,90743	0,129594
A - D	*-0,54258	0,129594
B - C	*-0,30626	0,129594
B - D	0,05859	0,129594
C - D	*0,36485	0,129594

Tabela A 167 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
C	10	6,24032	X
D	10	6,8737	X
A	10	7,4015	X
B	10	7,53309	X

Contraste	Diferença	+/- Limites
A - B	*-0,13159	0,083371
A - C	*1,16118	0,083371
A - D	*0,5278	0,083371
B - C	*1,29277	0,083371
B - D	*0,65939	0,083371
C - D	*-0,63338	0,083371

Tabela A 168 - Resultado do “Multiple Range Test” para a umidade das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
C	10	6,01374	X
D	10	6,5589	X
B	10	7,18938	X
A	10	7,26063	X

Contraste	Diferença	+/- Limites
A - B	0,07125	0,130622
A - C	*1,24689	0,130622
A - D	*0,70173	0,130622
B - C	*1,17564	0,130622
B - D	*0,63048	0,130622
C - D	*-0,54516	0,130622

## Apêndice 2

Tabela A 169 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
B	10	1,69485	X
A	10	1,70199	X
C	10	1,72424	X
D	10	1,76044	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			0,00714
A - C			*-0,02225
A - D			*-0,05845
B - C			*-0,02939
B - D			*-0,06559
C - D			*-0,0362

Tabela A 170 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,68149	X
B	10	1,71561	X
C	10	1,72377	X
D	10	1,73884	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,03412
A - C			*-0,04228
A - D			*-0,05735
B - C			-0,00816
B - D			*-0,02323
C - D			*-0,01507

Tabela A 171 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,7246	X
B	10	1,73653	X
C	10	1,77245	X
D	10	1,79228	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			-0,01193
A - C			*-0,04785
A - D			*-0,06768
B - C			*-0,03592
B - D			*-0,05575
C - D			*-0,01983

## Apêndice 2

Tabela A 172 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,73874	X
B	10	1,75782	X
C	10	1,7784	X
D	10	1,79085	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,01908
A - C			*-0,03966
A - D			*-0,05211
B - C			*-0,02058
B - D			*-0,03303
C - D			-0,01245

Tabela A 173 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,91623	X
B	10	1,94839	X
C	10	1,96235	X
D	10	1,9876	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,03216
A - C			*-0,04612
A - D			*-0,07137
B - C			*-0,01396
B - D			*-0,03921
C - D			*-0,02525

Tabela A 174 - Resultado do “Multiple Range Test” para a densidade pós-queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	10	1,93842	X
B	10	1,95933	X
C	10	1,96569	X
D	10	1,995	X
Contraste			Diferença
			+/- Limites
A - B			*-0,02091
A - C			*-0,02727
A - D			*-0,05658
B - C			-0,00636
B - D			*-0,03567
C - D			*-0,02931

## Apêndice 2

Tabela A 175 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	1,411	X
B	10	1,505	X
C	10	1,514	X
A	10	1,743	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*0,238 0,0355126
A - C			*0,229 0,0355126
A - D			*0,332 0,0355126
B - C			-0,009 0,0355126
B - D			*0,094 0,0355126
C - D			*0,103 0,0355126

Tabela A 176 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
C	10	1,475	X
D	10	1,49	X
B	10	1,534	X
A	10	1,797	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*0,263 0,0380325
A - C			*0,322 0,0380325
A - D			*0,307 0,0380325
B - C			*0,059 0,0380325
B - D			*0,044 0,0380325
C - D			-0,015 0,0380325

Tabela A 177 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	2,865	X
B	10	2,883	X
C	10	2,887	X
A	10	3,057	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*0,174 0,0587565
A - C			*0,17 0,0587565
A - D			*0,192 0,0587565
B - C			-0,004 0,0587565
B - D			0,018 0,0587565
C - D			0,022 0,0587565

## Apêndice 2

Tabela A 178 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
B	10	3,179	X
C	10	3,213	X
D	10	3,241	XX
A	10	3,294	X

Contraste	Diferença	+/- Limites
A - B	*0,115	0,0718362
A - C	*0,081	0,0718362
A - D	0,053	0,0718362
B - C	-0,034	0,0718362
B - D	-0,062	0,0718362
C - D	-0,028	0,0718362

Tabela A 179 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	4,822	X
C	10	4,982	X
B	10	5,17	X
A	10	5,682	X

Contraste	Diferença	+/- Limites
A - B	*0,512	0,0678866
A - C	*0,7	0,0678866
A - D	*0,86	0,0678866
B - C	*0,188	0,0678866
B - D	*0,348	0,0678866
C - D	*0,16	0,0678866

Tabela A 180 - Resultado do “Multiple Range Test” para a retração de queima das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	4,898	X
C	10	5,04	X
B	10	5,326	X
A	10	5,704	X

Contraste	Diferença	+/- Limites
A - B	*0,378	0,25939
A - C	*0,664	0,25939
A - D	*0,806	0,25939
B - C	*0,286	0,25939
B - D	*0,428	0,25939
C - D	0,142	0,25939

## Apêndice 2

Tabela A 181 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	9,325	X
C	10	9,739	X
B	10	10,192	X
A	10	10,704	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*0,512 0,148968
A - C			*0,965 0,148968
A - D			*1,379 0,148968
B - C			*0,453 0,148968
B - D			*0,867 0,148968
C - D			*0,414 0,148968

Tabela A 182 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	9,582	X
C	10	9,795	X
B	10	10,072	X
A	10	10,528	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*0,456 0,078654
A - C			*0,733 0,078654
A - D			*0,946 0,078654
B - C			*0,277 0,078654
B - D			*0,49 0,078654
C - D			*0,213 0,078654

Tabela A 183 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
C	10	9,458	X
D	10	9,582	X
B	10	10,352	X
A	10	11,326	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*0,974 0,0660509
A - C			*1,868 0,0660509
A - D			*1,744 0,0660509
B - C			*0,894 0,0660509
B - D			*0,77 0,0660509
C - D			*-0,124 0,0660509

## Apêndice 2

Tabela A 184 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
C	10	9,674	X
D	10	9,739	X
B	10	10,116	X
A	10	11,305	X
Contraste			Diferença
A - B			*1,189
A - C			*1,631
A - D			*1,566
B - C			*0,442
B - D			*0,377
C - D			-0,065

Tabela A 185 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	9,628	X
C	10	9,794	X
B	10	10,057	X
A	10	10,873	X
Contraste			Diferença
A - B			*0,816
A - C			*1,079
A - D			*1,245
B - C			*0,263
B - D			*0,429
C - D			*0,166

Tabela A 186 - Resultado do “Multiple Range Test” para a perda de peso das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	9,653	X
C	10	9,859	X
B	10	10,159	X
A	10	10,854	X
Contraste			Diferença
A - B			*0,695
A - C			*0,995
A - D			*1,201
B - C			*0,3
B - D			*0,506
C - D			*0,206

## Apêndice 2

Tabela A 187 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	34,736	X
C	10	36,563	X
A	10	37,177	XX
B	10	37,289	X
Contraste			Diferença      +/- Limites
A - B			-0,112      0,665588
A - C			0,614      0,665588
A - D			*2,441      0,665588
B - C			*0,726      0,665588
B - D			*2,553      0,665588
C - D			*1,827      0,665588

Tabela A 188 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	35,445	X
C	10	36,796	X
B	10	36,813	X
A	10	37,863	X
Contraste			Diferença      +/- Limites
A - B			*1,05      0,88475
A - C			*1,067      0,88475
A - D			*2,418      0,88475
B - C			0,017      0,88475
B - D			*1,368      0,88475
C - D			*1,351      0,88475

Tabela A 189 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	33,689	X
C	10	34,048	X
A	10	35,263	X
B	10	35,924	X
Contraste			Diferença      +/- Limites
A - B			-0,661      0,984958
A - C			*1,215      0,984958
A - D			*1,574      0,984958
B - C			*1,876      0,984958
B - D			*2,235      0,984958
C - D			0,359      0,984958

## Apêndice 2

Tabela A 190 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	32,24	X
C	10	32,384	X
B	10	33,589	X
A	10	35,504	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*1,915 0,889377
A - C			*3,12 0,889377
A - D			*3,264 0,889377
B - C			*1,205 0,889377
B - D			*1,349 0,889377
C - D			0,144 0,889377

Tabela A 191 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	24,259	X
B	10	24,814	X
C	10	24,932	XX
A	10	25,315	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*0,501 0,433915
A - C			0,383 0,433915
A - D			*1,056 0,433915
B - C			-0,118 0,433915
B - D			*0,555 0,433915
C - D			*0,673 0,433915

Tabela A 192 - Resultado do “Multiple Range Test” para a porosidade aparente das amostras submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	24,154	X
A	10	24,233	X
C	10	24,789	X
B	10	25,169	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*-0,936 0,344851
A - C			*-0,556 0,344851
A - D			0,079 0,344851
B - C			*0,38 0,344851
B - D			*1,015 0,344851
C - D			*0,635 0,344851

## Apêndice 2

Tabela A 193 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	18,368	X
C	10	20,102	X
B	10	20,919	X
A	10	21,242	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			0,323 0,592422
A - C			*1,14 0,592422
A - D			*2,874 0,592422
B - C			*0,817 0,592422
B - D			*2,551 0,592422
C - D			*1,734 0,592422

Tabela A 194 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	18,947	X
C	10	20,301	X
B	10	20,491	X
A	10	21,857	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*1,366 0,791181
A - C			*1,556 0,791181
A - D			*2,91 0,791181
B - C			0,19 0,791181
B - D			*1,544 0,791181
C - D			*1,354 0,791181

Tabela A 195 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	17,524	X
C	10	17,967	X
A	10	19,457	X
B	10	19,674	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			-0,217 0,813098
A - C			*1,49 0,813098
A - D			*1,933 0,813098
B - C			*1,707 0,813098
B - D			*2,15 0,813098
C - D			0,443 0,813098

## Apêndice 2

Tabela A 196 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	16,428	X
C	10	16,67	X
B	10	17,763	X
A	10	19,678	X
Contraste			Diferença      +/- Limites
A - B			*1,915      0,703528
A - C			*3,008      0,703528
A - D			*3,25      0,703528
B - C			*1,093      0,703528
B - D			*1,335      0,703528
C - D			0,242      0,703528

Tabela A 197 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	11,169	X
B	10	11,692	X
C	10	11,696	X
A	10	12,183	X
Contraste			Diferença      +/- Limites
A - B			*0,491      0,274418
A - C			*0,487      0,274418
A - D			*1,014      0,274418
B - C			-0,004      0,274418
B - D			*0,523      0,274418
C - D			*0,527      0,274418

Tabela A 198 - Resultado do “Multiple Range Test” para a absorção de água das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
D	10	11,102	X
A	10	11,51	X
C	10	11,609	X
B	10	11,936	X
Contraste			Diferença      +/- Limites
A - B			*-0,426      0,21402
A - C			-0,099      0,21402
A - D			*0,408      0,21402
B - C			*0,327      0,21402
B - D			*0,834      0,21402
C - D			*0,507      0,21402

## Apêndice 2

Tabela A 199 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
B	5	2,63916	X
C	5	3,22385	X
A	5	3,50898	X
D	5	4,24054	X
Contraste			Diferença      +/- Limites
A - B			*0,869821      0,498028
A - C			0,285129      0,498028
A - D			*-0,731557      0,498028
B - C			*-0,584692      0,498028
B - D			*-1,60138      0,498028
C - D			*-1,01669      0,498028

Tabela A 200 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 900 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	5	2,79163	X
C	5	3,1345	XX
B	5	3,18721	XX
D	5	3,47945	X
Contraste			Diferença      +/- Limites
A - B			-0,395581      0,598183
A - C			-0,342866      0,598183
A - D			*-0,687814      0,598183
B - C			0,0527146      0,598183
B - D			-0,292234      0,598183
C - D			-0,344948      0,598183

Tabela A 201 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
B	5	3,37602	X
A	5	3,59026	XX
C	5	4,11384	XX
D	5	4,5036	X
Contraste			Diferença      +/- Limites
A - B			0,21424      0,734024
A - C			-0,523579      0,734024
A - D			*-0,913336      0,734024
B - C			*-0,737819      0,734024
B - D			*-1,12758      0,734024
C - D			-0,389757      0,734024

## Apêndice 2

Tabela A 202 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1050 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
A	5	4,29046	X
B	5	4,40329	XX
C	5	4,58675	XX
D	5	5,14618	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			-0,112832 0,765513
A - C			-0,296293 0,765513
A - D			*-0,855721 0,765513
B - C			-0,183461 0,765513
B - D			-0,742889 0,765513
C - D			-0,559428 0,765513

Tabela A 203 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 1 hora.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
C	5	8,59498	X
A	5	9,23463	XX
D	5	9,28542	XX
B	5	10,0102	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			-0,775551 0,796801
A - C			0,639649 0,796801
A - D			-0,050783 0,796801
B - C			*1,4152 0,796801
B - D			0,724768 0,796801
C - D			-0,690432 0,796801

Tabela A 204 - Resultado do “Multiple Range Test” para a resistência à flexão das amostras a submetidas a T = 1200 °C, por 2 horas.

Composição	No Amostra	Média	Grupos Homogêneos
C	5	9,07062	X
B	5	9,23668	X
A	5	10,6773	X
D	5	10,7851	X
Contraste			Diferença +/- Limites
A - B			*1,44066 0,806793
A - C			*1,60672 0,806793
A - D			-0,10775 0,806793
B - C			0,166056 0,806793
B - D			*-1,54841 0,806793
C - D			*-1,71446 0,806793

**ANEXO**

## Anexo

Tabela A 205 - Resultado da Análise Granulométrica por Difração de Raios Laser da  
Massa Cerâmica.

MALHAS (TYLER)	ABERTURA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	% EQUIVALENTE	% ACUMULADA ACIMA	% ACUMULADO ABAIXO		
35	(0,355 a 0,425)	3,83	3,83	3,83	96,17		
42	(0,280 a 0,355)	3,79	3,79	7,62	92,38		
48	(0,180 a 0,280)	4,02	4,02	11,64	88,36		
80	(0,150 a 0,180)	4,51	4,51	16,15	83,85		
100	(0,090 a 0,150)	1,39	1,39	17,54	82,46		
170	(0,075 a 0,090)	4,73	4,73	22,27	77,73		
200	(0,063 a 0,075)	2,05	2,05	24,32	75,68		
250	(0,053 a 0,063)	3,87	3,87	28,19	71,81		
270	(0,043 a 0,053)	2,32	2,32	30,51	69,49		
325	(0,036 a 0,043)	2,36	2,36	32,87	67,13		
400	(0,028 a 0,036)	3,91	3,91	36,78	63,22		
500	(0,020 a 0,028)	5,82	5,82	42,60	57,40		
635	(0,010 a 0,020)	12,84	12,84	55,44	44,56		
	(0,006 a 0,010)	9,63	9,63	65,07	34,93		
	(0,003 a 0,006)	13,20	13,20	78,27	21,73		
	(0,001 a 0,003)	13,41	13,41	91,68	8,32		
	(0,000 a 0,001)	8,32	8,32	100,00	0,00		
menor 0,001	0,000	0,00	-	100,00	0,00		
<b>MASSA FINAL (g):</b>		<b>100,00</b>	micrometros				<i>Prof. JM Reis Neto</i> <i>Coord. LAMIR</i>
			Diametro 10%	<b>1,32</b>	Diametro 90%	<b>311,38</b>	
			Diametro 50%	<b>23,36</b>	Diametro médio	<b>75,74</b>	