

CARMEANE EFFTING

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS
CONFORTÁVEIS TERMICAMENTE**

FLORIANÓPOLIS

2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS
CONFORTÁVEIS TERMICAMENTE**

Tese submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

para a obtenção do grau de

DOUTORA EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

CARMEANE EFFTING

Florianópolis, 24 de abril de 2008.

DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS CONFORTÁVEIS TERMICAMENTE

CARMEANE EFFTING

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais na Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Orestes Estevam Alarcon, Dr. – Orientador (EMC/UFSC)

Prof. Saulo Güths, Dr. – Co-Orientador (EMC/UFSC)

Prof.^a Ana Maliska – Dra. – Coordenadora do Curso (EMC/UFSC)

Banca Examinadora:

Prof. Antonio Pedro Novaes de Oliveira, Dr. (ECM/UFSC)

Prof. José de Anchieta Rodrigues, Dr. (UFSCAR)

Prof.^a Marilena Valadares Folgueras, Dra. (UDESC)

Prof. José Antônio Bellini da Cunha Neto, Dr. (EMC/UFSC)

Prof. Jose Octavio Armani Paschoal, Dr. (CCB/IPEN)

E27d

Effting, Carneane,

Desenvolvimento de revestimentos cerâmicos confortáveis termicamente / Carneane Effting; orientado por Orestes Estevam Alarcon e co-orientação de Saulo Gúths . – Florianópolis, 2008. xix, 141 f. ; il. color.; 30 cm

Inclui bibliografia.

Possui anexos e apêndices.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais.

1. Resistência de materiais. 2. Revestimento em Cerâmica. 3. Materiais – Propriedades Térmicas. 4. Materiais – Propriedades Mecânicas. 5. Porosidade. I. Alarcon, Orestes Estevam.II. Gúths, Saulo. III. Título.

CDU 666.3.017

Dedico este trabalho a toda a minha família:
Carme, Leomir, a minha irmã Amábile e ao
meu grande amor Samuel Bernardi.

Ao meu pai (*in memoriam*) que me ensinou o
verdadeiro sentido de “lutar pela vida”.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais pela oportunidade da realização do presente trabalho.

Aos professores Orestes Estevam Alarcon (orientador) e Saulo Güths (co-orientador) pela dedicação, apoio e competência e que tiveram papel fundamental na realização deste trabalho.

Ao funcionário do Rogério Antônio Campos do PGMAT e à funcionária Renata Cristiane Santos da A2D pela ajuda e atenção que me deram durante todo o doutorado.

À professora Marilena Valadares Folgueras, pelo grande auxílio prestado durante as análises de caracterização microestrutural apresentadas neste trabalho, pelas suas idéias e discussões valiosas, ocorridas durante todo o período de nossa convivência.

A CAPES pela bolsa de estudo concedida.

À empresa Gytoku pela doação da massa atomizada e do resíduo de polimento do porcelanato para a fabricação das amostras cerâmicas fabricadas neste trabalho.

A todos os amigos que fiz no LMPT-Laboratório de Meio Porosos e Propriedades Termofísicas, em especial ao amigo Alexandre Dutra Alves pela grande ajuda na realização dos ensaios experimentais e ao amigo Luiz A. Hegele pelas sugestões e explicações sobre a análise de imagens através do programa IMAGO.

À amiga Karoline Bastos Mundstock, pela nossa amizade e convívio durante o curso tanto nas aulas quanto no Laboratório de Química. Como também, pela grande ajuda e auxílio prestado para a fabricação das amostras cerâmicas e outros ensaios realizados neste laboratório.

A todos os professores e colegas doutorandos do Curso de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Páginas
ÍNDICE DE TABELAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
SÍMBOLOS	xv
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xix
1. INTRODUÇÃO	20
1.1 Descrição do problema e justificativa.....	20
1.2 Objetivos.....	23
1.2.1 Objetivo Geral.....	23
1.2.2 Objetivos Específicos.....	23
1.2.3 Estrutura do Trabalho.....	24
2. ESTADO DA ARTE	25
2.1 Pólos Produtores de Revestimentos Cerâmicos Nacionais.....	25
2.2 Revestimento Cerâmico.....	25
2.2.1 Classificação dos produtos de revestimentos cerâmicos.....	27
2.2.2 Resíduos Sólidos gerados pela Indústria Cerâmica.....	27
2.2.3 Processo de Polimento do Porcelanato.....	29
2.2.3.1 Abrasivos utilizados para o polimento de materiais cerâmicos.....	30
2.3 Cerâmicas Porosas.....	32
2.3.1 Métodos para obtenção de Cerâmicas Porosas.....	32
2.3.2 Aplicações de Cerâmicas Porosas.....	32
2.4 Conforto Térmico.....	33
2.4.1 Desconforto Localizado em Pisos Aquecidos ou Resfriados.....	34
2.4.2 Queimaduras causadas pelo Contato da Pele com Superfície Quente.....	35
2.4.3 Contato da Pele com Superfície Fria.....	39
2.5 Propriedades Térmicas.....	40
2.5.1 Massa Específica e Calor Específico.....	41
2.5.2 Difusividade Térmica.....	41
2.5.3 Condutividade Térmica.....	42
2.5.4 Efusividade Térmica.....	43
2.5.5 Resistência de contato das placas cerâmicas.....	47

2.6 Correlações entre microestrutura e propriedades térmicas das cerâmicas porosas.....	48
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	52
3.1 Fabricação das placas cerâmicas porosas utilizando fibras de sílica amorfa.....	53
3.2 Fabricação das placas cerâmicas porosas constituídas de massa cerâmica variando-se a pressão de compactação.....	55
3.3 Fabricação das placas cerâmicas porosas obtidas através da incorporação de resíduo do polimento do porcelanato e mantendo-se a temperatura de queima a 1170°C.....	56
3.4 Fabricação das placas cerâmicas porosas obtidas através da incorporação de resíduo do polimento do porcelanato e variando-se a temperatura de queima.....	56
3.4.1 Análise Química do Resíduo e classificação de acordo com a NBR 10004.....	57
3.5 Propriedade térmica.....	58
3.6 Medição da temperatura da superfície dos pisos e das placas cerâmicas através de termopares.....	59
3.7 Ensaio de Contato Pé-Placas Cerâmicas Aquecidas.....	60
3.8 Ensaio de Contato Luva-Piso e Luva-Placas Cerâmicas Resfriadas.....	62
3.9 Medição da resistência térmica de contato das placas cerâmicas.....	64
3.10 Simulação Numérica para determinar a temperatura de contato simulada.....	64
3.11 Validação do dispositivo experimental elaborado e da simulação numérica desenvolvida para o contato de diversos materiais.....	64
3.12 Propriedade Mecânica.....	66
3.12.1 Módulo de ruptura em flexão.....	66
3.13 Método da resistência à abrasão profunda.....	66
3.14 Retração Linear de Queima.....	67
3.15 Perda ao Fogo.....	67
3.16 Absorção de Água.....	68
3.17 Determinação da porosidade.....	68
3.18 Caracterização das matérias-primas e das amostras cerâmicas.....	68
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
4.1 Caracterização da morfologia e composição química das matérias-primas.....	70
4.1.1 Transformações de fase durante a queima das cerâmicas com pó de polimento...	74
4.2 Placas cerâmicas porosas utilizando fibras de sílica amorfa.....	78
4.2.1 Propriedades térmicas, mecânicas e físicas.....	78
4.2.2 Caracterização microestrutural.....	80
4.2.3 Ensaio de Contato Pé-Placas Cerâmicas Aquecidas.....	81

4.3 Placas cerâmicas porosas constituídas de massa cerâmica atomizada variando-se a pressão de compactação.....	82
4.3.1 Propriedades térmicas, mecânicas e físicas.....	83
4.3.2 Caracterização microestrutural.....	85
4.4 Placas cerâmicas porosas obtidas através da incorporação de resíduo do polimento do porcelanato e mantendo-se a temperatura de queima a 1170°C.....	86
4.4.1 Propriedades térmicas, mecânicas e físicas.....	86
4.4.2 Caracterização microestrutural.....	90
4.4.3 Ensaio de Contato Luva-Pisos e Luva-Placas Cerâmicas Resfriadas.....	92
4.5 Placas cerâmicas porosas obtidas através da incorporação de resíduo do polimento do porcelanato e variando-se a temperatura de queima.....	97
4.5.1 Caracterização microestrutural.....	98
4.5.2 Propriedades térmicas, mecânicas e físicas.....	104
4.6 Medição da temperatura superficial de pisos comerciais utilizados em piscinas e das placas cerâmicas fabricadas expostas ao sol.....	110
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	115
5.1 Conclusão.....	115
5.2 Recomendações para Trabalhos Futuros.....	117
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
7. APÊNDICES.....	128
8. ANEXOS.....	133
9. PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	139

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos produtos de revestimentos cerâmicos segundo as normas ISO 13006 [1995] e NBR 13818 [1997].....	27
Tabela 2 - Orientação para a seleção dos períodos de contato.....	37
Tabela 3 - Absortividade (onda curtas) em função da cor [LAMBERTS, 1997].....	60
Tabela 4 - Valores da condutividade térmica medidos experimentalmente e valores obtidos através da literatura.....	65
Tabela 5 - Estimativa da razão (f) obtida experimentalmente e através da simulação numérica.....	65
Tabela 6 - Análise Química por Espectrometria de Fluorescência de Raios X.....	72
Tabela 7 - Resultados obtidos para placas cerâmicas com a incorporação de sílica amorfa e temperatura de queima igual a 1170 °C.....	78
Tabela 8 - Resultados obtidos entre o valor da temperatura máxima atingida pela sola do pé ($T_{\text{pé máx experimental}}$) e a temperatura teórica da interface ($T_{\text{contato teórica}}$), no caso de amostras com fibras de sílica.....	82
Tabela 9 - Resultados obtidos para placas cerâmicas constituídas de pó cerâmico atomizado variando-se a pressão de compactação e mantendo-se a temperatura de queima igual a 1170 °C.....	83
Tabela 10 - Resultados obtidos para placas cerâmicas com a incorporação de resíduo.....	87
Tabela 11 - Condutividade e efusividade térmicas teóricas e experimentais.....	90
Tabela 12 - Estimativa da temperatura de contato experimental (dispositivo elaborado) luva-piso e luva-placa cerâmica.....	93
Tabela 13 - Resultados obtidos entre o valor da temperatura da sola do pé ($T_{\text{contato experimental}}$) e a temperatura teórica da interface ($T_{\text{contato teórica}}$), no caso de amostras com resíduo de polimento.....	94
Tabela 14 - Estimativa da temperatura de contato simulada luva-piso e luva-placa cerâmica..	95
Tabela 15 - Variáveis de entrada utilizadas para o sistema de controle (simulação numérica luva-piso).....	95
Tabela 16 - Variáveis de entrada utilizadas para o sistema de controle (simulação numérica luva-placa cerâmica).	96
Tabela 17 - Valores obtidos para as temperaturas de contato: experimental, teórica e simulada.....	96

Tabela 18 - Resultados obtidos para as amostras cerâmicas sem e com incorporação de resíduo, além de cerâmicas com 100% de resíduo.....	105
Tabela 19 - Medição da temperatura superficial de pisos comerciais através de termopares planares e temperatura de contato experimental.....	110
Tabela 20 - Medição da temperatura superficial de placas cerâmicas através de termopares planares e temperatura de contato experimental.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Placas cerâmicas porosas não esmaltadas com porosidade aberta na superfície (a), placas cerâmicas porosas esmaltadas possuindo uma superfície lisa (b) e placas cerâmicas porosas esmaltadas possuindo uma superfície rugosa (c); obtidas pelo processo de prensagem..	27
Figura 2 - Propagação do limiar de queimadura quando a pele está em contato com uma superfície lisa quente como a de materiais cerâmicos, vítreos e pedregosos [ISO 13732-1, 2004].....	36
Figura 3 - Distribuições de temperaturas transientes em um sólido semi-infinito para três condições superficiais: temperatura superficial constante, fluxo térmico na superfície constante e convecção na superfície [INCROPERA e DE WITT, 1998].....	44
Figura 4 - Contato interfacial entre dois sólidos semi-infinitos com diferentes temperaturas iniciais [INCROPERA e DE WITT, 1998].....	46
Figura 5 - Condutividade térmica versus a temperatura para diversos materiais cerâmicos [KINGERY, 1976].....	49
Figura 6 - Condutividade térmica versus distribuição de fases (idealizado). (a) Condutividade térmica em paralelo; (b) Condutividade térmica em série; (c) Condutividade através de um material com uma fase dispersa [VAN VLACK, 1970].....	50
Figura 7 - Fluxograma de fabricação das placas cerâmicas.....	53
Figura 8 - Morfologia das fibras de sílica amorfa [BARRA, 2004].....	54
Figura 9 - Forno a rolos-CTC de Criciúma.....	55
Figura 10 - Arranjo experimental para a medição da Condutividade Térmica.....	58
Figura 11 - Medição da temperatura da superfície dos pisos através de termopares.....	59
Figura 12 - Esquema ilustrativo do aparato experimental, para a medida da temperatura da sola de um pé em contato com um piso aquecido.....	61
Figura 13 - Esquema ilustrativo do contato luva-piso.....	62
Figura 14 - Esquema ilustrativo da temperatura de contato (luva-piso) ao longo do tempo.....	63
Figura 15 - Esquema ilustrativo do dispositivo de medição de abrasão profunda.....	67
Figura 16 - Imagens representativas da morfologia dos aglomerados que compõem (a) o pó atomizado e (b) o resíduo de polimento.....	71
Figura 17 - Imagens representativas da mistura entre massa cerâmica atomizada e resíduo de polimento antes da compactação (a) e após compactação e queima a 1100°C (b).....	71
Figura 18 - Micrografias das partículas aglomeradas da massa atomizada, destacando defeito na forma de vazio e característica da fratura.....	72

Figura 19 - Micrografia do resíduo de polimento. Partes (a) e (b) com aumentos distintos.....	73
Figura 20 - Micrografia do resíduo de polimento.....	73
Figura 21 - Espectro de EDS indicando os elementos químicos que constituem o resíduo de polimento: (a) Ponto 1, (b) Ponto 2, (c) Ponto 3 e (d) Ponto 4 vistos na Figura 20.....	74
Figura 22 - Curvas TG (a) e ATD (b) da amostra de massa atomizada, massa com 20% de resíduo e amostra de resíduo.....	75
Figura 23 - Difratomogramas de Raios X da massa atomizada como recebida (a) e após sinterização a 1170°C (b).....	76
Figura 24 - Difratomogramas de Raios X do resíduo de polimento como recebido (a) e após sinterização a 1170°C (b).....	77
Figura 25 - Difratomogramas de Raios X da mistura composta por 20% de resíduo de polimento e 80% de massa atomizada (a) como recebido e (b) após sinterização a 1170°C.....	77
Figura 26 - Condutividade térmica (a) e efusividade térmica (b) teórica e experimental em função da porosidade, variando-se a concentração de fibras. Amostras compactadas com 30MPa.....	79
Figura 27 - Micrografia de MEV da superfície de fratura da amostra cerâmica com a incorporação de 10% de fibras de sílica amorfa.....	80
Figura 28 - Representação gráfica do ensaio de contato: pé descalço-placa cerâmica.....	81
Figura 29 - Condutividade térmica (a) e efusividade térmica (b) teórica e experimental em função da porosidade que foi variada pelos diferentes valores de pressão de compactação aplicada.....	84
Figura 30 - Micrografias de MEV da amostras cerâmica com pressão de compactação (a) de 30 MPa (b) 25 MPa (c) 20 MPa (d) 15 MPa e (e) 10MPa.....	85
Figura 31 - Variação da AA, RL e ρ_a com a incorporação de resíduo.....	88
Figura 32 - Variação da resistência à flexão e da condutividade térmica com a incorporação de resíduo.....	88
Figura 33 - Condutividade térmica (a) e efusividade térmica (b) teórica e experimental em função da porosidade das amostras compactadas.....	89
Figura 34 - Microestrutura (a) da massa atomizada (b) com incorporação de 10% (c) 20% (d) 30% (e) 40% (f) 50% de resíduo.....	91
Figura 35 - Microestrutura da massa atomizada com 75% de resíduo (a) e com 100% de resíduo de polimento (b).....	91
Figura 36 - Microestrutura (a) da massa atomizada (b) com incorporação de 20% (c) 50% de resíduo (d) com 100% de resíduo de polimento.....	92

Figura 37 - Valor máximo da temperatura de contato simulada luva-Piso PC rugoso ($\Delta T_{\text{máx}}$)....	94
Figura 38 - Substratos cerâmicos sinterizados nas temperaturas de 950°C, 1000°C, 1100°C, 1170°C, 1200°C e 1250°C da (a) massa atomizada (b) massa atomizada com a incorporação de 20% (c) com incorporação de 50% e (d) 100% de resíduo.....	98
Figura 39 - Imagens representativas da microestrutura de uma amostra cerâmica do resíduo de polimento após compactação e aquecimento a 1200°C.....	99
Figura 40 - Microestrutura de uma amostra cerâmica do resíduo de polimento após compactação e queima a 1250 °C.....	99
Figura 41 - Microestrutura das amostras cerâmicas com 20% de resíduo e variando-se a temperatura de queima.....	100
Figura 42 - Microestrutura da superfície fraturada da amostra cerâmica com 20% de resíduo sinterizada à 1100°C. Partes (a) e (b) com aumentos distintos.....	100
Figura 43 - Micrografia de MEV da superfície fraturada da amostra cerâmica com 20% de resíduo e sinterizada à 1100°C. Partes (a) e (b) com aumentos distintos.....	101
Figura 44 - Espectro de EDS indicando os elementos químicos que constituem a massa atomizada com a incorporação de 20% de resíduo de polimento: (a) Ponto 1, (b) Ponto 2, (c) Ponto 3 e (d) Ponto 4.....	101
Figura 45 - Microestrutura da superfície fraturada da amostra cerâmica com 20% de resíduo e sinterizada à 1170°C: (a) aumento menor, (b) e (c) aumento maior e (d) microestrutura da superfície compactada da mesma amostra.....	102
Figura 46 - Micrografia de MEV da superfície fraturada da amostra cerâmica com 20% de resíduo e sinterizada à 1170°C.....	103
Figura 47 - Micrografia de MEV da superfície fraturada da amostra cerâmica com 20% de resíduo e sinterizada à 1200°C.....	103
Figura 48 - Resistência à Flexão em função da temperatura de queima.....	104
Figura 49 - Condutividade (a) e Efusividade Térmica (b) em função da temperatura de queima.....	106
Figura 50 - Massa Específica Aparente (a) e Retração Linear (b) em função da temperatura de queima.....	108
Figura 51 - Medição da temperatura da superfície dos pisos através de termopares.....	111
Figura 52 - Temperatura superficial de um Piso PC liso ao longo de um dia de medição.....	112

SÍMBOLOS

Símbolos Latinos:

A = área do contato (m^2);

AA = absorção de água da amostra queimada (%);

b = largura do corpo-de-prova ao longo da ruptura após ensaio (mm);

c = calor específico (J/kg.K);

C_o = constante da condutância térmica do contato estacionário;

C_1 = coeficiente igual a $8b^2/\pi$;

C_{cav} = comprimento da corda (mm);

d = distância entre barras de apoio (mm);

D (s) = período de contato da pele com a superfície do material (s);

D = diâmetro do disco rotativo (mm);

$erf(w)$ = função erro de Gauss;

$erfc(w)$ = função erro complementar;

f = razão entre a variação máxima da temperatura de contato e a temperatura do piso;

F_c = fator de contato ou coeficiente de penetração térmico ($10^3 J/s^{0,5} m^2 K$);

F = força de ruptura (N);

G = radiação global direta (W/m^2);

$h = h_c$ = coeficiente de transferência de calor por convecção ($W/m^2.K$);

h = espessura do disco rotativo (mm);

L = espessura do material (m);

L_{min} = espessura mínima do corpo-de-prova (mm);

L_Q = comprimento da amostra após a etapa de queima (mm);

L_S = comprimento inicial da amostra à verde (mm);

MRF = módulo de ruptura em flexão a três pontos (MPa);

n = constante que varia de 0 a 14 para corpos cerâmicos;

P = fração volumétrica de poros ou porosidade (%);

PF = perda ao fogo da amostra queimada (%);

P_Q = peso da amostra queimada (g);

P_S = peso da amostra à verde (g);

P_{SAT} = peso saturado da amostra (g);

P_I = peso imerso da amostra (g);

$q''_o = q''_{sup}$ = fluxo térmico constante na superfície (W);

- q = fluxo de calor ou taxa de transferência de calor (W);
 q_k = densidade de fluxo de calor por condução (W);
 q_c = densidade de fluxo de calor por convecção (W);
 q_x = densidade de fluxo de calor na direção x (W/m²);
 q_1 = densidade de fluxo de calor medido pelo fluxímetro 1 (W/m²);
 q_2 = densidade de fluxo de calor medido pelo fluxímetro 2 (W/m²);
 R = resistência térmica em regime permanente (m² K/W);
 R_c = resistência superficial externa ou resistência térmica de convecção (m² K/W);
 R_k = resistência térmica de condução (m² K/W);
 RL = retração linear da amostra queimada (%);
 R_o^* / λ = resistência térmica em regime permanente;
 S = perímetro da área de contato (m);
 t = tempo(s);
 T = temperatura absoluta (K);
 T_A = temperatura inicial do corpo A (K);
 T_B = temperatura inicial do corpo B (K);
 T_o = metade da diferença da temperatura inicial ou temperatura da área de contato (K);
 $T_{sup} = T_{contato\ teórica}$ = temperatura superficial de equilíbrio ou de interface teórica (°C);
 $T_{contato\ experimental}$ = temperatura de contato obtida experimentalmente (°C);
 $T_{contato\ simulada}$ = temperatura de contato simulada (°C);
 T_i = temperatura inicialmente uniforme (K);
 T_1 = temperatura superficial da amostra no fluxímetro 1 (K);
 T_2 = temperatura superficial da amostra no fluxímetro 2 (K);
 $T_{inicial}$ = temperatura inicial do piso (°C);
 $T_{pé\ inicial}$ = temperatura inicial da sola do pé (°C);
 $T_{pé\ máximo}$ = temperatura máxima atingida pela sola do pé (°C);
 T_{placa} = temperatura superficial da placa cerâmica (°C);
 T_{base} = temperatura da base ou superfície inferior da placa cerâmica (°C);
 v_1 = fração volumétrica da fase 1 (%);
 v_2 = fração volumétrica da fase 2 (%);
 V = volume de material removido (mm³).

Símbolos Gregos:

α = difusividade térmica (m^2/s);

β = ângulo que compreende a cavidade (grau);

ε = efusividade térmica ($Ws^{0,5}/m^2K$);

ε_o = efusividade térmica da fase contínua ($Ws^{0,5}/m^2K$);

ε_A = efusividade térmica do corpo A ($Ws^{0,5}/m^2K$);

ε_B = efusividade térmica do corpo B ($Ws^{0,5}/m^2K$);

$\varepsilon_{\text{piso}} = \varepsilon_{\text{placa}}$ = efusividade térmica de piso ou placa cerâmica exposta à radiação solar ($Ws^{0,5}/m^2K$);

$\varepsilon_{\text{pé}} = \varepsilon_{\text{luva}}$ = efusividade térmica da sola do pé exposta à radiação solar ou efusividade térmica da luva ($Ws^{0,5}/m^2K$);

γ = absortividade de um material em função da cor (%);

λ = condutividade térmica (W/m.K);

λ_1 = condutividade térmica da fase 1 (W/m.K);

λ_2 = condutividade térmica da fase 2 (W/m.K);

λ_A = condutividade térmica do corpo A (W/m.K);

λ_B = condutividade térmica do corpo B (W/m.K);

λ_{ap} = condutividade térmica da uma cerâmica porosa (W/m.K);

λ_o = condutividade térmica do corpo cerâmico livre de poros (fase contínua) (W/m.K);

ρ = massa específica (densidade) aparente ou densidade do material poroso (kg/m^3);

ρ_a = massa específica aparente (densidade aparente) medida pelo princípio de Arquimedes com imersão em água (kg/m^3);

ρ_r = massa específica real (densidade real) medida por picnômetro de hélio (kg/m^3);

$\pi = 3,1415$;

ω = refletividade de um material em função da cor (%);

$\partial T / \partial x$ = gradiente de temperatura na direção x (K/m);

$\Delta T_{\text{máx}}$ = valor da máxima variação da temperatura de contato ($^{\circ}C$).

RESUMO

São diversos os elementos que contribuem para a sensação de conforto do indivíduo ao meio que o cerca. Em particular, no caso de pisos cerâmicos, tem-se observado que em locais onde normalmente as pessoas encontram-se descalças, a sensação térmica de frio ou quente depende das condições ambientais locais e das propriedades do material incluindo sua microestrutura e rugosidade superficial. O desconforto pode ser por calor em pisos de ambientes externos expostos à radiação solar (áreas de piscinas e terraços) ou desconforto por frio (quartos e banheiros). Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho foi desenvolver placas cerâmicas que proporcionassem conforto térmico ao contato, mantendo as propriedades e características requeridas para os produtos de revestimentos cerâmicos. Para isto, duas propriedades térmicas precisaram ser avaliadas: a efusividade e a resistência de contato que é influenciada pela rugosidade dos pisos. A avaliação destas propriedades foi realizada por análise teórica, comparando a diferença de efusividade térmica e por ensaios experimentais, onde se mediu a temperatura da interface no contato de pisos com diferentes porosidades e o pé descalço. Desenvolveu-se também um modelo matemático para calcular a resistência de contato entre o pé (que apresenta uma certa rugosidade) e uma superfície rugosa. A efusividade térmica está diretamente correlacionada com a condutividade térmica e a densidade do material. Materiais com baixa condutividade e baixa densidade podem ser obtidos pela inclusão de poros na microestrutura decorrentes das matérias-primas e condições de processamento usualmente empregadas. Em relação ao comportamento mecânico, a presença de poros implica em diminuição da resistência. No entanto, a presença de uma porosidade controlada é essencial para materiais com funções térmicas, garantindo a transferência de calor adequada. Desta forma, a fim de otimizar essas propriedades, foram obtidas placas cerâmicas variando-se a porosidade das mesmas, atuando-se nos parâmetros de processamento: composição da massa cerâmica, variação da pressão de compactação e temperatura de queima. As placas cerâmicas obtidas com diferentes porosidades foram expostas ao ambiente ensolarado e medida a temperatura da sua superfície. Foram avaliadas também as propriedades mecânicas como: módulo de ruptura em flexão e resistência ao desgaste pelo método da abrasão profunda. Os resultados teóricos e experimentais mostram que por meio do aumento da porosidade das placas cerâmicas obtidas, a condutividade e a efusividade térmica diminuem promovendo o conforto no contato.

Palavras chave: revestimentos cerâmicos, propriedades térmicas, conforto térmico, porosidade.

ABSTRACT

Many are the elements that contribute for the comfort sensation of an individual to the environment around him. In particular, in case of ceramic tiles, in places where people are bare feet, the thermal sensation of cold or hot depends on the environmental conditions and material properties including its microstructure and roughness surface. The uncomfortable can be characterized by heated floor surfaces in external areas which are exposed to sun radiation (swimming pools areas) or by cold floor surfaces in internal areas (bedrooms and bathrooms). In this context, this work had as objective to develop a ceramic floor tile that could promote thermal comfort to contact maintaining all the properties and characteristics required for finished ceramic floor tile products. For this purpose, two properties were evaluated: thermal effusivity and contact resistance that is influenced by the roughness pavement. The evaluation was performed by theoretical analysis by comparing the thermal effusivity difference and experimentally by temperature measurements in the interface between different ceramic floor tiles and bare feet. Thus, it was developed a mathematical model to calculate the contact resistance between a bare feet that produce a relative roughness and a rough surface. The thermal effusivity is directly correlated to the thermal conductivity and density. Materials with low thermal conductivities and densities can be obtained introducing pores in the microstructure. Pores in ceramic materials are due particularly to the raw materials and processing conditions usually employed. Porosity generally implicates in a lower mechanical strength. However, a controlled porosity is essential for materials with thermal functions since it ensure a suitable heat exchange. Thus, in order to optimize the before mentioned properties, ceramic floor tiles with different porosities were prepared by changing the ceramic body composition, compaction pressure variation and firing temperature. Porous ceramic tiles, with different porosities, were exposed to a sunlight environment so that temperature measurements on their surfaces were performed with a type "T" termocouple located in the center of the ceramic tile. Mechanical properties such as bending strength and wear resistance by the deep abrasion method were evaluated. The results show that by increasing the porosity, the thermal conductivity and effusivity decrease and improve the comfort by contact.

Keywords: ceramic tiles, thermal properties, thermal comfort, porosity.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Descrição do problema e justificativa

No momento atual, no qual o tema aquecimento global é discutido no mundo inteiro, sustentabilidade é de fundamental importância, despertando o interesse de todos os setores de produção. Atender às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das futuras gerações atenderem às suas próprias necessidades é uma das definições mais abrangentes deste conceito. Para ser sustentável, portanto, qualquer empreendimento humano deve ser ecologicamente correto, economicamente viável, socialmente justo e culturalmente aceito. A construção da sustentabilidade é um desafio essencial, já que significa estudar as implicações e propor soluções associadas à gestão racional de energia, de água, de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Identificar a trajetória de cada recurso, desde a sua extração, até seu destino final, e dos impactos ambientais que poderão ser causados nesta trajetória, buscando opções que os minimizem [SANTUCCI e SATTLER, 2007].

Segundo BENNETT [2007], a sustentabilidade é sinônima de conforto e seu processo na construção civil é irreversível. Os edifícios inteligentes, como são chamados, são voltados, por exemplo, para o conforto térmico. Portanto, a sustentabilidade funciona quando se utiliza a tecnologia correta.

A indústria cerâmica está constantemente visando a ampliação de mercado para o setor e, em razão disto, procura aprimorar a qualidade e aumentar a variedade de funções desempenhadas pelos produtos. Além disso, com o correto gerenciamento dos resíduos gerados pela empresa (como por exemplo: o polimento do porcelanato), almeja-se diminuir estes resíduos e obter um maior valor agregado ao mesmo. No caso particular de pisos cerâmicos ecologicamente corretos e que proporcionem conforto térmico ao contato atendem nichos de mercado pouco explorados, como ambientes quentes (áreas de piscinas, terraços e varandas) e ambientes frios (quartos e banheiros). Atualmente, em áreas de piscinas, o material mais utilizado é a pedra brasileira São Tomé, porém, tem-se observado que a mesma apresenta problemas de aplicação e deterioração com o passar dos anos (lascamentos e incrustações de sujeiras).

Os revestimentos cerâmicos de pavimentos são largamente utilizados em edificações, possuindo funções técnicas e estéticas. Entretanto a função técnica se torna muito importante em edificações com ocupação humana onde o conforto térmico é requerido. Dessa forma,

podemos verificar que em muitas situações os pisos cerâmicos não oferecem conforto térmico adequado.

Pode-se considerar o corpo humano, como uma “máquina térmica” que gera uma quantidade de calor que pode variar de 100 a 1000W, dependendo da atividade desempenhada. Como somos seres homeotérmicos, essa quantidade de calor precisa ser dissipada para manter a temperatura interna do corpo constante (considerada normal entre 35 a 37°C). Os mecanismos termoreguladores (vaso constricção e sudorese) são responsáveis por essa tarefa. Para que uma pessoa esteja em conforto térmico, no desempenho das atividades, admitem-se pequenas oscilações nessa temperatura interna.

São diversos os elementos que contribuem para a sensação de conforto e eles são caracterizados pela intensidade das respostas fisiológicas e psicológicas do indivíduo ao meio ambiente que o cerca [XAVIER, 2000]. As principais variáveis ambientais são: a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do vento e o campo de radiação [FANGER, 1970 e ASHRAE, 1997]. Porém, podemos estar sujeitos a algum tipo de desconforto localizado, como por exemplo, o contato dos pés descalços com um piso que está aquecido (em ambientes externos expostos à radiação solar) ou resfriado (em ambientes internos), onde a sensação térmica depende das condições ambientais locais e das propriedades do material incluindo sua microestrutura e rugosidade superficial.

A sensação térmica está relacionada com a temperatura da pele, nesses casos a temperatura da sola do pé em contato com o piso. São poucos os trabalhos que avaliam o desconforto por contato, sendo mais voltados para a condição de segurança NR 15 [1978] e PD 6504 [1983]. A temperatura de interface pode ser correlacionada por uma propriedade chamada efusividade térmica que define a temperatura de interface quando dois sólidos são colocados em contato. Quanto menor é a efusividade térmica mais confortável é o contato. A temperatura de interface também depende da resistência de contato, altamente dependente da rugosidade das superfícies. A rugosidade atua como uma resistência térmica de interface, reduzindo a troca de calor, proporcionando conforto térmico.

Neste contexto, esse trabalho teve como objetivo: desenvolver placas cerâmicas que proporcionassem conforto térmico, mantendo-se as propriedades e características requeridas para os produtos de revestimento cerâmico de pisos acabados.

A efusividade térmica é diretamente correlacionada com a condutividade térmica e a densidade do material. Materiais com baixa condutividade e baixa densidade podem ser obtidos pela inclusão de poros. Pode-se considerar como regra geral que a condutividade térmica de materiais porosos diminui com o aumento da porosidade, forma e orientação de

grãos, quantidade, tipo e distribuição de fases [RHEE, 1975]. A porosidade em materiais cerâmicos é decorrente das matérias-primas e das condições de processamento usualmente empregadas, que podem gerar conseqüências positivas ou não, em relação ao desempenho desses materiais. Por outro lado, a presença de poros geralmente implica na diminuição da resistência mecânica.

A principal hipótese desse trabalho baseia-se no seguinte argumento: combinando adequadamente as matérias-primas e técnicas de processamento, é possível obter cerâmicas porosas com valores adequados de resistência mecânica e demais propriedades de uso, bem como, propriedades térmicas favoráveis ao conforto térmico.

Existem vários métodos para a obtenção de cerâmicas porosas. Um dos primeiros métodos desenvolvidos, e que ainda hoje é largamente usado, consiste na incorporação de produtos orgânicos dentro dos corpos cerâmicos, os quais são removidos durante a queima, deixando poros cujo tamanho está relacionado com o tamanho das partículas dos agentes orgânicos. Cada método tem as suas vantagens e usos potenciais. Contudo, o controle do processamento e, conseqüentemente as propriedades finais dos materiais, são um problema geral [LEMOS e FERREIRA, 2001].

Neste trabalho, placas cerâmicas porosas foram obtidas através da compactação de pó cerâmico atomizado contendo diferentes frações em massa de resíduos (fibras de sílica amorfa e resíduo do polimento de porcelanato). Outra alternativa, foi a elaboração de placas cerâmicas porosas variando-se a pressão de compactação sem a incorporação de resíduos. Além desses métodos, foram também elaboradas placas cerâmicas porosas através da incorporação de resíduo de polimento do porcelato ao pó cerâmico atomizado industrialmente e variando-se a temperatura de queima.

Por meio de análises de difração de raios X, pôde-se observar as fases que se formaram à medida que se aumentou a temperatura de queima dos materiais utilizados para a fabricação das placas cerâmicas. A curva de gresificação pode ser considerada uma importante ferramenta para a avaliação e desenvolvimento de pisos cerâmicos variando-se a temperatura de queima e as condições de processamento.

Após a obtenção das placas cerâmicas porosas pelos quatro métodos, foram avaliadas as propriedades térmicas: efusividade e condutividade, bem como o módulo de ruptura em flexão. As placas foram expostas à radiação solar, obtendo-se a máxima temperatura superficial. Paralelamente as placas foram submetidas a um contato súbito com uma fonte fria, obtendo-se por extrapolação a temperatura de contato teórica e experimental entre o piso e o pé descalço para pisos com diferentes rugosidades. Desenvolveu-se também, uma

simulação numérica utilizando-se o método da equação de elementos finitos da transferência de calor em regime transitório e de eliminação de Gauss (TDMA-Algoritmo da Matriz Tri-Diagonal) para determinar a temperatura de contato simulada e compará-la com a temperatura de contato obtida experimentalmente através do dispositivo elaborado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver placas cerâmicas para revestimento que proporcionem conforto térmico, mantendo-se as propriedades e características requeridas para os produtos de revestimentos cerâmicos de pisos acabados em conformidade com as normas NBR 13817 e 13818 e de acordo com a sua função de uso.

1.2.2 Objetivos Específicos

1) Otimizar experimentalmente a microestrutura visando às propriedades térmicas e mecânicas adequadas para o projeto e desenvolvimento de placas cerâmicas confortáveis termicamente;

2) Desenvolver placas cerâmicas utilizando resíduos sólidos gerados pela indústria cerâmica (resíduo do polimento de porcelanato);

3) Com relação às propriedades térmicas pretendeu-se:

- Avaliar a efusividade térmica através de modelos existentes na literatura, e compará-la com a efusividade térmica experimental obtida através de ensaios nos quais a temperatura de interface é medida no contato de diferentes pisos e o pé descalço;
- Estudar a resistência de contato das placas cerâmicas;
- Medir a temperatura e a absorvidade da superfície das placas cerâmicas porosas expostas ao sol;
- Avaliar o efeito da rugosidade no conforto por contato em placas cerâmicas aquecidas e resfriadas através da efusividade térmica e da temperatura de contato transiente.

4) Desenvolver uma simulação numérica para a determinação da temperatura de contato transiente para dois corpos rugosos.

1.2.3 Estrutura do Trabalho

A seguir, apresenta-se de forma resumida o conteúdo de cada capítulo desta tese.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os pólos produtores de revestimentos cerâmicos, cerâmicas porosas, conforto térmico e correlação entre microestrutura e propriedades térmicas de cerâmicas porosas.

No capítulo 3, são descritos os dispositivos experimentais elaborados, a simulação numérica desenvolvida e o procedimento experimental utilizado neste trabalho.

Os resultados experimentais e discussões do experimento elaborado, simulação numérica e modelo teórico utilizado são apresentados no capítulo 4.

As conclusões e sugestões gerais deste trabalho são apresentadas no capítulo 5.

As referências bibliográficas são apresentadas no capítulo 6.

Nos apêndices, capítulo 7 apresenta-se um modelo para estimar a temperatura superficial dos pisos expostos ao sol no verão e a medição da resistência térmica de contato dos pisos e placas cerâmicas. Nos anexos, capítulo 8 é apresentado às especificações técnicas da massa atomizada utilizada neste trabalho, os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização realizados no resíduo do polimento de porcelanato, bem como, as matérias-primas utilizadas na elaboração do abrasivo que realiza a remoção do material no processo do polimento de porcelanato.

Finalmente, no capítulo 9, são apresentados os trabalhos publicados (publicações em revista indexada, artigos completos e resumos expandidos publicados em anais de congressos nacionais e internacionais) no desenvolvimento desta tese.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Pólos Produtores de Revestimentos Cerâmicos Nacionais

Segundo dados da ANFACER [2008], o Brasil possui o segundo maior mercado consumidor (485 milhões de m²) e é o quarto exportador mundial (114 milhões de m²). No ano de 2003 o Brasil ocupava, no panorama internacional, o quarto lugar em produção de revestimentos cerâmicos, sendo superado apenas pela China, Itália e Espanha. De acordo com o mesmo estudo, a capacidade instalada apresenta-se distribuída no Sudeste (60%), Sul (32%), Nordeste (5%), Centro-Oeste (2%) e Norte (1%), constituindo-se assim, os denominados clusters ou principais pólos produtores de revestimentos cerâmicos nacionais. Já em 2006, estima-se que o país alcançou a terceira posição no ranking mundial de produtores.

Nesta abordagem, de acordo com STAMER et al [2001], existe três “clusters” cerâmicos no Brasil: um em Santa Catarina e dois no Estado de São Paulo. O “cluster” em Santa Catarina está geograficamente localizado no sudeste do Estado, em torno da região de Criciúma. Em São Paulo, os “clusters” estão localizados em Mogi-Guaçu e Santa Gertrudes.

A produção no setor cerâmico de revestimentos concentra-se, de acordo com GORINI e CORREA [1999], em poucos grupos industriais. Atualmente, as maiores empresas (em termos de capacidade) são responsáveis por 38% da produção nacional. Existem empresas do setor que mantêm unidades produtivas em vários estados, como estratégia de aproximação do mercado consumidor, buscando assim uma vantagem competitiva em relação aos concorrentes situados em regiões mais distantes [PEREIRA, 2004].

2.2 Revestimento Cerâmico

Na produção de corpos cerâmicos, a etapa de conformação do material determina a forma do corpo e influencia diretamente sobre algumas propriedades físicas do produto acabado como, por exemplo, a densidade aparente, a retração linear e a absorção de água. Os materiais cerâmicos empregados na fabricação de revestimento são conformados a partir de suspensões (colagem ou “slip casting”), pastas (extrusão) ou em aglomerados de partículas (prensagem). Eventualmente, técnicas de laminação, moldagem por injeção ou conformação manual são utilizados. Independente da técnica utilizada, as propriedades físicas do componente são fortemente afetadas pelas características do material proveniente da etapa do

processo de fabricação conhecida como preparação de massa e dos parâmetros de conformação.

A prensagem é o processo de compactação de um pó ou granulado que tem como objetivo obter um corpo com uma determinada forma e consistência suficiente para ser manipulado. A prensagem é o método de conformação mais usado no setor de revestimento cerâmico porque além de atender satisfatoriamente às exigências técnicas dos consumidores, também introduz uma maior racionalidade nos processos de fabricação permitindo que se alcancem valores de produção que não são atingidos nos outros processos de conformação. Efeitos estéticos também podem ser obtidos neste processo.

O processo de esmaltação consiste na sobreposição de uma fina camada de esmalte sobre a superfície do corpo cerâmico para impedir a incrustação de sujeiras e microorganismos. Esta será a superfície a ser vista após o assentamento da peça, susceptível ao ataque de diversos produtos químicos, e ao desgaste por se tratar de um piso cerâmico de pavimento.

A função da camada do esmalte é conferir à face de trabalho do revestimento cerâmico propriedades como dureza, resistências ao desgaste e ao manchamento, impermeabilidade, facilidade de limpeza e, além disso, apelo estético. Isto em virtude da grande variedade de cor oferecida, além da possibilidade do uso de alto relevo (rugosidade superficial) e da obtenção de brilho ou da opacidade. Todos estes aspectos devem ser estudados para a diminuição da absorvidade dos pisos que estarão expostos, por exemplo, à ambientes externos.

A aplicação da camada de esmalte geralmente é feita em linhas de esmaltação. Estas consistem de um conjunto de correias sobre as quais as peças secadas são enfileiradas e conduzidas até um dispositivo de aplicação de esmalte, que pode ser um véu contínuo de barbotina. Por barbotina entende-se uma suspensão cuidadosamente preparada com o objetivo de transportar pós cerâmicos.

A Figura 1 apresenta um modelo da distribuição da porosidade para três alternativas diferentes empregadas para a fabricação de placas cerâmicas obtidas pelo processo de prensagem utilizando apenas um único carregamento. Na alternativa (a), as placas cerâmicas não são esmaltadas apresentando uma porosidade aberta na superfície. Na alternativa (b), as placas cerâmicas são esmaltadas apresentando uma superfície lisa. Já na alternativa (c), as placas cerâmicas são esmaltadas apresentando uma superfície rugosa.

Podemos classificar as placas cerâmicas obtidas neste trabalho como placas cerâmicas porosas não esmaltadas com porosidade aberta na superfície. Portanto, alternativa (a) da Figura 1.

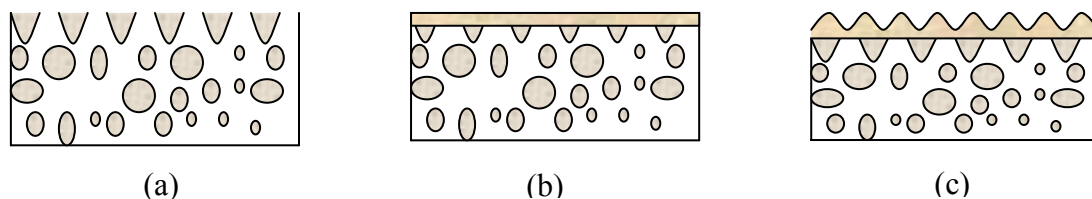


Figura 1 - Placas cerâmicas porosas não esmaltadas com porosidade aberta na superfície (a), placas cerâmicas porosas esmaltadas possuindo uma superfície lisa (b) e placas cerâmicas porosas esmaltadas possuindo uma superfície rugosa (c); obtidas pelo processo de prensagem.

2.2.1 Classificação dos produtos de revestimentos cerâmicos

Os revestimentos cerâmicos produzidos industrialmente devem seguir às especificações dos produtos segundo as normas ISO 13006 [1995] e NBR 13818 [1997]. A Tabela 1 mostra a classificação dos produtos de revestimentos cerâmicos, segundo estas normas.

Tabela 1 – Classificação dos produtos de revestimentos cerâmicos segundo as normas ISO 13006 [1995] e NBR 13818 [1997].

Tipo de Produto	Classes	Absorção de Água (%)	Resistência à abrasão profunda (mm ³)	Módulo de resistência à flexão (MPa)
Porcelanato	BIa	0 a 0,5	≤ 175 (altíssima)	> 35
Grês	BIb	0,5 a 3,0	≤ 275 (alta)	> 30
Semi-Grês	BIIa	3,0 a 6,0	≤ 345 (média)	> 22
Semi-Poroso	BIIf	6,0 a 10,0	≤ 540 (baixa)	> 18
Poroso e Azulejo	BIII	10,0 a 20	(baixíssima)	> 15

2.2.2 Resíduos Sólidos gerados pela Indústria Cerâmica

Na indústria de revestimentos cerâmicos houve, nos últimos anos, um grande aumento da produção de produtos polidos, como os porcelanatos e grês esmaltados polidos, devido ao seu elevado valor agregado. Em 1996, a única empresa que produzia porcelanato no Brasil era a Eliane Revestimentos Cerâmicos. Atualmente, além da empresa Eliane, Cecrisa, Ceusa, Itagrês, Portobello e Gytoku produzem tanto porcelanato quanto grês esmaltado polido,

gerando grande quantidade de resíduos e sobras de abrasivos. O abrasivo utilizado pode ser à base de partículas de diamante ou de carbetto de silício [BERNARDIN et al, 2007].

Estas sobras de abrasivos não tem outro destino a não ser os aterros, como é comum a todos resíduos gerados pela indústria cerâmica no Brasil. Porém, há outra possível destinação para as sobras, como demonstram BERNARDIN et al [2006]. Várias soluções foram encontradas, sendo uma das mais efetivas o uso de abrasivos contendo também carbetto de silício em sua composição, como agentes promotores de expansão em produtos cerâmicos pelo método de formação de bolhas, obtendo-se espumas cerâmicas de baixa densidade.

Uma indústria cerâmica consome grande quantidade de matéria-prima; conseqüentemente, como em todas as indústrias, rejeitos também são gerados. Os resíduos gerados são normalmente depositados em aterros; estes resíduos consistem em cacos (perdas do produto final), sobras de esmaltes cerâmicos, cinzas de carvão, minerais, plásticos, metais, vidros, papéis, óleo lubrificante, madeira, sobras de pedras abrasivas, resíduos de polimento, lodo de estações de tratamento, dentre outros [BONAR, 1996].

Os resíduos sólidos depositados em aterros de forma desordenada podem trazer inúmeros problemas, como contaminação do solo, contaminação do lençol freático, contaminação dos rios e lagos, redução dos recursos naturais não-renováveis, além de influenciar negativamente o ciclo biológico da vegetação presente [MEDEIROS, 1999].

A reutilização e a reciclagem dos resíduos gerados pela indústria cerâmica objetiva, entre outras atividades: a redução e eliminação dos desperdícios, como o consumo excessivo dos recursos naturais, como minerais, água e gás natural; a reutilização e reaproveitamento dos materiais, pois o rejeito de uma empresa pode ser considerado matéria-prima de outra; e finalmente, a reciclagem, que consiste na re-introdução de produtos finais, subprodutos e resíduos em um novo ciclo de produção-consumo.

A recuperação e a reciclagem de resíduos que apresentam valor econômico são formas mais atraentes para a solução dos problemas de tratamento e destino final, tanto na opinião dos industriais como do ponto de vista dos órgãos estaduais de proteção e fiscalização ambiental, principalmente por ser visto como um fator importante para a redução do consumo dos recursos naturais e uma maneira de reduzir a carga de poluentes lançados no meio ambiente [BONAR, 1996].

Para definir um gerenciamento adequado de tratamento aos resíduos sólidos faz-se necessário melhor conhecê-los, ou seja, classificá-los. Os resíduos sólidos industriais podem ser classificados como perigosos e não perigosos. Para uma indústria, esta diferenciação é

importante e faz-se necessária, uma vez que o gerenciamento para cada tipo de resíduo é muito diferente, levando em consideração a tecnologia e custos [BIDONE, 2001].

Atualmente, na região de Santa Catarina não há reciclagem dos resíduos sólidos industriais cerâmicos, oriundos do processo de polimento do porcelanato. Esses resíduos cerâmicos são descartados diretamente em aterros, sendo que as empresas cerâmicas vêm descartando as sobras de polimento e pedras abrasivas há muito tempo, sem critério algum [SILVA, 2005].

Os resíduos cerâmicos de polimento, também chamados de “lodo”, são as sobras do processo de polimento do porcelanato. Essas sobras são captadas, armazenadas e filtradas por estações de tratamento de efluentes (ETE), que eliminam a água residual e geram como subproduto o “lodo”. Esse subproduto do processo de filtração, o “lodo”, é armazenado em aterros.

O material utilizado para o polimento do porcelanato é a pedra abrasiva, como não há uma destinação final para as sobras das pedras abrasivas, a parte não utilizada para polimento devido à baixa eficiência do processo por não haver mais contato entre a pedra e a peça sendo polida, essas são descartadas e enviadas para aterros, onde, junto com o resíduo de polimento podem vir a causar um impacto ambiental. Uma alternativa ao descarte destes resíduos sólidos gerados pela indústria cerâmica (resíduos de polimento e sobras de pedras abrasivas), é a utilização destes resíduos em novos produtos, com valor agregado, como é o caso de produtos cerâmicos expandidos. Estes produtos têm utilidade na indústria de construção civil, tanto como componentes de lajes, substituindo polímeros expandidos (como é o caso do isopor) como divisórias internas, substituindo madeira e papel [SILVA, 2005].

2.2.3 Processo de Polimento do Porcelanato

O porcelanato é um revestimento cerâmico com porosidade relativamente baixa, que surgiu em 1984. Sua grande revolução ocorreu com a inserção dos fornos a rolo, o que permitiu ao porcelanato adquirir competitividade e versatilidade.

Ele pode ser considerado um material no qual a sinergia entre a tecnologia de produção e as propriedades físico-mecânicas como densidade, resistência à flexão, dureza e resistência ao desgaste, é excelente. Estas características permitem a sua utilização em ambientes externos e internos, garantindo uma alta confiabilidade e resistência a vários tipos de condições adversas. O porcelanato pode ou não ser esmaltado. Para melhorar as

características estéticas do porcelanato não polido e sua posição competitiva em relação às pedras naturais, estes produtos são submetidos a um processo de polimento que é amplamente difundido nas indústrias cerâmicas em todo o mundo [WIGGERS et al, 2007].

Segundo ORTS et al [2001], ao longo do processo de polimento ocorrem três principais transformações na peça: a perda de massa, o aumento do brilho e diminuição da rugosidade do porcelanato.

O processo de polimento atualmente é composto por duas etapas. A primeira etapa é chamada de etapa de aplainamento ou de calibração, onde uma grande quantidade de material é removida quando comparadas com as etapas subsequentes. A calibração ocorre mediante a ação tangencial e descontínua gerada por uma série de rolos abrasivos diamantados, dispostos transversalmente à direção de avanço do material. A eliminação das deformações das placas cerâmicas, que apresentam uma superfície vitrificada dura, ocorre progressivamente de modo a não comprometer a integridade das mesmas. Os rolos diamantados devem ter uma boa capacidade de corte para se trabalhar com uma pressão mínima sobre a placa cerâmica evitando quebras devido à fragilidade intrínseca do material [WIGGERS et al, 2007].

As peças que saem do aplainador possuem uma superfície irregular, constituída por riscos ou sulcos profundos, que devem ser totalmente eliminados durante a etapa seguinte. Esta etapa utiliza cabeçotes que rotacionam e transladam transversalmente à peça. Estes cabeçotes são constituídos de agentes abrasivos com tamanhos de partículas progressivamente decrescentes. O principal abrasivo empregado é o SiC embutido em uma matriz de composição variável. Durante esta etapa, é muito importante que o tamanho das partículas dos abrasivos siga uma seqüência determinada, pois a erosão provocada pelo abrasivo de tamanho maior difere da provocada por um abrasivo de tamanho de partícula menor, podendo produzir defeitos que não serão eliminados pela ação dos abrasivos subsequentes. O objetivo principal desta etapa é produzir uma superfície lisa e especular, na saída da última cabeça polidora, caracterizando o produto final do processo de polimento [ESPOSITO et al, 2002 e ESPOSITO e TUCCI, 2000].

2.2.3.1 Abrasivos utilizados para o polimento de materiais cerâmicos

Abrasão é definida como sendo a operação de remover partículas de um material por atrito contra outro material que será quase sempre mais duro que o primeiro. A importância nas operações de abrasão reside no fato de que elas corrigem os defeitos das operações

precedentes, como por exemplo, nos processos de usinagem. Portanto, os abrasivos são ferramentas destinadas ao processo de abrasão.

Com o crescimento das atividades industriais tornou-se necessária a obtenção de partículas abrasivas com características controladas. As pesquisas neste campo tiveram os primeiros sucessos na descoberta do carbetto de silício (SiC) e do óxido de alumínio (Al_2O_3) [SILVA, 2005].

Devido às exigências de mercado, como a racionalização dos processos e automação, além de mudanças para máquinas de controle numérico, houve uma demanda por abrasivos mais confiáveis, de qualidade constante e com elevadas produções, como os chamados superabrasivos (diamantes sintéticos, nitreto de boro cúbico) e os materiais cerâmicos de alta performance, à base de óxido de alumínio [SG ABRASIVOS, 2005].

O carbetto de silício é mais duro e apresenta formato mais afilado e de bordas mais cortantes que o óxido de alumínio. É recomendado para trabalhos em materiais de baixa resistência à tração como ferro fundido cinzento, metais não ferrosos (bronze, latão, alumínio, entre outros) e materiais não metálicos (cerâmicos, mármore, granitos, refratários). Os materiais de baixa resistência à tração, ou são extremamente duros e praticamente não se deformam, ou apresentam grande escoamento. O carbetto de silício tem a capacidade de penetrar no material e remover uma pequena quantidade deste.

O carbetto de silício a partir de 1000°C decompõe-se em atmosfera oxidante, gerando CO_2 e sílica. Se adicionado a um resíduo cerâmico, com ponto de amolecimento próximo à temperatura de decomposição do SiC, como é o caso dos resíduos gerados no polimento de produtos porcelânicos, o produto resultante sofrerá uma expansão volumétrica devido à decomposição da SiC associada ao início do amolecimento do material cerâmico, cuja superfície será impermeável à passagem do gás resultante da decomposição para o exterior da peça. O produto resultante será o material cerâmico expandido, formando uma excelente espuma cerâmica que pode ser utilizada como componente para preenchimento de lajes nas construções ou para fabricação de divisórias, produtos com boa isolamento térmica [BERNARDIN et al, 2007].

2.3 Cerâmicas Porosas

2.3.1 Métodos para obtenção de Cerâmicas Porosas

Há dois tipos de poros: abertos e fechados. Os poros abertos, também chamados poros interligados, são aqueles que têm contato com a superfície externa do material, sendo bastante úteis na fabricação dos filtros cerâmicos. Na fabricação de materiais isolantes é importante ter um grande número de poros fechados, ou seja, poros isolados. Esses poros isolados possuem em seu interior ar que constitui o poder isolante do material.

Existem vários métodos para a obtenção de cerâmicas porosas. O método da réplica consiste na impregnação da pasta cerâmica em uma esponja polimérica. Após a secagem, a esponja é removida por uma operação de queima e o material é sinterizado, resultando em um material com porosidade aberta. Outra técnica comum é o método espumante, cujo agente espumante é adicionado na suspensão cerâmica. Por agitação, é produzida uma espuma a qual, após remoção da fase líquida, constrói uma estrutura de poros e consiste essencialmente em poros fechados [CINTRA e SANTOS, 2000].

Em relação ao comportamento mecânico, a presença de poros implica na diminuição da resistência. No entanto, a presença de uma porosidade controlada é essencial para materiais de construção com funções térmicas, garantindo o conforto térmico da edificação [REED, 1988].

2.3.2 Aplicações de Cerâmicas Porosas

As espumas com poros fechados ou abertos são usadas como isolantes térmicos para fornos e também para aplicações aeroespaciais (placas isolantes para naves espaciais), materiais resistentes às chamas, revestimentos leves para fornos e para queimadores a gás. As aplicações mais comuns das cerâmicas porosas de poros abertos são como filtros para metais fundidos e motores a diesel, suportes de catalizadores, filtros industriais para gases quentes e filtros para gordura em cozinhas comerciais. Novas aplicações incluem usos em eletrônica e na área biomédica. As espumas comercialmente disponíveis são feitas de diversos materiais como cordierita, mulita, carbetto de silício, alumina, zircônia parcialmente estabilizada e compósitos como SiC-alumina, alumina-zircônia, alumina-mulita e mulita-zircônia [SOUSA et al, 2008 e SOUSA et al, 2005].

A principal utilização das cerâmicas celulares é a fabricação de isolantes térmicos, devido a sua estabilidade térmica, baixa condutividade térmica [FU et al, 1998], baixa densidade, resistência aos ciclos térmicos, resistência ao choque térmico, baixo calor específico e também por serem disponíveis em várias configurações e tamanhos [MAIRE et al, 2007].

Combinando adequadamente as matérias-primas e técnicas de processamento, é possível obter cerâmicas porosas com elevados valores de resistência mecânica, resistência ao ataque químico, elevada refratariedade e elevada uniformidade estrutural e condutividade térmica favorável a sua aplicação. São estas propriedades que as tornam apropriadas para uma variedade de aplicações, nas quais as tensões térmicas e mecânicas não permitem o uso de materiais metálicos ou poliméricos [LEMOS e FERREIRA, 2001].

2.4 Conforto Térmico

No âmbito do melhoramento das condições de trabalho e da qualidade de vida, o ambiente térmico desempenha um papel fundamental. O problema que se coloca nos ambientes térmicos é a homeotermia (manutenção da temperatura interna do corpo). A homeotermia é assegurada quando o fluxo de calor produzido pelo corpo é igual ao fluxo de calor cedido ao ambiente. No desequilíbrio existe um problema de tolerância ao frio ou ao calor, suscitando um limiar de tempo de exposição [ORÍÁ et al, 2003].

Na ASHRAE [1992] encontra-se que o conforto térmico é “um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e o suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.

Segundo LAMBERTS e XAVIER [2002], os estudos de conforto térmico visam analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupações humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente. A importância do estudo de conforto térmico está baseada principalmente em três fatores:

- A satisfação do homem ou seu bem estar em se sentir termicamente confortável;
- A performance humana, muito embora os resultados de inúmeras investigações não sejam conclusivas a esse respeito. Os estudos mostram uma clara tendência de

que o desconforto causado por calor ou frio, reduz a performance humana. As atividades intelectuais, manuais e perceptivas, geralmente apresentam um melhor rendimento quando realizadas em conforto térmico.

- A conservação de energia, pois devido à crescente mecanização e industrialização da sociedade, as pessoas passam grande parte de suas vidas em ambientes com climas artificiais, ambientes condicionados, e assim sendo, uma vez conhecendo-se as condições e os parâmetros relativos ao conforto térmico dos ocupantes do ambiente, evitam-se desperdícios com calefação e refrigeração, muitas vezes desnecessários.

Além disso, devido à variação biológica entre as pessoas, é impossível que todos os ocupantes do ambiente se sintam confortáveis termicamente, e assim busca-se criar condições de conforto para o grupo, ou seja, condições nas quais a maior percentagem do grupo esteja em conforto térmico.

A condição de neutralidade térmica é condição necessária, mas não suficiente para que uma pessoa encontre-se em conforto térmico, pois a mesma pode encontrar-se em neutralidade térmica e estar sujeita a algum tipo de desconforto localizado, isto é, sujeita a uma assimetria de radiação significativa, sujeita a alguma corrente de ar localizada, ou ainda estar sobre algum tipo de piso frio ou aquecido, e assim sendo, não estar em condição de conforto térmico.

2.4.1 Desconforto Localizado em Pisos Aquecidos ou Resfriados

Vários fatores podem causar desconforto localizado em indivíduos, estejam eles desempenhando quaisquer atividades. Esses fatores não atingem o corpo como um todo, porém apenas uma parte, e embora a pessoa possa estar satisfeita com a temperatura do corpo como um todo, normalmente está aborrecida com esse incômodo, não estando dessa forma em conforto [LAMBERTS e XAVIER, 2002].

Entre os principais fatores que causam esse desconforto, pode-se citar os pisos aquecidos ou resfriados. O desconforto local pode ser verificado quando os pés estão em contato direto com esses pisos. A temperatura do piso é muito influenciada por características construtivas dos prédios (isolamento do piso, camada de contrapiso, materiais de construção e outros). Uma reação normal das pessoas em contato com o piso muito frio, é aumentar a

temperatura interna do ambiente, geralmente utilizando-se sistemas de calefação, possibilitando o desconforto térmico e contribuindo para o aumento do consumo de energia.

Em alguns estudos referentes à resposta das pessoas à temperatura do piso, observou-se que quando as pessoas encontram-se calçadas normalmente, o material de acabamento do piso não é importante, porém em locais onde normalmente as pessoas encontram-se descalças, esse item já se torna significativo [ASHRAE, 1997].

Dependendo do revestimento do piso onde circulam pessoas descalças, são recomendadas faixas de temperatura:

- Acabamento têxtil (carpetes ou tapetes): 21 a 28° C;
- Acabamento em madeira: 24 a 28° C;
- Acabamento em concreto: 26 a 28,5° C.

2.4.2 Queimaduras causadas pelo Contato da Pele com Superfície Quente

Quando a pele entra em contato com uma superfície quente podem ocorrer queimaduras. A queimadura depende de diversos fatores, os mais importantes são:

- a temperatura da superfície;
- o material do qual consiste a superfície;
- o período de contato entre a pele e a superfície;
- a rugosidade da superfície;
- a sensibilidade da pessoa que está em contato com a superfície (exemplo: crianças, adultos, etc).

A Figura 2 [ISO 13732-1, 2004] mostra a propagação do limiar de queimadura quando a pele está em contato com uma superfície lisa quente feita de materiais cerâmicos, vítreos e pedregosos (mármore, concreto). Nessa figura, $D(s)$ é o período de contato e T_{sup} é a temperatura de contato da pele com a superfície do material.

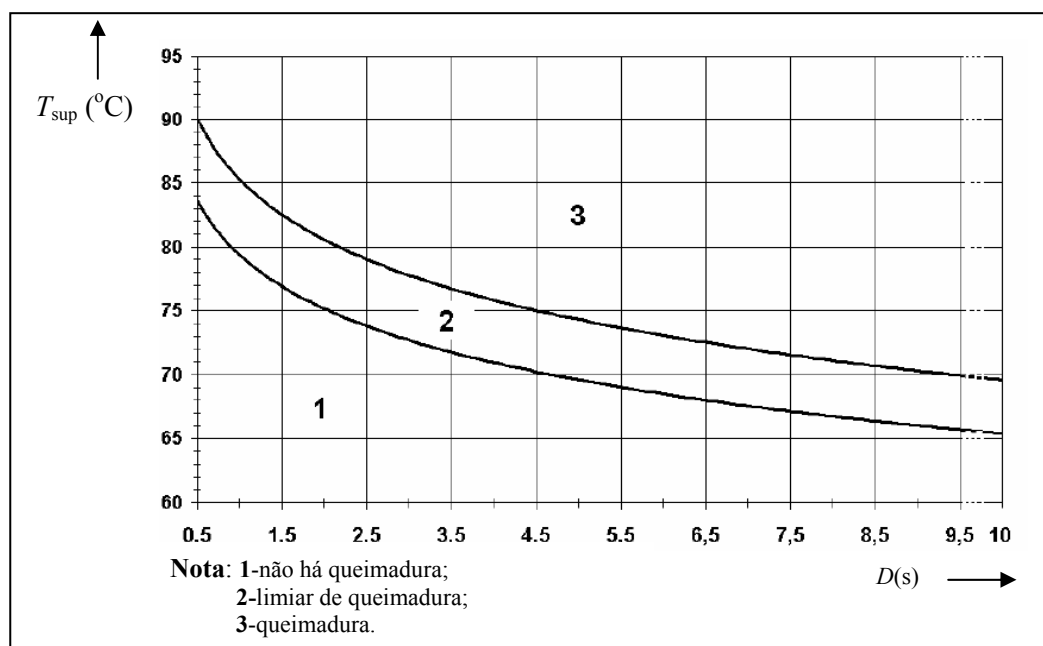


Figura 2 - Propagação do limiar de queimadura quando a pele está em contato com uma superfície lisa quente como a de materiais cerâmicos, vítreos e pedregosos [ISO 13732-1, 2004].

Os dados encontrados nesta figura podem ser utilizados para a fabricação de produtos que levem em conta a segurança no contato entre uma pessoa com o pé descalço e a superfície deste produto aquecido.

Com relação a uma superfície quente pode-se ter um contato intencional, como por exemplo, operar uma máquina elétrica, a gás ou uma ferramenta, ou um contato não intencional, quando a pessoa está perto de um objeto quente. O período de contato com a superfície quente será diferente se o objeto é tocado intencionalmente ou se ele é tocado não intencionalmente. Considerando o tempo de reação humana e sua distribuição na população, 0,5s é o período mínimo aplicado para o contato em uma superfície aquecida de forma não intencional para adultos saudáveis em um nível de segurança aceitável. Para o toque intencional o período de contato aplicado poderá ser maior. A Norma ISO 13732-1 [2004] apresenta um período de contato que representa melhor as circunstâncias reais. A Tabela 2 mostra os valores para a estimação do período de contato da pele com o produto aquecido:

Tabela 2 - Orientação para a seleção dos períodos de contato.

Período de contato até	Exemplos de contato com superfícies quentes	
	<i>Não intencional</i>	<i>Intencional</i>
0,5s	contato com uma superfície quente e retirada mais rápida seguida de sensação de dor sem restrição de movimento	_____a
1s	contato com uma superfície quente e rápida retirada seguida de sensação de dor	_____a
4s	contato com uma superfície quente e reação de tempo entendida	ativamento de uma chave, pressionando um botão.
10s	caindo contra uma superfície sem recobrimento	ativamento prolongado de uma chave, pouco ajuste de uma roda de mão, válvula, etc.
1 min		ligando uma roda de mão, válvula, etc.
10 min		uso de elementos de controle (controles, alavancas, etc).
8 h		uso contínuo de elementos de controle (controles, alavancas, etc).
a: não aplicável		

Os dados ergonômicos estabelecidos nesta norma são principalmente baseados em pesquisas científicas e representam o comportamento da pele humana quando em contato com uma superfície quente. Alguns dados (exemplo: dados do princípio de queimadura para contatos muito curtos de 0,5 s) não são diretamente baseados em pesquisas científicas, mas são deduzidos por extrapolação da curva limite conhecida. Alguns dados para dor podem ser obtidos de normas nacionais, bibliografia e PD 6504 [1983].

Os valores do limiar de queimaduras especificados na Figura 3 são baseados em pesquisas científicas realizadas por diversos grupos. MORITZ e HENRIQUES [1947] realizaram experimentos com a pele de porcos que é muito similar à pele humana. Eles investigaram os valores de temperatura da superfície da pele que acarretam a queimadura da pele. A ocorrência de um ferimento da pele depende das temperaturas superficiais da pele e do tempo de exposição. Através dos resultados obtidos por investigações, MORITZ e HENRIQUES [1947], distinguiram para cada período de exposição à alta temperatura dois limiares de queimadura para a superfície da pele. A mais baixa indica o limite entre o não-ferimento e o começo de um ferimento cutâneo reversível. O mais alto indica o limite entre a ocorrência de um ferimento reversível e a ocorrência de um ferimento cutâneo irreversível, o qual não pode cicatrizar e resulta na completa destruição da pele (toda a espessura queimada).

WU [1972 e 1977] investigou, do ponto de vista teórico, o fluxo de calor do objeto quente para a pele quando o objeto é tocado. Ele especificou fórmulas para o cálculo da

temperatura da superfície da pele e dentro da pele. Utilizando os valores limites de MORITZ e HENRIQUES [1947] é possível, em alguns casos, calcular a temperatura da superfície do objeto aquecido que ocasiona uma queimadura na pele quando tocada.

MARZETTA [1974] construiu um instrumento chamado “Thermesthesiometer”, que é capaz de medir a temperatura na superfície quando o objeto aquecido é tocado.

SIEKMANN [1990] utilizou o “Thermesthesiometer” com os dados de MORITZ e HENRIQUES [1947].

BAUER e MANZINGER realizaram experimentos com ratos e porcos. Eles determinaram para diferentes materiais, as temperaturas que ocasionam queimaduras de diferentes profundidades e severidades quando a pele do animal entra em contato com a superfície do material aquecido. Apesar dos intervalos de temperatura utilizados serem relativamente grandes, estes resultados mostraram estar de acordo com os resultados de SIEKMANN [1990].

Os valores limites de queimaduras especificados na norma ISO 13732-1 [2004] são baseados em resultados medidos por SIEKMANN [1990] para períodos de contato curtos e por MORITZ e HENRIQUES [1947] para períodos de contato longos. Os valores limites de queimadura, em particular para períodos de contato curtos, são objetos de incerteza. Isto ocorre devido ao fato de que:

- a força do contato pode variar;
- a pele pode estar seca ou úmida (suando);
- a determinação científica do limite de queimadura pode conter incertezas;
- materiais com leves diferenças de inércias térmicas são combinados dentro de um grupo para simplificar o uso da norma ISO 13732-1 [2004].

Todas essas influências produzem uma incerteza no limiar de queimadura. Entretanto, as influências mencionadas são consideradas pequenas comparadas à influência da condutividade térmica dos materiais.

Para períodos de contato longos a localização do limiar de queimadura é conhecida com maior precisão. Então, nesses casos, os valores exatos são especificados na norma ISO 13732-1 [2004].

Quando os materiais não são especificados claramente, os valores do limiar de queimadura podem, em alguns casos, ser obtidos se a condutividade térmica do material em questão é conhecida, como também a inércia térmica e a capacidade térmica específica [WU, 1977]. A inércia térmica pode ser obtida da literatura ou através de medições. Em todos os

casos é recomendável se usar um “Thermesthesiometer” e o método descrito por SIEKMANN [1989] e SIEKMANN [1990] para se determinar o valor do limiar de queimadura.

A norma ISO 13732-1 [2004] trata apenas dos dados de temperatura para o limite de queimadura. Mas em alguns casos, o limite da dor é de interesse, por exemplo, quando se pretende fazer o contato da superfície quente com a pele. Os valores para os limites de dor podem então ser obtidos em PD 6504 [1983].

2.4.3 Contato da Pele com Superfície Fria

Trabalhar sem protetores nas mãos acaba sendo freqüente “na indústria do frio” quando uma tarefa de precisão é demandada. Entretanto, o contato da pele exposta a superfícies resfriadas pode causar efeitos graves como a ulceração. Além disso, repetidas exposições ao frio, com severo resfriamento da pele, pode induzir a ferimentos (possível perigo de ataque a nervos ou artérias). Embora existam normas internacionais para a avaliação dos perigos que envolvem o frio até o momento, essas normas não se preocupam com os problemas especiais de contato com superfícies resfriadas.

Para avaliar o perigo do ferimento causado pelo frio, é necessário conhecer os principais fatores que afetam o resfriamento da mão e dos dedos em superfícies resfriadas. Estes fatores envolvem:

- as propriedades da superfície do objeto;
- a temperatura da superfície resfriada;
- a duração do contato entre a pele e a superfície;
- as características da pele das mãos e dos dedos e a natureza do contato.

Na prática, estes fatores interagem entre si e são relativamente complicados. O tipo do material tem um impacto no tempo de contato em várias temperaturas de resfriamento. A norma ISO 13732-3 [2005] apresenta uma correlação empírica para o tempo de contato em função da temperatura de superfície do material e de um coeficiente de penetração térmico.

O Fator de contato, F_c , é o coeficiente de penetração térmico ($10^3 \text{J/s}^{0.5} \text{m}^2 \text{K}$). Na realidade esse “coeficiente de penetração térmico” é a efusividade térmica do material (ϵ), definida pela equação (1):

$$\varepsilon = \sqrt{\rho \cdot \lambda \cdot c}, \quad (1)$$

onde: ε = efusividade térmica ($\text{W}\cdot\text{s}^{0,5}/\text{m}^2\text{K}$), ρ é a massa específica (kg/m^3), λ = condutividade térmica (W/mK), e c é o calor específico ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$).

Esta norma ISO 13732-3 [2005] apresenta os resultados obtidos através de pesquisas experimentais com dedos humanos e dedos artificiais. Os resultados compilados podem servir como base para o desenvolvimento de um banco de dados ergonômicos nesta norma.

O banco de dados, contendo dados experimentais do contato do dedo e da mão do ser humano segurando superfícies frias, foi compilado a partir de dados obtidos em experimentos de cinco laboratórios. Os cinco parceiros utilizaram uma metodologia em comum [GENG et al, 2000; GENG et al, 2001; HARTOG et al, 2000; JAY et al, 2000; PIETTE et al, 2000]. Os experimentos em vários materiais (madeira, nylon, pedra, aço e alumínio) foram realizados nas temperaturas de superfície, T_{sup} , de -40°C a 5°C .

O tempo de contato para alcançar a temperatura crítica teve uma ampla variação entre os indivíduos [HOLMÉR et al, 2000; RISSANEM et al, 2000].

2.5 Propriedades Térmicas

Para garantir o conforto térmico de pisos cerâmicos, duas propriedades térmicas precisam ser avaliadas: a efusividade térmica (que é a raiz quadrada do produto da condutividade pela capacidade térmica que caracteriza quão facilmente o calor pode ser absorvido pela superfície do material) e a resistência de contato que é influenciada pela rugosidade da superfície dos pisos.

Quanto menor a efusividade do piso, mais a temperatura de sua superfície se aproxima da temperatura do corpo, resultando em um maior conforto. Além disso, a rugosidade do piso atua como uma resistência térmica de interface, reduzindo a troca de calor entre o pé e o piso e também proporcionando conforto térmico. Dessa forma, para entendermos essas duas propriedades térmicas, outros conceitos e propriedades são apresentados a seguir.

2.5.1 Massa Específica e Calor Específico

As propriedades termodinâmicas dizem respeito ao estado de equilíbrio de um sistema. A massa específica (ρ) e o calor específico (c) são duas dessas propriedades usadas extensamente na análise térmica.

O calor específico (c) define a quantidade de calor necessária para elevar em um grau a temperatura de um componente, por unidade de massa. Sua unidade é o J/kg.K. Segundo YANNAS e MALDONADO [1995], a diferença de capacidade de armazenamento de calor entre materiais é revelada quando se analisa a capacidade térmica.

A capacidade térmica mede a capacidade do material em armazenar energia térmica definido por INCROPERA e DE WITT [1992] como sendo o produto entre a densidade (ρ) e o calor específico (c).

Uma comparação entre o concreto e o poliestireno expandido, os dois com espessuras para que suas resistências térmicas sejam as mesmas foi feita por RIVERO [1986]. Esta mostra que o concreto requer 3900 vezes mais calor que o poliestireno para uma mesma elevação de suas temperaturas. E comenta que esta propriedade é que diferencia tão acentuadamente os materiais, e isto é que provoca comportamentos desiguais em regime transiente.

2.5.2 Difusividade Térmica

Na transferência de calor, a relação entre a condutividade térmica do material e sua capacidade calorífica é uma importante propriedade termofísica chamada difusividade térmica, α , que possui como unidade no SI m^2/s , sendo definida pela expressão [YANNAS e MALDONADO, 1995]:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}, \quad (2)$$

onde: λ = condutividade térmica (W/m.K), α = difusividade térmica (m^2/s), ρ = massa específica (kg/m^3) e c = calor específico (J/kg.K)

A difusividade térmica α é a propriedade de transporte que controla o processo de transferência de calor por condução em regime transiente. Ela mede a capacidade do material

de conduzir a energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la. Materiais com valores elevados de α responderão rapidamente à mudanças nas condições térmicas a eles impostas, enquanto materiais com valores reduzidos de α responderão mais lentamente, levando mais tempo para atingir uma condição de equilíbrio.

O valor médio da difusividade dos materiais comumente empregados na construção civil é da ordem de $5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. A madeira, por exemplo, tem um valor três vezes menor, já o metal tem o valor de difusividade cerca de cem vezes maior que o da madeira [NETO, 2003].

2.5.3 Condutividade Térmica

A Condutividade Térmica é definida como a taxa à qual o calor flui através de certa área de um corpo. Os valores de condutividade térmica dos materiais cerâmicos variam conforme sua função, isto é, estes devem ser baixos quando se pretende minimizar as perdas de calor, caso típico de isolantes, e altos quando se deseja maior transferência de calor, em casos de operações de aquecimento, como em fornos, fornalhas, ou para evitar falhas devido ao choque térmico. Assim sendo, dados confiáveis de condutividade térmica são essenciais para que um material cerâmico possa ter desempenho previsível.

Segundo FONSECA [1999], para a determinação da condutividade térmica vários são os métodos propostos. Estes são divididos em diretos e indiretos. Os métodos diretos medem a condutividade térmica a partir de resultados experimentais, como por exemplo, o método calorimétrico de placa quente - placa fria. Já os indiretos medem experimentalmente uma ou mais propriedades do material e definem a condutividade térmica através desta ou destas. Como por exemplo, pode-se citar a técnica do pulso de energia, introduzida por PARKER [1961], que parte da difusividade térmica para o cálculo da condutividade térmica do material. Da mesma forma, SANTOS [1996], valendo-se da medição indireta e considerando a correlação entre a difusividade térmica, densidade e calor específico, calculou a condutividade térmica de materiais cerâmicos a partir da equação (2).

A condutividade térmica também pode ser medida através de métodos comparativos. O pesquisador MORREL [1989] sustenta que a melhor técnica para a medição da condutividade térmica para os materiais de baixa condutividade térmica é o método de comparação; enquanto que para amostras mais condutoras indica o método estacionário de troca de calor.

Os métodos normalizados comumente utilizados para medição da condutividade térmica de materiais cerâmicos do tipo isolantes térmicos são basicamente o das placas quentes protegidas [NBR 15220-4, 2005] e o do transdutor de fluxo de calor [ISO 8301,1991].

2.5.4 Efusividade Térmica

O contato súbito entre dois corpos com temperaturas distintas está presente em diferentes situações do dia a dia e da engenharia. Uma das situações (e objeto desse estudo) é o contato entre o pé descalço e o piso. Trata-se de um típico problema de condução transiente, podendo ser analisado por diferentes métodos.

Uma das formas de análise mais simplificadas é através da consideração de “sólido semi-infinito”, onde a equação do calor para a condução transiente é:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3)$$

Para resolver a equação (3), determinando a distribuição de temperaturas $T(x, t)$, torna-se necessário especificar uma condição inicial que é dada por:

$$T(x, 0) = T_i \quad (4)$$

Uma condição de contorno no interior do sólido possui a forma:

$$T(\infty, t) = T_i \quad (5)$$

Outras soluções em forma fechada foram obtidas para três importantes condições superficiais impostas instantaneamente em $t = 0$. Essas condições são mostradas na Figura 3. Elas incluem a temperatura superficial constante $T_{sup} \neq T_i$, fluxo térmico constante na superfície q''_o e exposição da superfície a um fluido caracterizado por $T_\infty \neq T_i$ e pelo coeficiente de transferência de calor por convecção h .

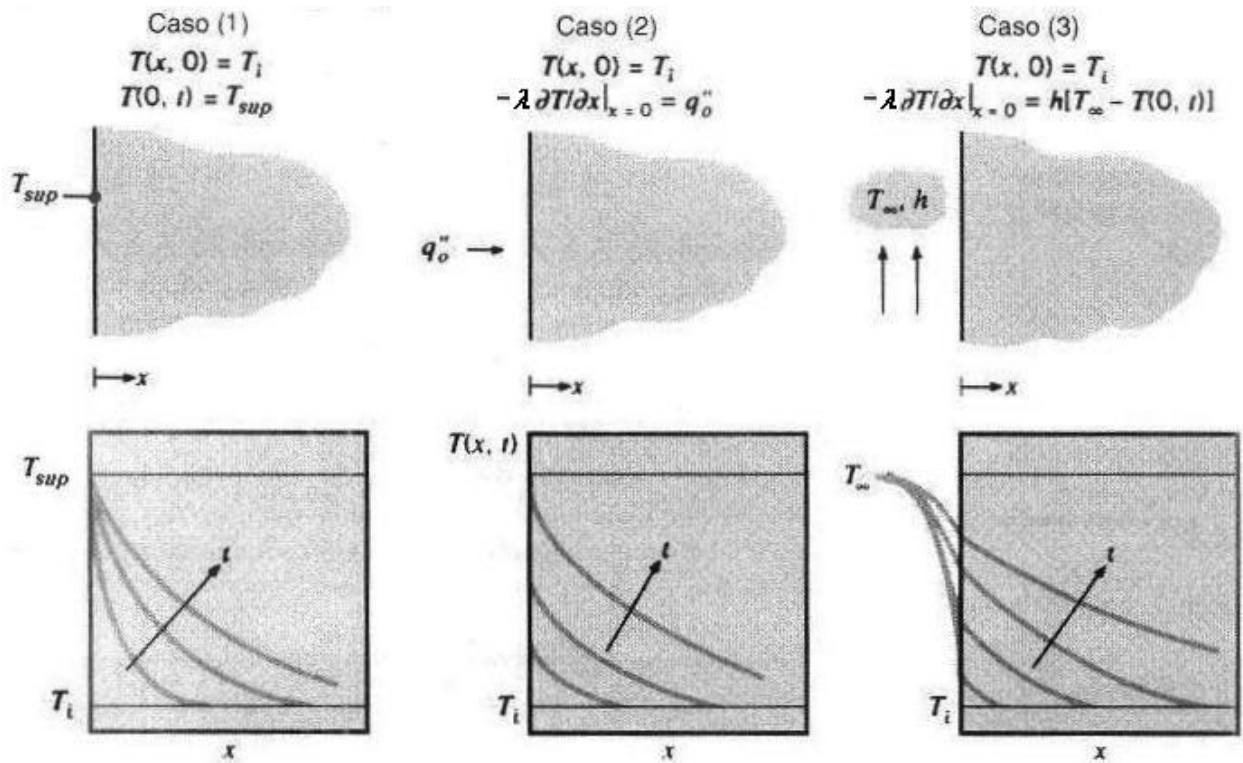


Figura 3 - Distribuições de temperaturas transientes em um sólido semi-infinito para três condições superficiais: temperatura superficial constante, fluxo térmico na superfície constante e convecção na superfície [INCROPERA e DE WITT, 1998].

De acordo com INCROPERA e DE WITT [1998], as soluções são:

Caso 1: Temperatura superficial constante: $T(0, t) = T_{sup}$

$$\frac{T(x, t) - T_{sup}}{T_i - T_{sup}} = \text{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} \right) \quad (6)$$

$$q_{sup}'' = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\lambda(T_{sup} - T_i)}{\sqrt{\pi \alpha t}} \quad (7)$$

Caso 2: Fluxo térmico constante na superfície: $q_{sup}'' = q_o''$

$$T(x, t) - T_i = \frac{2q_o''(\alpha t / \pi)^{1/2}}{\lambda} \exp\left(\frac{-x^2}{4\alpha t}\right) - \frac{q_o'' x}{\lambda} \text{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \quad (8)$$

Caso 3: Convecção na superfície: $-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = h[T_\infty - T(0, t)]$

$$\frac{T(x,t) - T_i}{T_\infty - T_i} = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) - \left[\exp\left(\frac{hx}{\lambda} + \frac{h^2 \alpha t}{\lambda^2}\right) \right] \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} + \frac{h\sqrt{\alpha t}}{\lambda}\right) \right] \quad (9)$$

A forma da função erro, $\operatorname{erf}(w)$, é dada pela equação (10):

$$\operatorname{erf}(w) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt, \quad (10)$$

A função erro complementar, $\operatorname{erfc}(x)$, é definida como:

$$\operatorname{erfc}(w) = 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty e^{-t^2} dt. \quad (11)$$

Uma interessante alteração do caso 1 ocorre quando dois sólidos (A e B) semi-infinitos, inicialmente nas temperaturas uniformes $T_{A,i}$ e $T_{B,i}$, são colocados em contato e tenderão a entrar em equilíbrio (Figura 4). Desprezando a resistência de contato, pode-se demonstrar que a temperatura de interface ou temperatura superficial de equilíbrio (T_{sup}) será constante ao longo do tempo [INCROPERA e DE WITT, 1998] e pode ser determinada por um balanço de energia de superfície, que exige:

$$q''_{\text{sup},A} = q''_{\text{sup},B}. \quad (12)$$

Com as expressões de $q''_{\text{sup},A}$ e de $q''_{\text{sup},B}$ da equação (8), e levando em conta que a coordenada x da Figura 4 tem que mudar de sinal para $q''_{\text{sup},A}$, segue-se que:

$$\frac{-\lambda_A (T_{\text{sup}} - T_{A,i})}{(\pi \alpha t)^{1/2}} = \frac{\lambda_B (T_{\text{sup}} + T_{B,i})}{(\pi \alpha t)^{1/2}}. \quad (13)$$

Resolvendo em termos de T_{sup} , fica:

$$T_{\text{sup}} = \frac{(\lambda \rho c)_A^{1/2} T_{A,i} + (\lambda \rho c)_B^{1/2} T_{B,i}}{(\lambda \rho c)_A^{1/2} + (\lambda \rho c)_B^{1/2}}, \quad (14)$$

ou ainda:

$$T_{\text{sup}} = \frac{\varepsilon_A T_A + \varepsilon_B T_B}{\varepsilon_A + \varepsilon_B}. \quad (15)$$

Então a efusividade térmica dos corpos A e B: $\varepsilon_{A,B} \equiv (\lambda \rho c)^{1/2}$ é um fator de ponderação que determina se a temperatura de interface (T_{sup}) ficará mais próxima de T_A (se $\varepsilon_B > \varepsilon_A$) ou de T_B (se $\varepsilon_B < \varepsilon_A$). Os materiais cerâmicos (porosos ou não) apresentam valores de calor específico bastante semelhante (em torno de 1kJ/kg.K). Conseqüentemente, a efusividade depende quase que exclusivamente da condutividade térmica e da densidade do material.

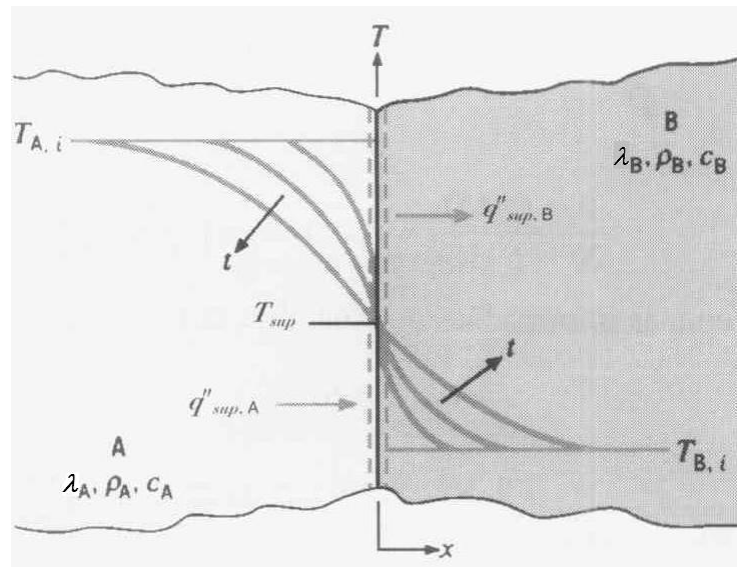


Figura 4 - Contato interfacial entre dois sólidos semi-infinitos com diferentes temperaturas iniciais [INCROPERA e DE WITT, 1998].

A efusividade térmica (ε) caracteriza quão facilmente o calor pode ser absorvido pela superfície do material. Pode-se dar um exemplo do efeito da efusividade térmica imaginando-se a sola do pé em contato com uma superfície que está a 20 °C, quando produz uma sensação de frio, indica um material de alta efusividade, quando a sensação é de uma temperatura morna, significa um material com baixa efusividade. A efusividade tende a ser alta quando tanto a condutividade térmica como a capacidade térmica são altas.

2.5.5 Resistência de contato das placas cerâmicas

De acordo com GREENWOOD [1991], a taxa transiente de transferência de calor entre dois sólidos em contato ao longo do tempo é:

$$\frac{q}{\lambda T_o} = \frac{1}{R_o^*} + \frac{1}{2\pi R_o^{*2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi \alpha t}}, \quad (16)$$

onde: q é o fluxo de calor (W), t é o tempo (s) e R_o^* / λ é a resistência térmica em regime permanente.

A solução assintótica de curto tempo para o fluxo de calor entre dois corpos similares em contato tem sido mostrada por BARBER [1989]. A solução assintótica de longo tempo tem a mesma forma que a assíntota de curto tempo:

$$\frac{q}{\lambda T_o} = C_o + \frac{C_1}{\sqrt{\pi \alpha t}}, \quad (17)$$

mas, geralmente tem diferentes coeficientes. C_o é a constante da condutância térmica do contato estacionário, C_1 é um coeficiente igual a $8b^2/\pi$, T_o é a metade da diferença da temperatura inicial ou temperatura da área de contato (constante), λ é a condutividade térmica e α é a difusividade térmica [NORMINTON e BLACWELL, 1964].

BARBER [1989] tem mostrado que quando dois sólidos semi-infinitos do mesmo material em diferentes e uniformes temperaturas são colocados em contato, o fluxo de calor entre eles em curtos tempos é:

$$\frac{q}{\lambda T_o} = \frac{A}{\sqrt{\pi \alpha t}} + \frac{1}{2} S, \quad (18)$$

onde: A é a área de contato e S é o perímetro da área de contato [NORMINTON e BLACWELL, 1964].

2.6 Correlações entre microestrutura e propriedades térmicas das cerâmicas porosas

Nos materiais cerâmicos a microestrutura característica, resultante da composição e condições de queima, define a condutividade térmica final das peças.

Fatores como forma e orientação de grãos, quantidade, tipo e distribuição de fases e porosidade, interferem diretamente nos valores da condutividade térmica. As formas como as fases constituintes se apresentam, isto é, fase sólida com estrutura cristalina ou vítrea (amorfa) e poros abertos e/ou fechados, é fundamental para definição de maior ou menor condutividade térmica do material [FONSECA, 1999].

Os materiais cerâmicos cuja parte sólida é constituída por uma única fase cristalina ou pela combinação de fases cristalinas e vítreas, conduzem mais que as amorfas [KINGERY, 1976].

A Figura 5 contém exemplos de condutividade térmica em materiais cerâmicos simples (uma única fase). Os materiais cerâmicos cristalinos caracterizam-se por valores maiores de condutividade térmica, a baixas temperaturas, e redução destes valores à medida que a temperatura aumenta. A justificativa de tal fato encontra-se na desordem que ocorre na estrutura do reticulado.

Para o cálculo da condutividade térmica, tanto a forma como a distribuição das fases é importante [VAN VLACK, 1970]. A condutividade térmica dos materiais cerâmicos com duas ou mais fases sólidas representa a média ponderada das condutividades das fases componentes.

A condutividade térmica de um corpo cerâmico depende da condutividade das fases presentes em sua microestrutura. Entre elas, a “fase” poro desempenha um papel fundamental. É bem sabido que poros maiores conduzem calor com muita eficiência por radiação. Porém, somente a temperaturas onde o fenômeno da radiação como mecanismo de condução térmica atue preponderadamente, isto é, acima de 800°C. Abaixo desta temperatura, a condução pela rede é o mecanismo principal, e os grandes vazios dos poros maiores atuam então como barreira ao transporte de calor. Outra fase presente na microestrutura dos corpos cerâmicos que interfere na condutividade térmica é a fase vítrea (arranjo atômico) diminuindo a condutividade [GONÇALVES e BERGMANN, 2006].

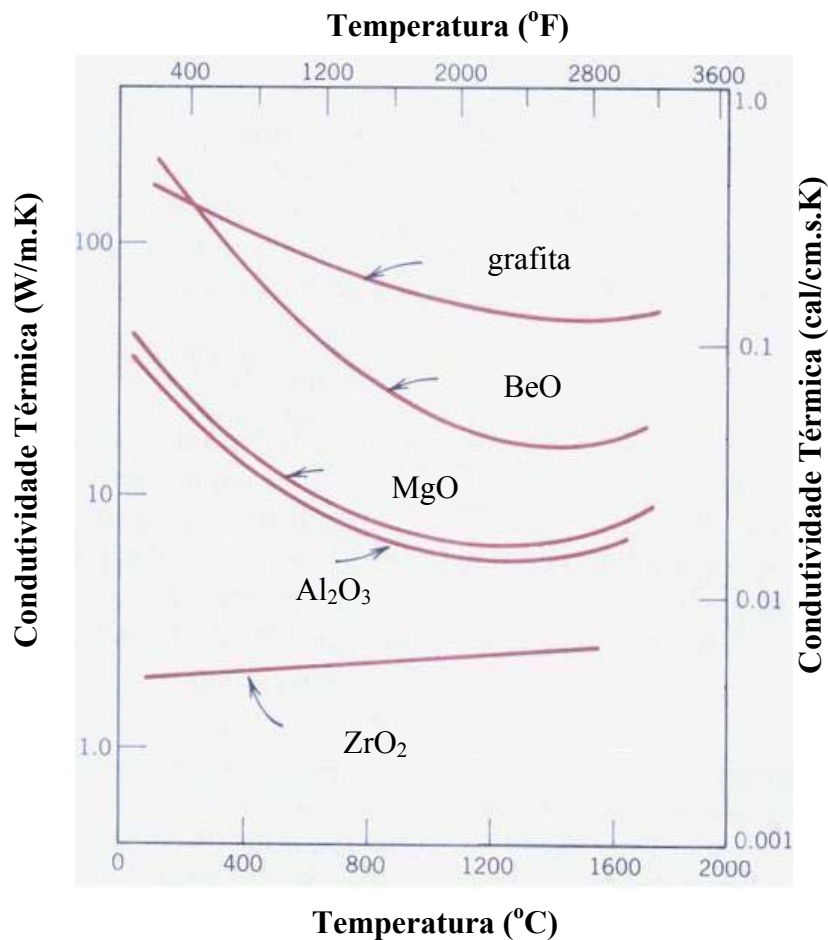


Figura 5 - Condutividade térmica versus a temperatura para diversos materiais cerâmicos [KINGERY, 1976].

A condutividade térmica de materiais cerâmicos, segundo INCROPERA e DE WITT [1998], corresponde ao calor trocado através de uma área unitária de material sujeito a um gradiente de temperatura. Para temperaturas de trabalho menores que 800°C , matematicamente, a condutividade térmica pela rede pode ser expressa pela seguinte equação, ou lei de Fourier.

$$\lambda = \frac{-q_x}{\partial T / \partial x}, \quad (19)$$

onde: q_x é a densidade de fluxo de calor na direção x (W/m^2) e $\partial T / \partial x$ é o gradiente de temperatura na direção x (K/m).

O sinal negativo da equação (19) é necessário, visto que o calor é transferido sempre na direção das temperaturas decrescentes e λ é um parâmetro positivo.

Como se pode observar na Figura 6, quando há uma condução térmica paralela às fases constituintes, a condutividade térmica é obtida através da equação (20), que representa a soma da contribuição em volume de todas as fases presentes. Já, para o caso de fluxo de calor orientado perpendicular às fases, a condução é em série e pode ser obtida aplicando a equação (21).

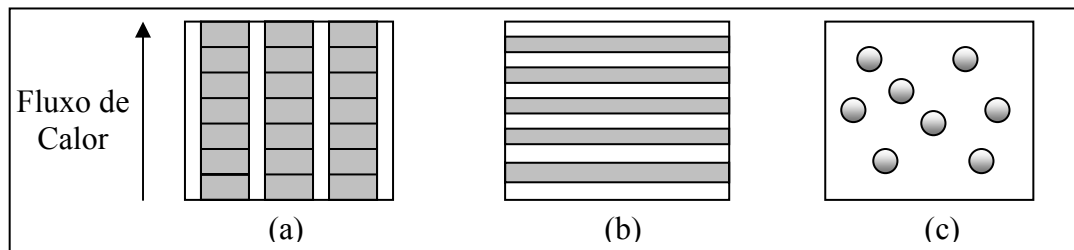


Figura 6 - Condutividade térmica versus distribuição de fases (idealizado). (a) Condutividade térmica em paralelo; (b) Condutividade térmica em série; (c) Condutividade através de um material com uma fase dispersa [VAN VLACK, 1970].

A condutividade térmica em paralelo é obtida pela equação (20):

$$\lambda = v_1 \lambda_1 + v_2 \lambda_2 + \dots \quad (20)$$

A condutividade térmica em série é obtida pela equação (21):

$$1/\lambda = v_1/\lambda_1 + v_2/\lambda_2 + \dots, \quad (21)$$

onde v_1 e v_2 são as frações volumétricas de cada fase e λ_1 e λ_2 são as condutividades térmicas de cada fase (W/m.K).

Segundo RHEE [1975], várias equações têm sido propostas para correlacionar a condutividade térmica de cerâmicas com a porosidade. Geralmente, as equações de correlação propostas por AUSTIN [1939], FRANCL e KINGERY [1954] e BIANCHERIA [1966] são satisfatórias. A melhor equação que correlaciona à condutividade térmica de cerâmicas porosas com a porosidade é proposta por AIVAZOV e DOMASHNEV [1968]:

$$\frac{\lambda_{ap}}{\lambda_o} = \frac{1 - P}{1 + nP^2}, \quad (22)$$

onde λ_{ap} é a condutividade térmica de uma cerâmica porosa, λ_o que é a condutividade do corpo cerâmico livre de poros, P é a porosidade e n uma constante. SUGAWARA e YOSHIZAWA [1962] obtiveram o valor da condutividade térmica de grês a 70°C. De acordo com esses dados, o valor de n corresponde a 3 e $\lambda_o = 1,65$ W/m.K.

Considerando-se que não há variação do calor específico com a inclusão de poros, e que a densidade do ar é desprezível face à densidade da matriz cerâmica, a equação (22) pode ser escrita em termos da efusividade (ε) de acordo com a equação (23):

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} = \frac{1-P}{\sqrt{1-nP^2}}, \quad (23)$$

onde: ε_o é a efusividade da fase contínua.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a obtenção das placas cerâmicas porosas, foram consideradas três alternativas diferentes. Na primeira alternativa, um material poroso (fibras de sílica amorfa) foi incorporado à massa atomizada. Na segunda alternativa, as placas cerâmicas porosas foram elaboradas variando-se a pressão de compactação sem a incorporação de resíduos. A terceira alternativa foi a obtenção de placas cerâmicas porosas através da incorporação de resíduo do polimento de porcelanato ao pó cerâmico atomizado industrialmente e variando-se a temperatura de queima.

No primeiro caso, as placas cerâmicas porosas foram obtidas através da compactação de pó cerâmico atomizado incorporando-se diferentes frações em massa (10, 20, 30, 40 e 50%) de fibras de sílica amorfa mantendo-se a temperatura de queima a 1170°C e a pressão de compactação constante de 30MPa. No segundo, as placas cerâmicas constituídas apenas de massa atomizada, foram elaboradas mantendo-se a temperatura de queima a 1170°C e variando-se a pressão de compactação (10, 15, 20, 25 e 30 MPa).

A terceira alternativa utilizada foi a incorporação de resíduo do polimento de porcelanato ao pó atomizado industrialmente, incorporando-se frações em massa de 10, 20, 30, 40, 50, 75 e 100% mantendo-se a temperatura de queima a 1170°C e a pressão de compactação constante de 30MPa. Para as composições de 20, 50, 100% de resíduo do polimento foram variadas as temperaturas de queima das amostras entre 950 e 1250°C.

Após a obtenção das placas cerâmicas porosas, foi escolhida a alternativa mais adequada utilizada para a obtenção das mesmas, bem como, a melhor técnica de processamento mantendo as propriedades e características requeridas para os produtos de revestimentos cerâmicos. Dessa forma, a alternativa escolhida foi a fabricação de placas cerâmicas utilizando o resíduo do polimento de porcelanato gerado pela indústria de pisos.

A Figura 7 ilustra o esquema geral utilizado na fabricação das placas cerâmicas: dosagem, preparação da massa, conformação por prensagem, secagem, esmaltação e queima. Inicialmente realizou-se um estudo de caracterização das matérias-primas, quanto à granulometria e à morfologia. As matérias-primas e as amostras das placas cerâmicas compactadas obtidas foram avaliadas por análise química, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise semi-quantitativa de EDS. Já para as amostras escolhidas, além dessas análises, foram realizadas: análise por difração de raios X, análise termogravimétrica (TG) e análise térmica diferencial (ATD). A medição das propriedades térmicas (efusividade

e condutividade), mecânicas (módulo de ruptura à flexão e resistência à abrasão), físicas (porosidade, absorção de água, densidade) e outras também foram avaliadas.

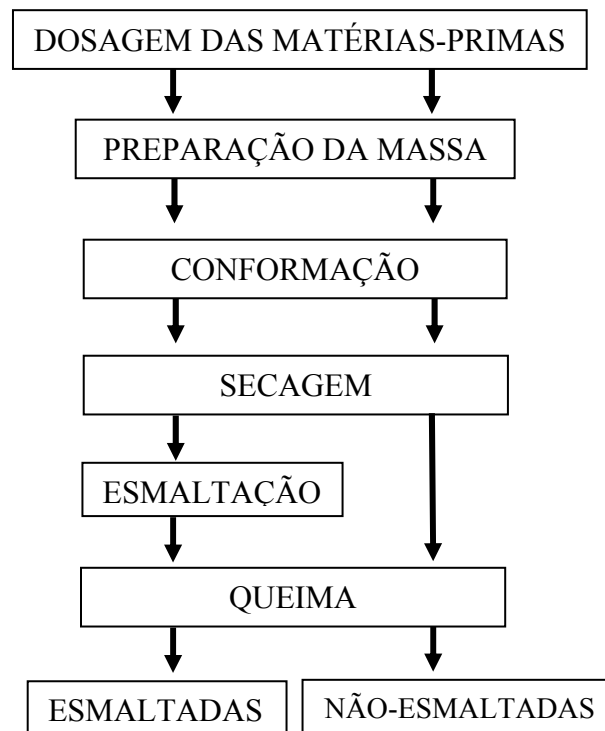


Figura 7 - Fluxograma de fabricação das placas cerâmicas.

Além do desenvolvimento de pisos cerâmicos que proporcionem conforto térmico ao contato, como os modelos matemáticos mostrados na literatura tratam apenas da resistência de contato entre duas superfícies lisas, uma simulação numérica foi desenvolvida para a determinação da temperatura de contato transiente para dois corpos ou superfícies rugosas. Conseqüentemente, desenvolveu-se uma simulação numérica para calcular a temperatura de contato entre o pé (que apresenta uma certa rugosidade) e uma superfície rugosa. Os valores obtidos pela simulação numérica foram comparados aos valores experimentais medidos através de um dispositivo experimental elaborado, como também, aos valores teóricos obtidos através do modelo teórico utilizado [AIVAZOV e DOMASHNEV, 1968].

3.1 Fabricação das placas cerâmicas porosas utilizando fibras de sílica amorfa

As fibras de sílica amorfa utilizadas neste trabalho, também denominadas de espongilitos ou espículos de sílica, são corpos minerais oriundos de depósitos geológicos

existentes em abundância no Brasil. São resultantes de precipitações biogenéticas realizadas por esponjas de água doce que utilizam os espículos como uma forma de suporte em sua estrutura. Existem aproximadamente 5000 espécies de esponjas conhecidas com cerca de 150 de água doce. No Brasil os índios já utilizavam misturas de argila e espículos na produção de cerâmica vermelha. Mais vulgarmente, sedimentos ricos em espículos são conhecidos no Brasil como "pó de mico" sendo utilizados com frequência na produção de tijolos como elemento de reforço [ESPER, 2000]. As fibras ou espículos não se encontram na natureza na forma de sílica pura, possuindo pequenas quantidades de alumina, ferro e metais alcalinos, alguma matéria orgânica e resíduos de areia, argila e diatomáceas. Conseqüentemente, para algumas aplicações de engenharia as fibras de sílica devem ser beneficiadas para a remoção de impurezas. De fato, a fibra utilizada neste trabalho, de acordo com a análise por EDS é constituída apenas por sílica [BARRA, 2004].

A morfologia das fibras de sílica naturais utilizadas neste trabalho é mostrada na micrografia de MEV da Figura 8, em baixa e alta ampliação.

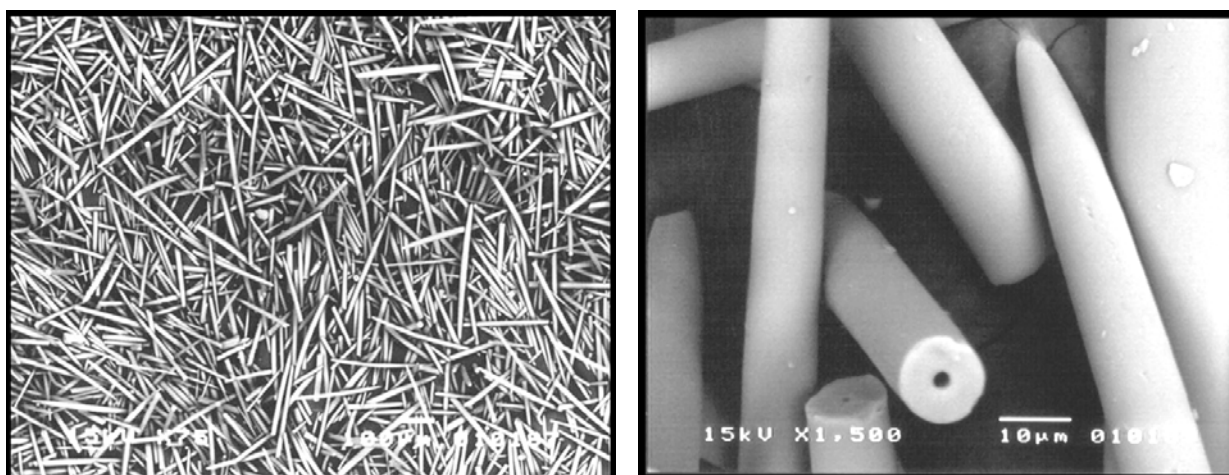


Figura 8 - Morfologia das fibras de sílica amorfa [BARRA, 2004].

De acordo com as micrografias de MEV as fibras de sílica após o beneficiamento são caracterizadas por uma forma acicular com dimensões médias de 10 μm de diâmetro e 200 a 600 μm de comprimento. Além disso, as fibras de sílica são tubulares apresentando um furo central com diâmetro menor que 1 μm . As fibras de sílica, de acordo com ESPER [2000] e GREGOLIN [2000], apresentam densidades de 1,7 g. cm^{-3} e cor variando de branco a bege claro.

Na técnica de compactação da massa atomizada com a incorporação de sílica, a sílica amorfa será o material formador de poros. As misturas de pó cerâmico atomizado e fibras de

sílica amorfa (0, 10, 20, 30, 40 e 50% em massa) foram previamente homogeneizadas em um moinho de bolas a úmido e as misturas obtidas foram denominadas, de acordo com as frações em massa das fibras de sílica amorfa, como M (sem sílica), MS10, MS20, MS30, MS40 e MS50, respectivamente. As misturas obtidas foram secas a 110°C por 24 h. Subseqüentemente, cada mistura foi desagregada e umidificada em 10, 12, 12, 14, 14% em massa respectivamente e em seguida compactada a 30 MPa. Dessa forma, as placas cerâmicas com dimensões de 100x100x10mm foram obtidas.

Após a compactação, as placas cerâmicas foram levadas à estufa a 110°C por 24h. Em seguida, foram queimadas em um forno a rolo (Figura 9) cuja temperatura de pré-aquecimento foi de 900°C. A temperatura de queima utilizada foi de 1170°C e o patamar utilizado foi de 9 min, sendo o ciclo térmico total de 55 minutos.



Figura 9 - Forno a rolos-CTCmat de Criciúma.

3.2 Fabricação das placas cerâmicas porosas constituídas de massa cerâmica variando-se a pressão de compactação

Nesta técnica de compactação, foram obtidas placas cerâmicas porosas utilizando apenas a massa atomizada com uma umidade de 5,9% (umidade contida na massa atomizada) variando-se a pressão de compactação (10, 15, 20, 25 e 30MPa que é o valor típico utilizado para a fabricação de pisos semi-grês). Primeiramente, a cavidade da prensa foi preenchida apenas pela massa atomizada até atingir a parte superior da mesma. A carga de compactação neste ensaio foi constante e de valor 30 MPa (N1). Para cada pressão de compactação foram obtidas seis placas cerâmicas de dimensões 100x100x10mm. Ao final deste ensaio repetiu-se o mesmo procedimento utilizando-se agora uma carga de 25, 20, 15 e 10 MPa, designadas como N2, N3, N4 e N5, respectivamente.

Após a compactação, as placas cerâmicas foram levadas à estufa a 110°C por 24h. Em seguida, foram queimadas em um forno mufla cuja variação de temperatura de pré-aquecimento foi de 30°C/min, a temperatura de queima utilizada foi de 1170°C durante 3 min e o resfriamento foi de 10°C/min.

3.3 Fabricação das placas cerâmicas porosas obtidas através da incorporação de resíduo do polimento de porcelanato e mantendo-se a temperatura de queima a 1170°C

Na técnica de compactação da massa com a incorporação do resíduo, o resíduo do polimento de porcelanato foi o material formador de poros. O corpo cerâmico constituído de pó atomizado com a incorporação deste resíduo foi preparado em uma planta industrial. As misturas de massa atomizada com resíduo, utilizando-se frações em massa de 10, 20, 30, 40, 50, 75 e 100% (MAR10, MAR 20, MAR 30, MAR 40, MAR 50, MAR 75 e RES), foram previamente colocadas em um moinho tipo Y para a sua homogeneização, secados em estufa a 110°C por 24 h e preparadas com uma umidade de 6, 7, 8, 9, 10, 10 e 10% para as porcentagens de 10, 20, 30, 40, 50, 75 e 100% de resíduo de porcelanato com a massa atomizada, respectivamente. Em seguida, a mistura foi compactada a 30 MPa em placas com dimensões nominais de 58x126x10mm.

Após a compactação, as placas cerâmicas foram levadas à estufa a 110°C por 24h, e em seguida queimadas em um forno mufla a 1170°C (patamar de 3 min e com uma taxa de aquecimento e resfriamento de 10°C/min).

3.4 Fabricação das placas cerâmicas porosas obtidas através da incorporação de resíduo do polimento de porcelanato e variando-se a temperatura de queima

O pó atomizado e o resíduo do polimento de porcelanato utilizado neste trabalho foram fornecidos pela empresa GYOTOKU, localizada em Suzano-SP. O resíduo de polimento, que pode ser considerado um material refratário, é proveniente do polimento realizado no porcelanato. Este resíduo foi processado em laboratório, seco em estufa a 110°C por 24 horas, seguido de processo de desaglomeração utilizando peneira malha 200 mesh ABNT. Estas duas matérias-primas foram caracterizadas quanto à morfologia das partículas, através de microscopia, e quanto a sua composição química e mineralógica através do uso de fluorescência de raios X e difratometria de raios X. O comportamento térmico foi avaliado

através dos ensaios de análise térmica diferencial. O efeito de interação entre as duas matérias-primas foi avaliado através da combinação destas na proporção de 20% de resíduo e 80% de pó atomizado.

Foram obtidas placas cerâmicas porosas com dimensões nominais de 58x126x10mm pela compactação de massa atomizada industrialmente com a incorporação de frações mássicas de 20, 50, 100% de resíduo de polimento do porcelanato. Para comparação foram obtidas placas utilizando apenas o pó atomizado e placas contendo apenas o resíduo de polimento. A mistura de massa atomizada com resíduo foi realizada em um moinho tipo Y, posteriormente secados em estufa a 110°C por 24 h e preparadas com uma umidade entre 7 e 10%, em peso. Em seguida, a mistura foi compactada a 30 MPa em placas com dimensões nominais de 58x126x10mm. Após a compactação, as placas cerâmicas foram levadas à estufa a 110°C por 24h, e em seguida sinterizadas em um forno mufla com temperatura de sinterização de 950°C, 1000°C, 1100°C, 1170°C, 1200°C e 1250°C (patamar de 3 min e taxa de aquecimento e resfriamento de 10°C/min). O efeito da temperatura de queima foi avaliado através da difratometria de raios X, para identificação das fases formadas; através da determinação da retração linear e da condutividade térmica do material sinterizado para avaliação do efeito de conforto térmico. Para cada medição foram considerados resultados de cinco amostras.

3.4.1 Análise Química do Resíduo e classificação de acordo com a NBR 10004

A caracterização química do resíduo de polimento foi realizada através do ensaio na massa bruta, método de lixiviação e solubilização para avaliar o seu comportamento ambiental. Com relação à composição química, os componentes encontrados neste resíduo foram: carbonato de cálcio, carbetto de silício, cloreto de magnésio, óxido de magnésio, quartzo e sulfato de magnésio. Através do ensaio de lixiviação, o resíduo é classificado como “Não Perigoso” e, pelo ensaio de solubilização, o resíduo é classificado como Resíduo Classe II-Não Inerte devido aos teores de sulfatos e dureza obtidos no extrato solubilizado do resíduo estar acima do limite especificado.

3.5 Propriedade térmica

Para o ensaio da condutividade térmica utilizaram-se amostras com espessura igual ou menor a 1 cm. O condutivímetro, utilizado pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas, foi construído seguindo os procedimentos descritos na Norma Técnica ISO 8301 [1991]: “Standart Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus”, mostrado esquematicamente na Figura 10.

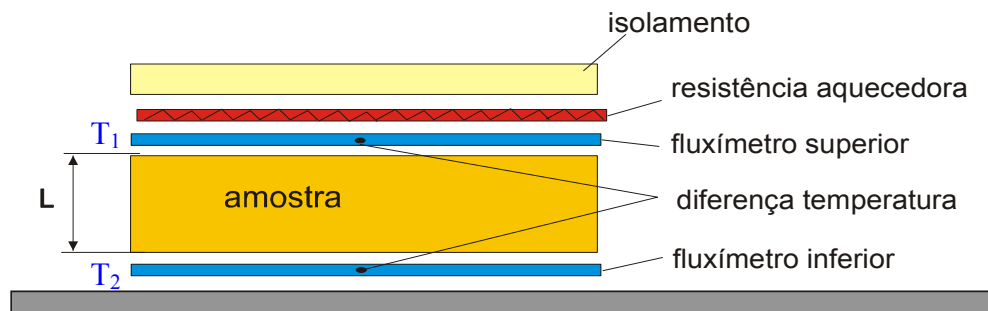


Figura 10 - Arranjo experimental para a medição da Condutividade Térmica.

A resistência térmica em regime permanente é determinada a partir da lei de Fourier, dada pela equação (24) em regime permanente:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{q_1 + q_2}{2} \right)}, \quad (24)$$

onde: R é a resistência térmica ($\text{m}^2 \text{K/W}$) em regime permanente, q_1 e q_2 são as densidades de fluxo de calor medido pelos fluxímetros 1 e 2 (W/m^2) e T_1 e T_2 as temperaturas superficiais da amostra.

Considerando que a amostra é homogênea, é possível determinar a condutividade térmica do material (λ):

$$\lambda = \frac{L}{R}, \quad (25)$$

onde: λ é a condutividade térmica (W/m.K), L é a espessura do material (m) e R é a resistência térmica medida ($\text{m}^2\text{K/W}$).

3.6 Medição da temperatura da superfície dos pisos e das placas cerâmicas através de termopares

A temperatura da superfície dos pisos e das placas cerâmicas foi avaliada quanto a sua exposição ao sol. A radiação global também foi medida durante vários dias. Para cada piso cerâmico comercial e placa cerâmica exposta ao ambiente ensolarado, foram instalados termopares do tipo T na sua superfície (Figura 11). Também, foi instalado um termopar colocado no ar ambiente que nos forneceu a Temperatura Ambiente e outro colocado a 10 cm dentro do solo para obtermos a temperatura do mesmo, para dessa forma verificarmos esse gradiente de temperatura.

A superfície externa de um piso cerâmico troca calor com o meio por convecção e radiação. Haverá o incremento da temperatura desta superfície, em uma proporção que dependerá da sua resistência superficial externa ou resistência de convecção (R_k). A radiação (radiação solar direta) incidente no piso terá uma parcela refletida (ω) e outra absorvida (γ), cujo valor dependerá da absorvidade do material, sendo que:

$$\omega = 1 - \gamma \quad (26)$$



Figura 11 - Medição da temperatura da superfície dos pisos através de termopares.

Quanto maior for o valor de λ , maior será a quantidade de calor transferida entre as superfícies; para a mesma geometria sob as mesmas condições de contorno.

As propriedades radiativas são espectrais e dependem do ângulo de incidência. Os materiais de construção são seletivos à radiação solar de onda curta e a principal determinante

desta característica é a sua cor superficial. Se a absorptividade (γ) de um material for igual a 0,8, por exemplo, significa que 80% da energia solar incidente sobre o piso será absorvida e 20% será refletida. A absorptividade em função da cor do material é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Absortividade (onda curtas) em função da cor [LAMBERTS, 1997].

Cores	γ
Escuras	0,7 a 0,9
Médias (tijolos)	0,5 a 0,7
Claras	0,2 a 0,5

A radiação solar que atinge a superfície terrestre é constituída da radiação solar direta e radiação solar difusa. A radiação direta é a parcela da energia radiante que chega diretamente na superfície do solo, e a radiação difusa é a outra parcela de energia radiante proveniente das demais direções que, em dias de céu limpo, atinge apenas 15% do total da radiação que chega à superfície terrestre. A energia radiante total na superfície terrestre, que é a soma da radiação direta e difusa, é a radiação solar global [VIENELLO e ALVES, 1991].

Para a obtenção da radiação solar direta, foi instalado um radiômetro colocado ao sol e ligado a um software para se obter as voltagens e juntamente com os dados da radiação solar direta fornecida pelo LABSOLAR (cuja estação está localizada na UFSC e a medição é feita através de um aparelho chamado piranômetro), poder se traçar uma curva de calibração que fornece a radiação solar direta (direção normal) instantaneamente para qualquer medição realizada no decorrer do dia.

A condutividade térmica experimental foi determinada pela norma ISO 8301 [1991]. Os ensaios foram realizados a uma temperatura próxima da temperatura ambiente (25 °C) sendo a incerteza de medição estimada em 3%. A efusividade foi calculada a partir das medições da condutividade térmica e da densidade, sendo o calor específico obtido da literatura.

3.7 Ensaio de Contato Pé-Placas Cerâmicas Aquecidas

Para avaliar a temperatura da sola de um pé descalço quando em contato com o piso aquecido foi montado um aparato como mostra a Figura 12. A placa cerâmica foi fixada sobre um contrapiso utilizando uma fina camada de pasta com elevada condutividade térmica. A base do contrapiso, com 20 mm de espessura foi mantida a uma temperatura constante de 23 °C. A placa cerâmica foi inicialmente submetida à radiação infravermelha de forma que

sua temperatura superficial (T_{placa}) permanecesse constante. A medição de temperatura é realizada por termopar tipo T (AWG 26) alimentando um sistema de controle do tipo PID.

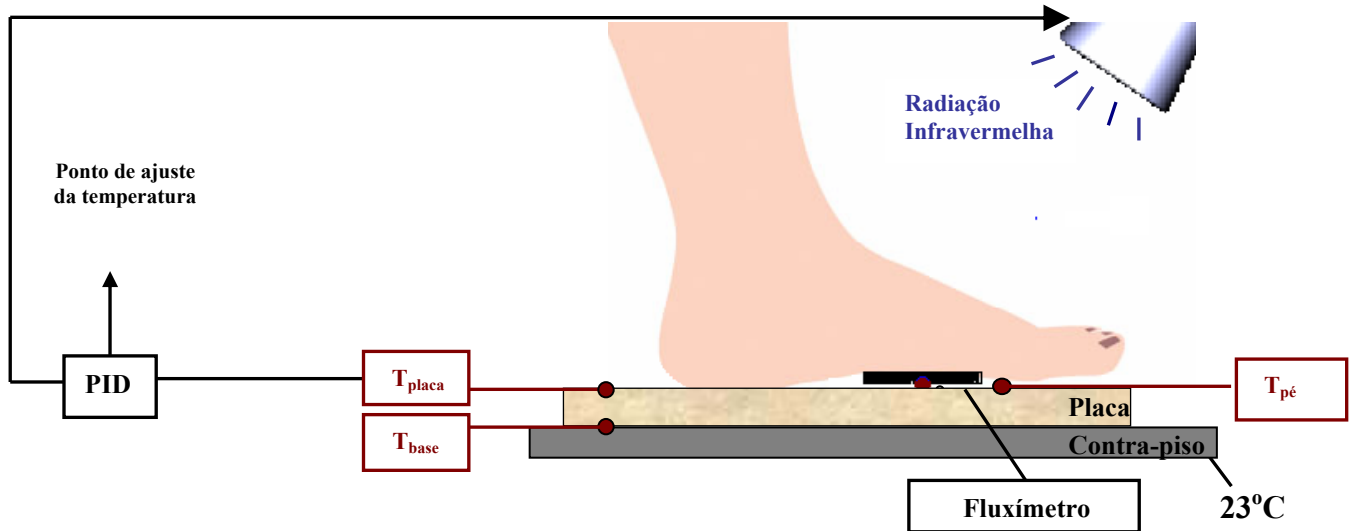


Figura 12 - Esquema ilustrativo do aparato experimental, para a medição da temperatura da sola de um pé em contato com um piso aquecido.

O termopar ($T_{pé}$) foi laminado, de forma que sua espessura atingiu aproximadamente $80\ \mu\text{m}$. O fluxo de calor foi medido por um transdutor do tipo “gradiente tangencial” [GÜTHS, 1995], com uma espessura igual a $300\ \mu\text{m}$. O contato pé-transdutor foi assegurado com a pasta de alta condutividade térmica e para o contato transdutor-placa cerâmica foi utilizada uma fina película de borracha de silicone, com espessura igual a $100\ \mu\text{m}$. Procurou-se, com essa borracha, assegurar um contato térmico semelhante ao contato da sola do pé com a placa. O ensaio consiste em aquecer a superfície da placa cerâmica até uma determinada temperatura e subitamente posicionar o pé de uma pessoa sobre o piso, registrando os valores das temperaturas e fluxo de calor em intervalo de 1 segundo até a obtenção do regime permanente.

3.8 Ensaio de Contato Luva-Pisos e Luva-Placas Cerâmicas Resfriadas

Para o ensaio de contato pé-piso, as diferentes amostras foram assentadas com argamassa sobre um contra piso padrão e expostas ao sol, e após a cura completa (três semanas) foram registrados os valores da temperatura superficial (T_{sol}). Essa temperatura

superficial foi medida por um termopar planar, tipo T, assim como a temperatura do solo, do contra piso e do ar ambiente. O sistema foi monitorado 24h/dia durante um período de duas semanas, de forma a obter os valores máximos, correlacionados com os valores de radiação e temperatura do ar.

Dessa forma, obteve-se a temperatura superficial de um piso comercial, PC, (rugoso e liso) e das placas cerâmicas fabricadas quanto a sua exposição à radiação solar. Para um dia típico, sem nuvens e de forte insolação registrou-se as máximas temperaturas superficiais T_{sol} (°C).

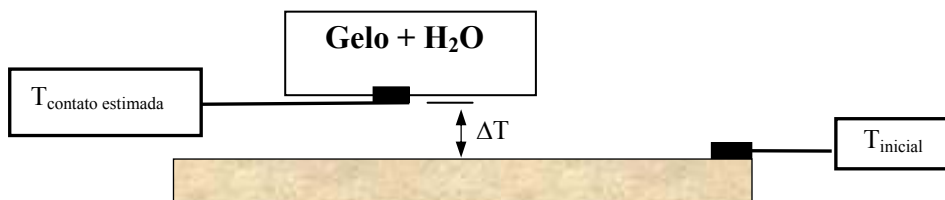


Figura 13 - Esquema ilustrativo do contato luva-piso.

A temperatura máxima (ou mínima) é a variável de interesse que ocorre no contato de um pé descalço e um piso quente (ou frio). Devido à dificuldade de se obter repetibilidade nos ensaios utilizando o pé de uma pessoa, idealizou-se um aparato (Figura 13) onde o mesmo foi simulado por uma dupla luva de látex (espessura = 0,65 mm) preenchida com uma mistura de água e gelo fundente, garantindo dessa forma uma temperatura constante e igual a 0 °C.

Nessa luva foi fixado um termopar planar tipo T (espessura = 0,1 mm) para determinar a máxima temperatura no contato súbito com um piso isotérmico à temperatura ambiente. A temperatura do piso foi medida também por um termopar planar (espessura = 0,1 mm). Esse dispositivo experimental foi elaborado para se avaliar a temperatura máxima da sola de um pé descalço quando em contato com um piso ao longo do tempo, conforme mostrado na Figura 14.

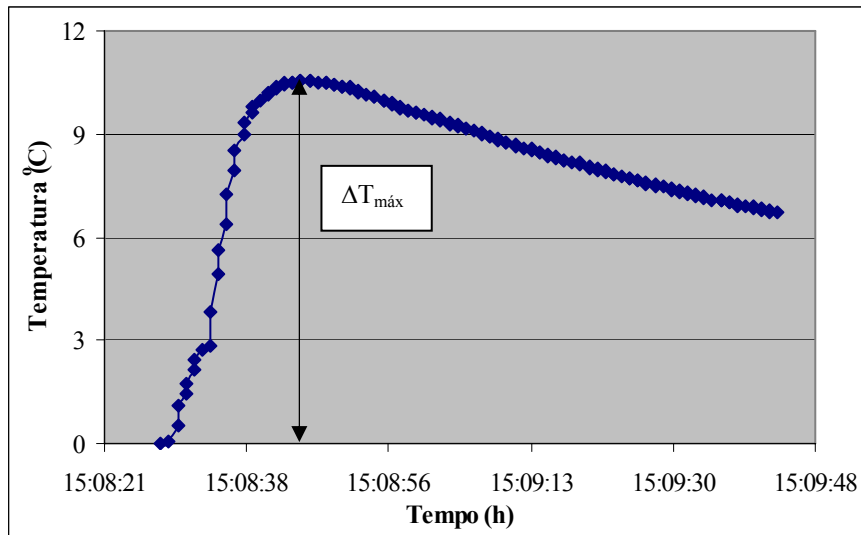


Figura 14 - Esquema ilustrativo da temperatura de contato (luva-piso) ao longo do tempo.

Nota-se que essa temperatura atinge um valor máximo ($\Delta T_{\text{máx}}$), que é a temperatura de interesse nessa análise. Extraindo o valor da máxima variação da temperatura de contato ($\Delta T_{\text{máx}}$), determinou-se uma razão (f) entre a variação máxima da temperatura de contato (luva-piso) e a temperatura do piso (T_{inicial}), pela equação (27):

$$f = \frac{\Delta T_{\text{máx}}}{T_{\text{inicial}}} \quad (27)$$

A temperatura de contato pé-piso pode ser estimada a partir dos resultados anteriores, considerando-se o pé a uma temperatura de 34°C em contato com os pisos expostos ao ambiente ensolarado a temperaturas superficiais apresentadas. Considerando-se que a variação de temperatura de contato pé-piso é semelhante aos resultados obtidos (temperatura de contato luva-piso) obtêm-se a temperatura de contato pé-piso ($T_{\text{contato experimental}}$) através da equação (28):

$$T_{\text{contato experimental}} = 34 + f (T_{\text{sol}} - 34) \quad (28)$$

3.9 Medição da resistência térmica de contato das placas cerâmicas

Para este ensaio foram utilizadas duas amostras. Uma das amostras foi extraída do piso original e outra amostra obtida através do polimento da rugosidade desse mesmo piso. A resistência térmica de cada amostra foi obtida dividindo-se a espessura da amostra pela sua condutividade medida experimental através de um condutivímetro fluximétrico (Figura 10). Dessa forma, a resistência térmica de contato foi obtida pela diferença entre a resistência térmica da amostra rugosa e lisa.

3.10 Simulação Numérica para determinar a temperatura de contato simulada

Uma simulação numérica foi desenvolvida utilizando-se o método da equação de elementos finitos da transferência de calor em regime transitório e de eliminação de Gauss (TDMA-Algoritmo da Matriz Tri-Diagonal) para determinar a temperatura de contato simulada e compará-la com a temperatura de contato experimental através do dispositivo elaborado.

Para o cálculo da temperatura de contato ($T_{\text{contato simulada}}$), através da simulação numérica, foi desenvolvido um modelo constituído de quatro corpos em contato representando a luva dupla de látex em contato com o piso ou placa cerâmica. Foi necessário determinar as propriedades térmicas para ambos os casos. Assim como no dispositivo experimental, o pé de uma pessoa é simulado por uma dupla luva de látex (representando a camada superficial da pele epidermo-dérmica) e o piso é representado pela sua camada superficial (sendo rugosa ou lisa) e seu substrato. Como a sensação de frio e calor ocorre entre essas duas camadas da pele, também o valor máximo da temperatura de contato simulada luva-piso e luva-placa cerâmica ocorre neste contato.

3.11 Validação do dispositivo experimental elaborado e da simulação numérica desenvolvida para o contato de diversos materiais

Para a validação do dispositivo experimental elaborado (dados experimentais) e da simulação numérica desenvolvida (dados teóricos) para o contato da luva e diversos materiais, utilizou-se: EPS (Poliestireno Expandido - Isopor), madeira e vidro pelo fato de se conhecer algumas propriedades importantes, como por exemplo, a condutividade térmica desses

materiais. Os valores da condutividade térmica medidos experimentalmente (Figura 10) e os valores obtidos através da literatura são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores da condutividade térmica medidos experimentalmente e valores obtidos através da literatura.

AMOSTRAS	λ (W/m.K)
EPS (experimental)	0,050
EPS [INCROPERA E DE WITT, 1998]	0,044
Madeira de pinho (experimental)	0,12
Madeira de pinho [INCROPERA E DE WITT, 1998]	0,11
Vidro (experimental)	1,50
Vidro [ISO 13732-1, 2004]	1,22

Como visto anteriormente, pelo dispositivo experimental (Figura 13), a variável de interesse que ocorre, neste caso, no contato da luva (simulando o pé-descalço) e um material determinado, é a temperatura máxima.

Tabela 5 - Estimativa da razão (f) obtida experimentalmente e através da simulação numérica.

AMOSTRAS	T_{inicial} (°C)	$\Delta T_{\text{máx}}$ (°C)	f
EPS (experimental)	28,45	1,06	0,04
EPS (simulado)	28,45	2,81	0,10
Madeira de pinho (experimental)	26,27	3,37	0,13
Madeira de pinho (simulado)	26,27	3,84	0,15
Vidro (experimental)	27,95	8,55	0,31
Vidro (simulado)	26,52	9,18	0,35

A Tabela 5 mostra os valores obtidos para $\Delta T_{\text{máx}}$ e para “f” medidas pelo dispositivo e os valores obtidos pela simulação numérica. Como esperado, o vidro que é o material mais condutor apresentou $\Delta T_{\text{máx}}$ maior e portanto, maior “f”. Já o isopor, que é um material isolante, apresentou baixo valor de “f”. Dessa forma, podemos observar a coerência da simulação numérica que apresenta valores de “f” bem próximos aos valores obtidos experimentalmente.

3.12 Propriedade Mecânica

As placas cerâmicas foram avaliadas em relação às seguintes propriedades mecânicas:

- Módulo de ruptura em flexão;
- Resistência ao desgaste superficial, pelo método da resistência à abrasão profunda.

3.12.1 Módulo de ruptura em flexão

O módulo de ruptura em flexão, MRF, em unidade de MPa [NBR 13818, 1997], foi medido a partir do ensaio de flexão em três pontos, calculado a partir da equação (29):

$$\text{MRF} = \frac{3F \times d}{b \times L_{\min}^2}, \quad (29)$$

onde: F é a força de ruptura (N), d é a distância entre as barras de apoio (mm), b é a largura do corpo-de-prova ao longo da ruptura após ensaio (mm) e L_{\min} é a mínima espessura do corpo-de-prova (mm).

3.13 Método da resistência à abrasão profunda

A abrasão profunda é a quantidade de material removida da superfície por desgaste quando a placa não é esmaltada, razão pela qual não segue a classificação (PEI) de grupos de abrasão. A resistência à abrasão profunda [NBR 13818,1997] é expressa em volume de material removido, em milímetros cúbicos, calculado pelo comprimento da Cavidade C_{cav} (Figura 15), através da equação (30):

$$V = \left(\frac{\pi \times \beta}{180} - \text{sen } \beta \right) \times \left(\frac{h \times D^2}{8} \right), \quad (30)$$

sendo:

$$\text{sen} \left(\frac{\beta}{2} \right) = \frac{C_{\text{cav}}}{D} \quad (31)$$

em que V é o volume de material removido (mm^3), β é o ângulo que compreende a cavidade, C_{cav} é o comprimento da corda (mm), π é adotado como sendo igual a 3,14, D é o diâmetro do disco rotativo, $200 \pm 0,2$, (mm) e h é a espessura do disco rotativo, $10 \pm 0,1$, (mm).

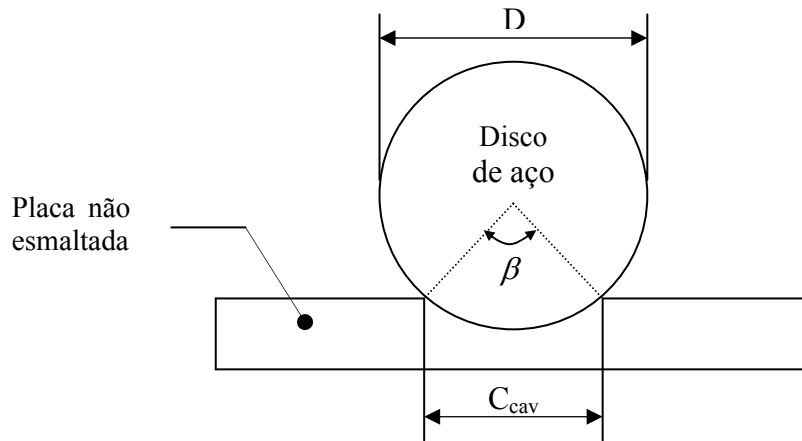


Figura 15 - Esquema ilustrativo do dispositivo de medição de abrasão profunda.

3.14 Retração Linear de Queima

As amostras foram medidas com paquímetro após a sua conformação e secagem em estufa a 110°C por 24 horas e logo após a queima. A retração linear (RL) de queima foi calculada através da equação (32):

$$RL = \left(\frac{L_s - L_Q}{L_Q} \right) \times 100, \quad (32)$$

onde: L_s é o comprimento inicial da amostra à verde e L_Q o comprimento da amostra após a etapa de queima.

3.15 Perda ao Fogo

As amostras foram pesadas após a sua conformação e secagem em estufa a 110°C por 24 horas e logo após a queima. A perda ao fogo (PF) foi calculada através da equação (33):

$$PF = \left(\frac{P_s - P_Q}{P_Q} \right) \times 100, \quad (33)$$

onde: P_s é o peso da amostra à verde e P_Q é o peso da amostra queimada.

3.16 Absorção de Água

A absorção de água (AA) das placas cerâmicas queimadas foi determinada pelo método de Arquimedes. Nesse método, as amostras foram imersas em água destilada em ebulição, e deixadas por 2h. Após esfriarem, o peso saturado (P_{SAT}) e o peso imerso (P_I) foram medidos em uma balança analítica hidrostática. A absorção de água (AA) foi determinada através da equação (34):

$$AA = \left(\frac{P_{SAT} - P_s}{P_{SAT} - P_I} \right) \times 100. \quad (34)$$

3.17 Determinação da porosidade

A densidade aparente (ρ_a) e a densidade real (ρ_r) das placas cerâmicas queimadas foram medidas pelo princípio de Arquimedes com imersão em água e através de um picnômetro de hélio, respectivamente. Para determinar a porosidade (P) das amostras queimadas foi aplicada a equação (35), definida a seguir:

$$P = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (35)$$

3.18 Caracterização das matérias-primas e das amostras cerâmicas

Após a obtenção das placas cerâmicas, as amostras obtidas foram analisadas por Microscopia Eletrônica de Varredura. A caracterização fractográfica das placas cerâmicas foi realizada sobre a superfície de fratura das amostras. O corte transversal da seção fraturada foi realizado em um policorte. As dimensões das amostras foram de aproximadamente 1,5 cm x 4 cm x 0,8 cm, adequadas para a colocação das mesmas no porta-amostra inserido

ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) para a análise de imagens. Essa técnica permitiu observar a microestrutura do material, bem como observar inclusões e poros que os materiais obtidos apresentaram em sua microestrutura.

Com o seccionamento da amostra fraturada e o seu polimento, esta foi tratada de modo a se retirar as impurezas que possam estar impregnadas na superfície a ser analisada. Este procedimento é bastante recomendado principalmente quando a amostra não é analisada logo após o ensaio de flexão:

- Coloca-se a amostra em um béquer com água o suficiente para cobrir a amostra. A seguir, o béquer é levado a uma cuba com água para uma limpeza por ultra-som durante um período de aproximadamente dez minutos;
- Com a limpeza da amostra, a mesma deve ser seca. O manuseio da amostra deve ser realizado com muito cuidado, utilizando-se uma pinça sem tocar na superfície fraturada. Logo após, a mesma foi colocada em estufa à 100°C onde permaneceu até o momento em que foi levada ao MEV.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foi realizado um estudo de caracterização das matérias-primas, quanto à granulometria e à morfologia. As matérias-primas e as amostras das placas cerâmicas compactadas obtidas foram avaliadas por análise química, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise semi-quantitativa de EDS. Já para as amostras escolhidas com 20, 50 e 100% de resíduo, além dessas análises, foram realizadas também: análise de difração por raios X, análise termogravimétrica (TG) e análise térmica diferencial (ATD). A medição das propriedades térmicas, mecânicas e físicas também foram avaliadas.

4.1 Caracterização da morfologia e composição química das matérias-primas

Foi realizado um estudo de caracterização da morfologia do pó atomizado e do resíduo do polimento de porcelanato utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura, constatando-se uma heterogeneidade na forma e no tamanho dos grânulos conforme ilustrado na Figura 16.

A morfologia dos grânulos da massa cerâmica é característica típica de materiais processados por atomização. Apresentam aglomerados com morfologia esférica (Figura 16 (a)), com diâmetro médio variando entre 300 a 600 μm .

Por sua vez, o resíduo proveniente do polimento apresenta-se como partículas com formato variado (Figura 16 (b)), com tendência angular, sendo que as dimensões das partículas que o compõem são significativamente inferiores aos dos aglomerados da massa cerâmica (Figura 17 (a)). A Figura 17 (b) apresenta a microestrutura após a compactação de 30 MPa e sinterização a 1100°C, na qual pode ser verificado que o material é constituído por regiões segregadas onde está concentrado o resíduo imerso em uma matriz que tem como base a massa cerâmica.

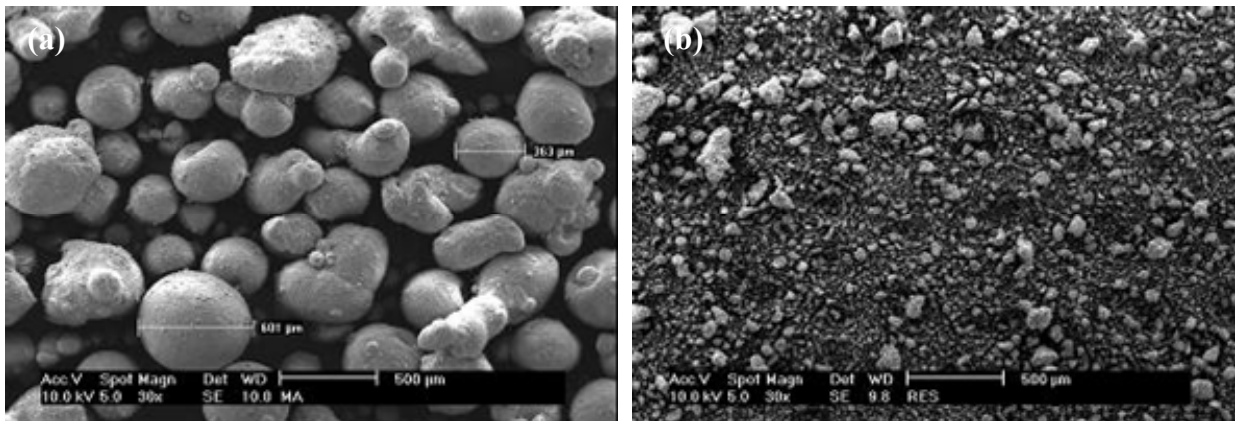


Figura 16 - Imagens representativas da morfologia dos aglomerados que compõem (a) o pó atomizado e (b) o resíduo de polimento.

Algumas partículas atomizadas têm uma cavidade central (Figura 18 (a)), o que é característico do processo de atomização, e em alguns casos pode ser considerado um defeito. Estes aglomerados durante o manuseio são rompidos (Figura 18 (b)), o que mostra que apresentam resistência mecânica adequada para serem utilizados em processo de compactação, nos quais devem promover a melhor distribuição da massa cerâmica na matriz pelo escoamento do aglomerado e rompimento dos mesmos, explicando a boa distribuição da massa cerâmica na matriz compactada (Figura 17 (b)).

Os aglomerados da massa atomizada quando misturados com as partículas de resíduo, resultam em uma formação onde o resíduo é acomodado nos espaços vazios formados entre os aglomerados (Figura 17 (a)). Durante o processo de compactação, estes aglomerados são eliminados gerando uma microestrutura compacta e contínua. Após a sinterização (Figura 17 (b)), observou-se a presença de regiões com maior concentração de resíduo circundadas por massa cerâmica (segregação).

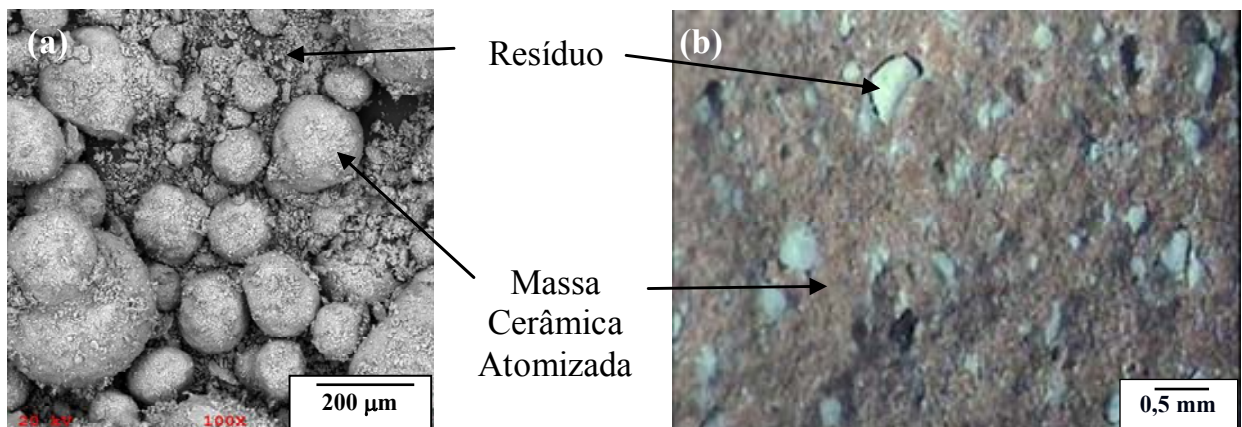


Figura 17 - Imagens representativas da mistura entre massa cerâmica atomizada e resíduo de polimento antes da compactação (a) e após compactação e queima a 1100°C (b).

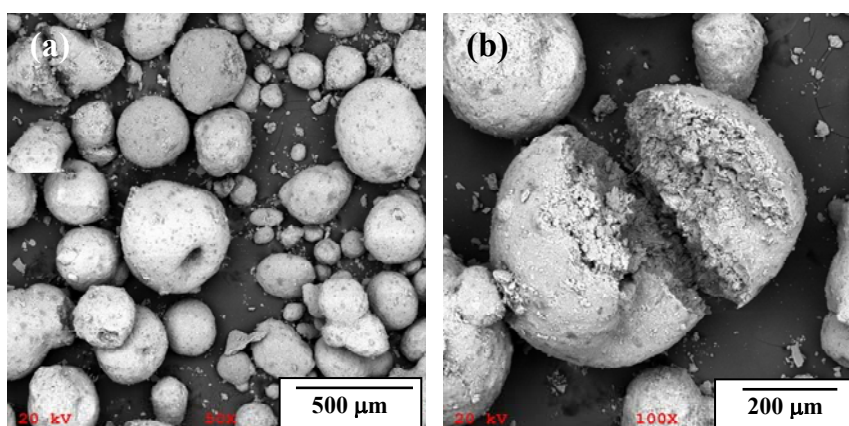


Figura 18 - Micrografias das partículas aglomeradas da massa atomizada, destacando defeito na forma de vazio e característica da fratura.

A Tabela 6 mostra a composição química do pó atomizado e do resíduo do polimento de porcelanato. Pode-se observar pela tabela, que os óxidos constituintes são típicos de corpos cerâmicos empregados para a manufatura de pisos cerâmicos. A composição química, na forma de porcentagem em peso de óxidos, para as duas matérias-primas estudadas foi determinada por fluorescência de raios X. Os resultados mostram que no que diz respeito aos teores dos óxidos majoritários, SiO_2 e Al_2O_3 ambos materiais são semelhantes, enquanto que o resíduo tem como maior diferença a presença de teores mais elevados de óxido de magnésio e menor perda ao fogo. No resíduo de polimento, a quantidade dos óxidos alcalinos e alcalino terrosos (CaO , MgO , K_2O e Na_2O) é de 11,51% mássico total e isso mostra que o sistema apresenta boa formação de fase vítrea.

Tabela 6 - Análise Química por Espectrometria de Fluorescência de Raios X.

Identificação	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	MnO (%)	TiO_2 (%)	MgO (%)	P_2O_5 (%)	PF (%)
Pó Atomizado	63,36	18,20	2,77	1,74	0,34	3,87	0,02	0,80	2,04	0,05	6,80
Resíduo	64,20	18,32	0,65	1,09	1,95	1,84	0,06	0,26	6,63	0,06	4,96

Entretanto, resultados de análise pontual por EDS das partículas das matérias-primas mostraram que o pó atomizado apresenta distribuição uniforme dos elementos, enquanto para o resíduo de polimento os componentes estão segregados, sendo que existem regiões onde predomina a presença de Alumínio, Silício ou Magnésio.

A Figura 19 mostra as imagens do resíduo de polimento com duas ampliações distintas.

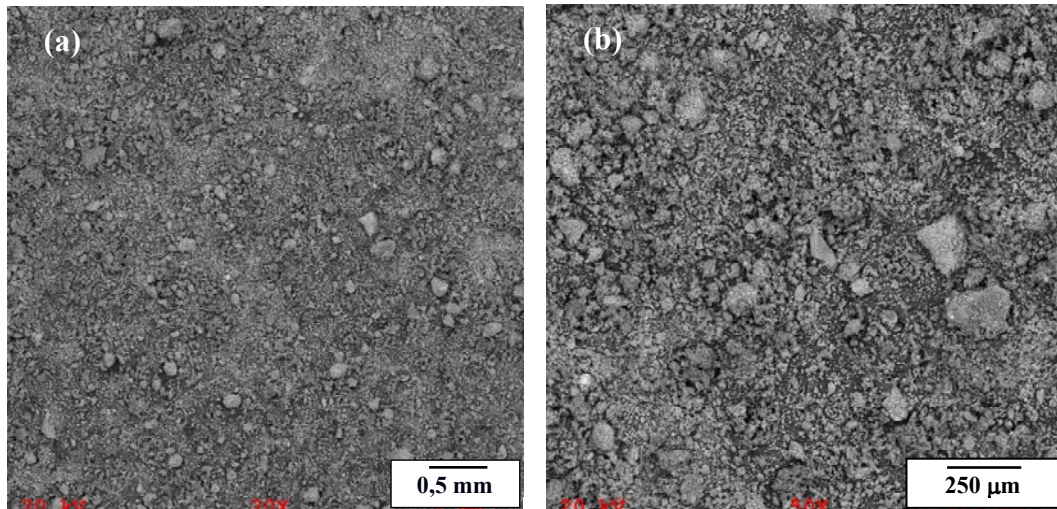


Figura 19 - Micrografia do resíduo de polimento. Partes (a) e (b) com aumentos distintos.

Para a composição química das partículas dos resíduos foram feitas algumas análises, sendo que os resultados estão apresentados na Figura 20 e nos respectivos espectros (Figuras 21). O ponto 4 corresponde a uma partícula rica em Si e pobre em Oxigênio (Figura 21 (d)), indicando tratar-se do Silício e não do seu óxido. Esta não é uma observação isolada na amostra.

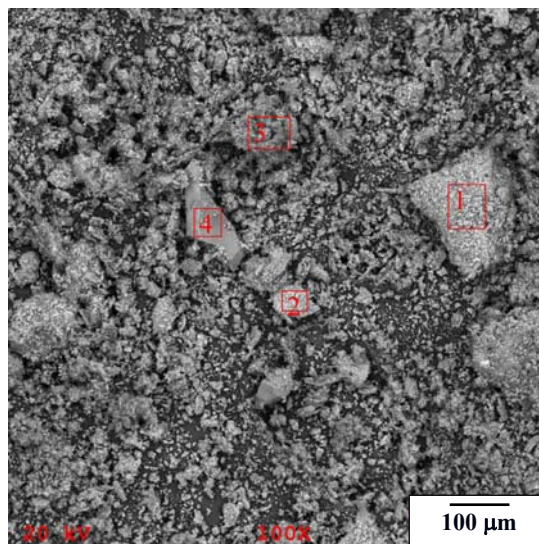


Figura 20 - Micrografia do resíduo de polimento.

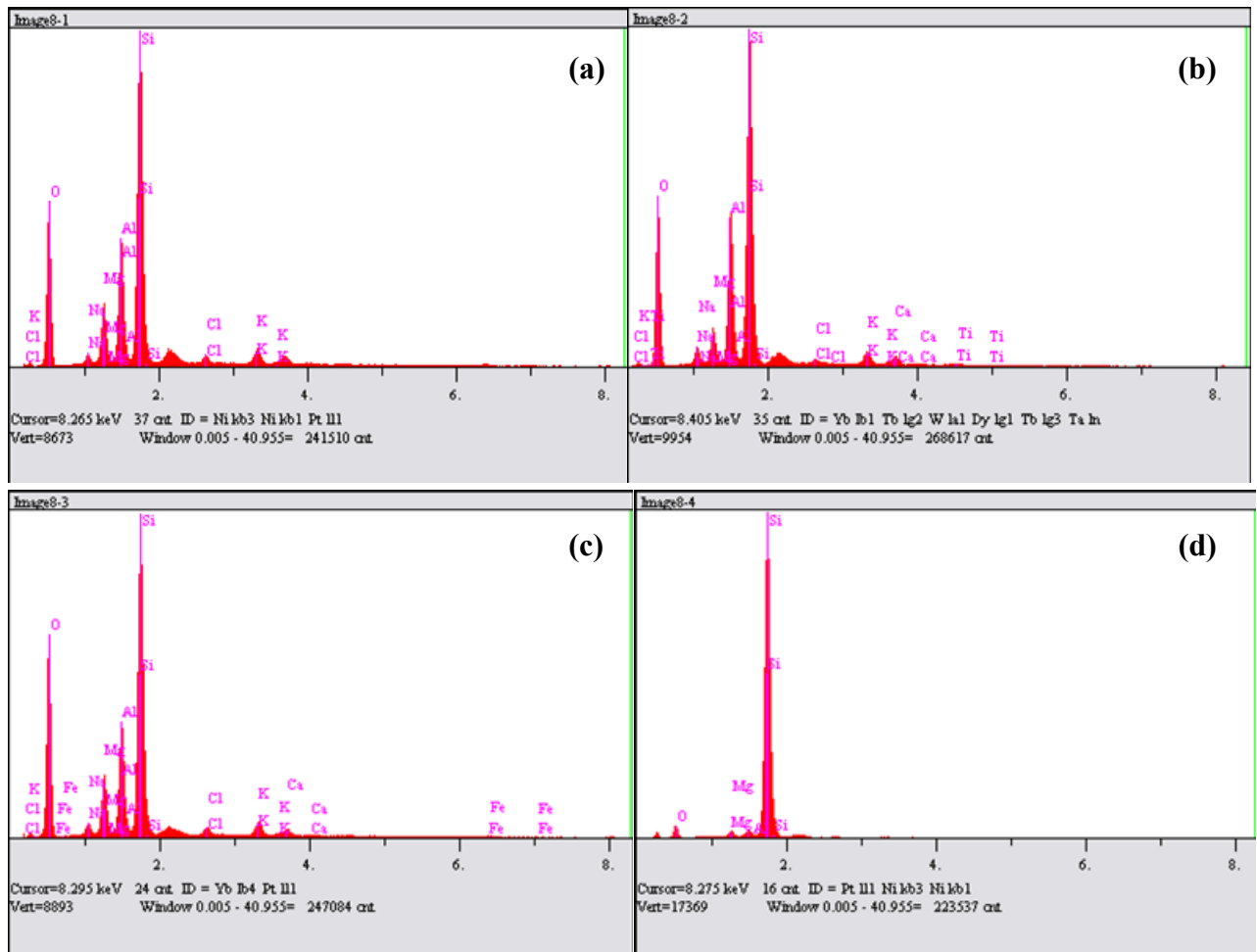


Figura 21 - Espectro de EDS indicando os elementos químicos que constituem o resíduo de polimento: (a) Ponto 1, (b) Ponto 2, (c) Ponto 3 e (d) Ponto 4 vistos na Figura 20.

4.1.1 Transformações de fase durante a queima das cerâmicas com pó de polimento

O comportamento de perda de massa associada ao aquecimento das cerâmicas com o pó de polimento (Figura 22 (a)), determinado em ensaio realizado utilizando atmosfera oxidante, mostra que o resíduo de polimento apresenta perda de massa no intervalo de temperatura entre temperatura ambiente e 800°C, semelhante ao que é observado para a massa atomizada. A diferença entre os dois materiais está no fato que para a massa atomizada a perda de massa está associada à decomposição da matéria orgânica, entre 300 e 500°C e a decomposição dos argilominerais entre 500 e 800°C, enquanto que para o resíduo do polimento a perda de massa a temperaturas inferiores a 200°C está associada à eliminação da água livre. Essa água se encontra adsorvida sobre a superfície das partículas finas de caulinita. Nesta faixa de temperatura, mais precisamente a 100°C, aparece o primeiro pico endotérmico. Entre as temperaturas de 200 e 500°C ocorreu a oxidação da matéria orgânica. A curva de análise

termogravimétrica da mistura de massa atomizada e do resíduo tem seu formato semelhante ao observado para a massa atomizada, o que pode ser justificado pela maior concentração deste componente (80% em peso).

Da curva de análise térmica diferencial (Figura 22 (b)), destaca-se que na presença do resíduo de polimento, existe um evento exotérmico em temperatura superior a 1100°C. Apesar deste não ser associado à perda de massa, este comportamento pode ser relacionado à formação de fases específicas, e seu efeito tem influência não só quando se trabalha com o resíduo individualmente, mas também quando da combinação entre o resíduo e a massa atomizada. Entre 1150°C e 1250°C podem ser observados picos endo e exotérmicos, talvez relacionados à dissociação do carbetto de silício, formando sílica e gás carbônico. Podemos observar também, na curva de análise térmica diferencial com relação à massa atomizada, um pico exotérmico a aproximadamente 980°C. Este é um pico característico das argilas caulínicas que apresentam a formação de mulita nesta temperatura [DUTRA e PONTES, 2002].

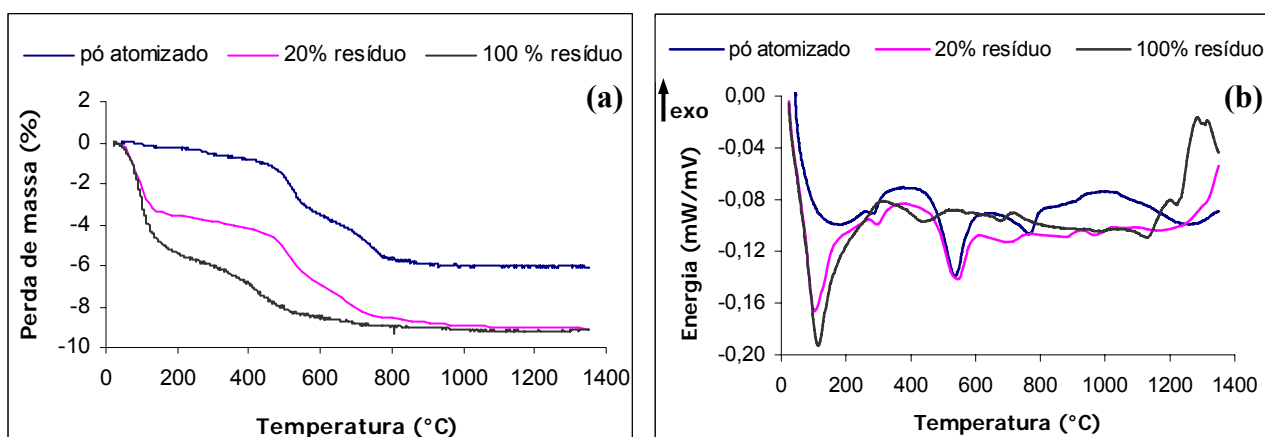


Figura 22 - Curvas TG (a) e ATD (b) da amostra de massa atomizada, massa com 20% de resíduo e amostra de resíduo.

A massa atomizada, por tratar-se predominantemente de argilas, tem em sua composição a presença de argilomineral na forma de caulinita, além de mica e quartzo, comumente presentes em massas cerâmicas (Figura 23 (a)). Após sinterização a 1170°C, o material resultante apresentou como fases cristalinas predominantes o quartzo (SiO_2) e a mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) e mostrou também a presença de fase vítrea, através do halo amorfo no intervalo entre 15 e 30° (Figura 23 (b)). A caulinita é responsável pela formação da mulita e da fase vítrea.

A Mulita é um alumino-silicato que raramente ocorre na natureza como mineral. Apenas na costa da Inglaterra ocorrências naturais foram achadas, sendo sua formação rara na natureza porque resulta do contato de minerais de alumino silicato exatamente do mesmo tipo a temperaturas extremamente altas. A mulita é um bom isolante térmico e elétrico, até mesmo em altas temperaturas e também muito resistente em ambientes corrosivos. Por isso, é usada em muitos produtos refratários e cerâmicos. Apesar de seu baixo coeficiente de expansão térmica, a mulita contribui para a resistência mecânica e química do material [CHU, 1976]. É mais resistente às variações bruscas de temperatura, particularmente acima de 1000°C.

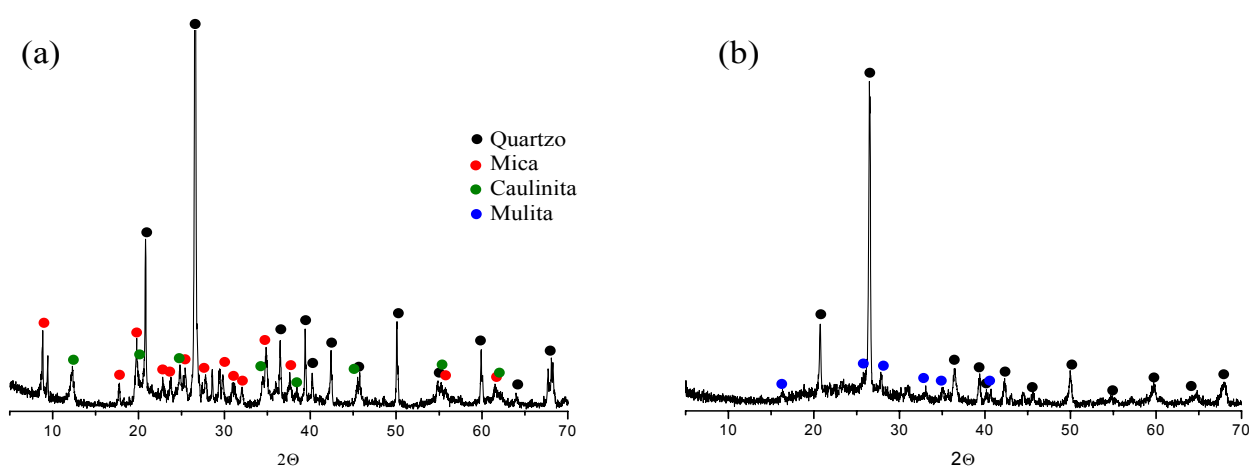


Figura 23 - Difratomogramas de Raios X da massa atomizada como recebida (a) e após sinterização a 1170°C (b).

O resíduo de polimento apresenta em sua composição as fases mulita e quartzo, o que é esperado por tratar-se predominantemente de resíduos de material cerâmico à base argila (Figura 24 (a)). Após sinterização a 1170°C foi observada a formação de cordierita ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$), além do corindom (Al_2O_3), sendo que estas fases formam-se em temperaturas superiores a 1100°C, o que permite associar o evento exotérmico identificado na curva de análise térmica diferencial à formação destas fases (Figura 24 (b)). Pode-se observar também que para o resíduo de polimento, o aquecimento a temperaturas superiores resulta em formação de fase vítrea, além do desaparecimento da fase mulita.

A cordierita é uma fase do sistema $\text{MgO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ de composição $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ [MOCHIDA, 1984], que apresenta características intrínsecas, como: baixa constante dielétrica, alta resistividade, baixo coeficiente de expansão térmica, alta resistência ao choque térmico, elevada estabilidade térmica e química e boas propriedades mecânicas [ACIMOVIC, 2003].

A alumina se encontra termodinamicamente estável na estrutura corindom, mas esta também existe em muitas formas metaestáveis (transições da alumina). Estas fases metaestáveis podem passar por várias transições até formar a estrutura corindom ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), a qual é formada a altas temperaturas ($>1200^\circ\text{C}$) [MIMANI, 2001]. As transições da alumina são derivadas de desidratação térmica dos precursores de hidróxido de alumínio.

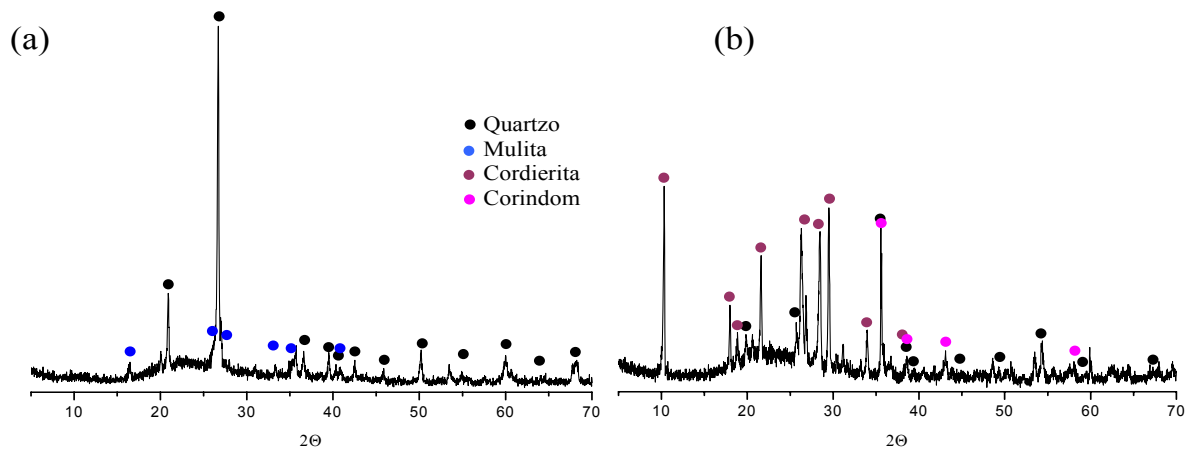


Figura 24 - Difratomogramas de Raios X do resíduo de polimento como recebido (a) e após sinterização a 1170°C (b).

Finalmente, a combinação da massa atomizada com o resíduo, antes da sinterização (Figura 25 (a)) resultou em uma combinação das fases presentes nas matérias-primas isoladamente, enquanto o aquecimento a 1170°C favoreceu a formação da fase cordierita, mantendo-se a presença de mulita, além da formação de fase vítrea (Figura 25 (b)).

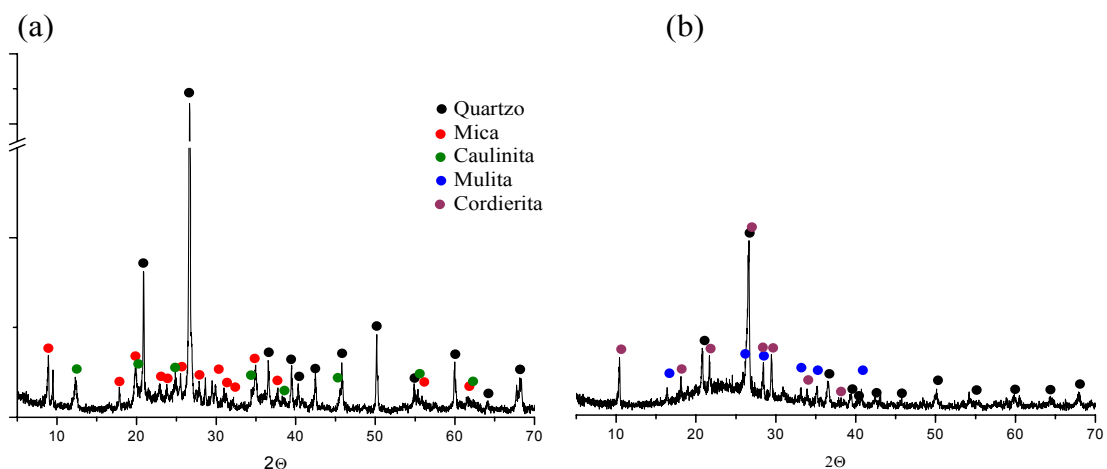


Figura 25 - Difratomogramas de Raios X da mistura composta por 20% de resíduo de polimento e 80% de massa atomizada (a) como recebido e (b) após sinterização a 1170°C .

4.2 Placas cerâmicas porosas utilizando fibras de sílica amorfa

Neste estudo preliminar, as placas cerâmicas porosas foram obtidas através da incorporação de frações em massa de 10, 20, 30, 40% de fibras de sílica amorfa à massa atomizada e com temperatura de queima igual a 1170 °C. As amostras cerâmicas foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e pela medição das propriedades térmicas (condutividade e efusividade térmicas), mecânicas (módulo de ruptura à flexão e resistência à abrasão profunda) e físicas (porosidade, absorção de água, densidade).

4.2.1 Propriedades térmicas, mecânicas e físicas

Os valores médios dos resultados das propriedades térmicas, mecânicas e físicas medidas para cada três placas cerâmicas obtidas com a incorporação de sílica amorfa e temperatura de queima igual a 1170 °C são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados obtidos para placas cerâmicas com a incorporação de sílica amorfa e temperatura de queima igual a 1170 °C.

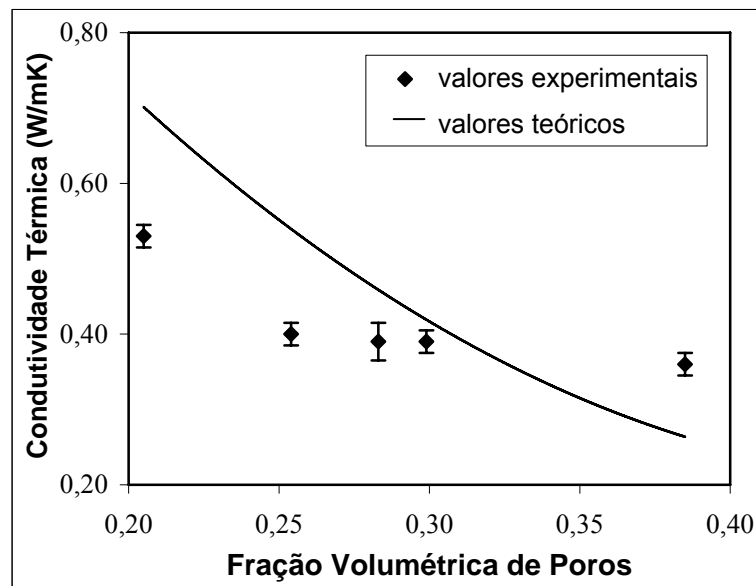
AMOSTRAS	Valores Experimentais								Valores Teóricos AIVAZOV e DOMASHNEV [1968]	
	MRF (MPa)	Abrasão Profunda (mm ³)	AA (%)	ρ_a (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	P (%)	λ (W/mK)	ϵ (Ws ^{0,5} /m ² K)	λ_T (W/mK)	ϵ_T (Ws ^{0,5} /m ²)
M (sem sílica)	35,1 ± 1,9	251	4,8	1,94	2,44	21	0,53 ± 0,01	1014	0,70	1160
MS10 (10%)	27,3 ± 2,2	388	6,7	1,79	2,40	25	0,40 ± 0,01	846	0,54	987
MS20 (20%)	20,0 ± 1,8	594	9,7	1,70	2,37	28	0,39 ± 0,02	814	0,46	892
MS30 (30%)	18,0 ± 1,5	700	10,3	1,64	2,34	30	0,39 ± 0,01	800	0,42	840
MS40 (40%)	15,0 ± 2,3	856	12,9	1,55	2,52	39	0,36 ± 0,02	747	0,26	626

A amostra sem sílica, que é um produto semi-grês (BIIa), possui módulo de ruptura à flexão > 22MPa (35,1 ± 1,9 MPa) e absorção de água entre 3% e 6% (4,8%), portanto está dentro da norma ISO 13006 [1995]. Além disso, para este mesmo módulo de ruptura à flexão > 22MPa, a resistência à abrasão profunda ≤ 345 mm³ é considerada média. Como a resistência à abrasão profunda obtida experimentalmente é de 251 mm³ corresponde a esta expectativa.

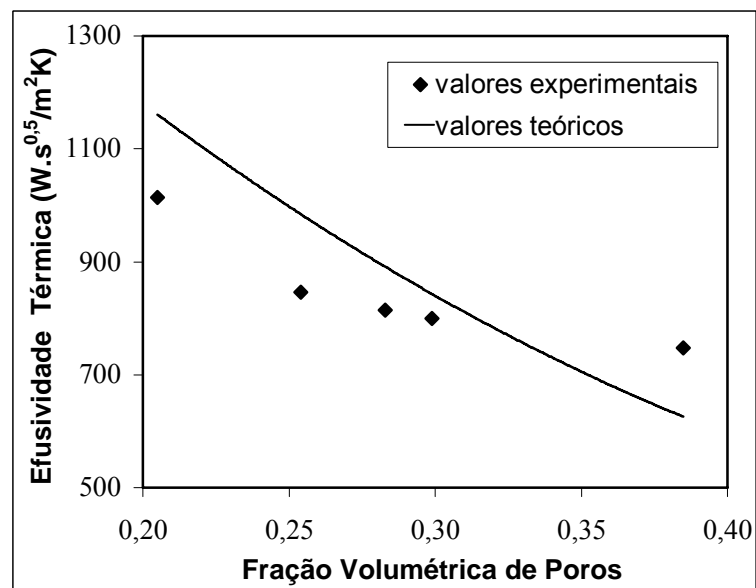
As placas cerâmicas obtidas com a incorporação de 10, 20 e 30% de fibras, possuem resistência à flexão ≥18MPa e absorção de água entre 6% e 10%. Por isso, de acordo com a

norma ISO 13006 [1995] essas placas podem ser utilizadas como revestimentos cerâmicos semi-porosos (BIb).

De acordo com a norma NBR 13817 [1997], os revestimentos, fabricados por prensagem, adequados para fixação em paredes são classificados como BIII podem ter absorção de água superior a 10%. Segundo a norma NBR 13818 [1997], produtos do grupo de absorção BIII devem apresentar módulo de ruptura à flexão igual ou superior a 15 MPa (espessura maior ou igual a 7,5mm) ou igual ou superior a 12 MPa para espessuras menores que 7,5mm.



(a)



(b)

Figura 26 - Condutividade térmica (a) e efusividade térmica (b) teórica e experimental em função da porosidade, variando-se a concentração de fibras. Amostras compactadas com 30MPa.

Dessa forma, as placas cerâmicas obtidas com a incorporação de 40% de fibras podem ser utilizadas como revestimentos cerâmicos porosos ou azulejos (BIII), de acordo com as normas NBR 13818 [1997] e ISO 13006 [1995], pois apresentam módulo de ruptura à flexão igual a $15,0 \pm 2,3$ MPa, absorção de água igual a 12,9% e espessura de 9,5 mm.

Verificou-se também, pelos valores da Tabela 6, que em relação ao comportamento mecânico o aumento da porosidade implica em diminuição da resistência à flexão.

A Figura 26 mostra o efeito da porosidade na condutividade e na efusividade térmicas, para corpos cerâmicos com incorporação de fibras de sílica e compactados a 30 MPa. Pode-se observar através desta figura que a condutividade e a efusividade térmicas são dependentes da porosidade, por exemplo, aquelas decrescem com o aumento desta variando-se a percentagem de fibras de sílica de 0 a 40% em massa. Como a percentagem de fibras de sílica incorporada não é constante, λ_0 foi ponderado, porém mantendo-se $n = 14$. Os resultados experimentais, neste caso, não se correlacionam tão bem com o modelo teórico proposto por AIVAZOV e DOMASHNEV [1968], pois ele não considera o material cerâmico como um compósito.

4.2.2 Caracterização microestrutural

A micrografia de MEV obtida para uma amostra cerâmica com a incorporação de 10% de fibras de sílica amorfa é mostrada na Figuras 27 em aumento inferior e superior.

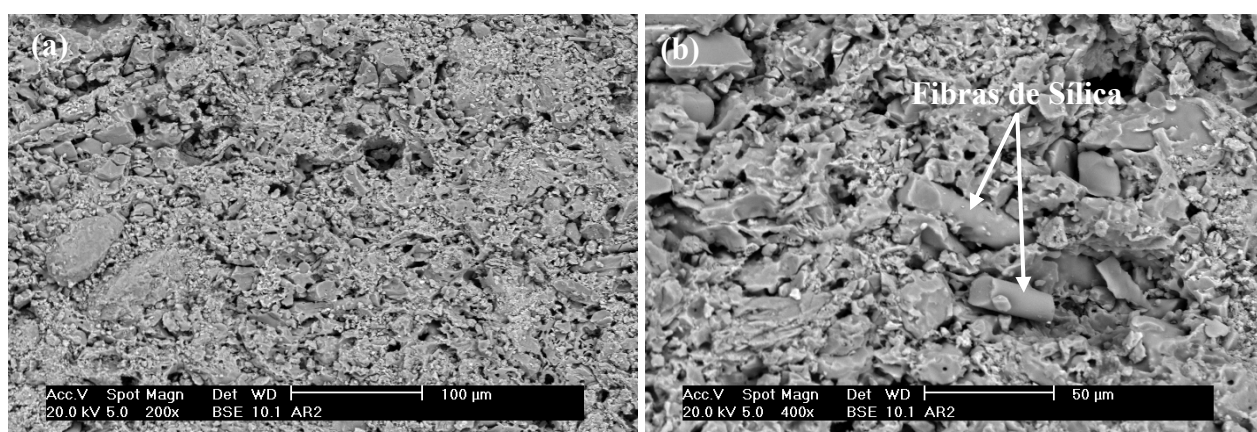


Figura 27 - Micrografia de MEV da superfície de fratura da amostra cerâmica com a incorporação de 10% de fibras de sílica amorfa.

Através da observação das micrografias, pode-se notar que além da porosidade normal usualmente presente em típicos revestimentos cerâmicos, há a porosidade proveniente dos furos das fibras de sílica e também a porosidade percebida na interface do arranjo entre as partículas das fibras de sílica e da massa atomizada (Figura 27).

4.2.3 Ensaio de contato Pé-Placas Cerâmicas Aquecidas

O aparato experimental mostrado na Figura 12 foi elaborado para avaliar o nível de desconforto de uma pessoa andando descalça sobre um piso aquecido. Duas placas cerâmicas compactadas a 30 MPa, uma sem fibra de sílica (amostra M) e a outra com a incorporação de 40% de fibra de sílica (amostra MS40) foram aquecidas a uma temperatura de 60°C (temperatura superficial) durante 15 minutos. Em seguida, fez-se o contato súbito de um pé descalço, registrando a temperatura da sola do pé inicial ($T_{\text{pé inicial}}$) e o fluxo de calor (Figura 28).

Nota-se o súbito aumento da temperatura da sola do pé no momento do contato (tempo = 0), tendendo a uma redução progressiva devido à transmissão de calor para o pé. Como esperado, a placa cerâmica MS40 (com 40% de fibra de sílica e com porosidade igual a 39%) atingiu uma temperatura de aproximadamente 4°C menor que a temperatura da placa cerâmica M (sem fibra de sílica e com porosidade igual a 21%). Este fato, já representa uma pequena melhora no grau de conforto por contato. Ainda na Figura 28, pode-se observar os fluxos de calor medidos durante o contato pé-placa cerâmica. No instante do contato, o fluxo atinge um valor máximo, diminuindo assintoticamente durante o ensaio. Conforme esperado, a troca de calor entre o pé e a placa cerâmica é menor para a cerâmica com maior porosidade.

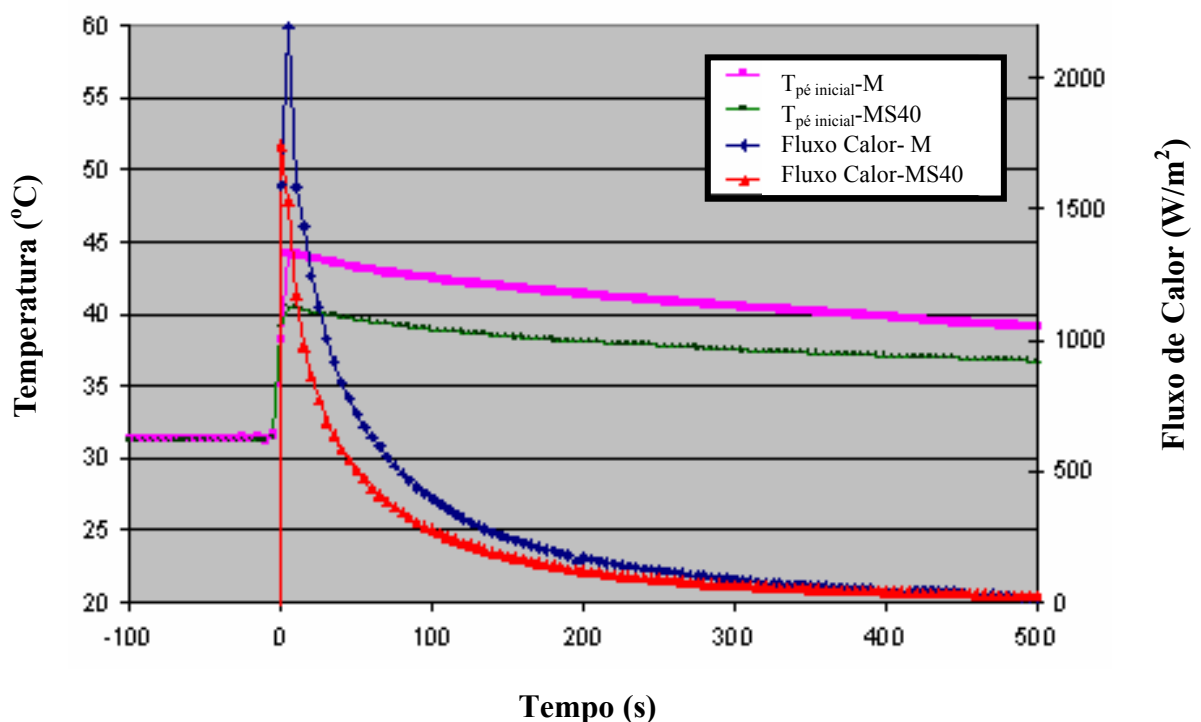


Figura 28 - Representação gráfica do ensaio de contato: pé descalço-placa cerâmica.

Considerando o pé e a placa cerâmica como sólidos semi-infinitos, pode-se determinar a temperatura de contato teórica através da equação (36). Denominando a temperatura de interface $T_{\text{sup}} = T_{\text{contato teórica}}$, a equação fica:

$$T_{\text{contato teórica}} = \frac{\epsilon_{\text{pé}} T_{\text{pé}} + \epsilon_{\text{placa}} T_{\text{placa}}}{\epsilon_{\text{pé}} + \epsilon_{\text{placa}}} \quad (36)$$

Segundo FERREIRA e YANAGIHARA [1999], o pé pode ser considerado com condutividade térmica igual a 0,47 W/mK (que é a condutividade da pele), densidade igual a 987,53 kg/m³ e calor específico igual a 3680 J/kgK, resultando em uma efusividade igual a 1307 Ws^{0,5}/m²K. A Tabela 8 mostra uma comparação entre o valor da temperatura da sola do pé obtido nos ensaios e a temperatura de contato teórica.

Tabela 8 - Resultados obtidos entre o valor da temperatura máxima atingida pela sola do pé ($T_{\text{pé máx experimental}}$) e a temperatura teórica da interface ($T_{\text{contato teórica}}$), no caso de amostras com fibras de sílica.

AMOSTRAS	$\epsilon_{\text{pé}}$ (Ws ^{0,5} /m ² K)	$T_{\text{pé inicial}}$ (°C)	ϵ_{placa} (Ws ^{0,5} /m ² K)	T_{placa} (°C)	$T_{\text{contato teórica}}$ (°C)	$T_{\text{pé máx experimental}}$ (°C)
M (sem fibra de sílica)	1307	31,5	1014	60	44,0	44,2
MS40 (40% de fibra sílica)	1307	31,5	747	60	42,0	40,5

Pode-se verificar pouca diferença entre os valores teóricos e experimentais. O dispositivo experimental elaborado para o ensaio de contato entre um pé descalço e um piso aquecido, mostrou-se coerente e importante para o estudo da avaliação do conforto térmico visto que a temperatura teórica e experimental de interface diminuem com a redução da efusividade térmica e que os valores teóricos e experimentais são concordantes, justificando o uso do modelo de sólido semi-infinito, o correto valor das propriedades térmicas do pé e a boa resistência de contato pé-placa cerâmica. Além disso, pode-se constatar que os sensores de fluxo de calor podem ser considerados uma ferramenta importante na avaliação de sistemas térmicos transientes.

4.3 Placas cerâmicas porosas constituídas de massa cerâmica atomizada variando-se a pressão de compactação

Neste estudo, as placas cerâmicas constituídas apenas de massa atomizada, foram elaboradas mantendo-se a temperatura de queima a 1170 °C e variando-se a pressão de compactação (10, 15, 20, 25 e 30 MPa). As amostras cerâmicas foram avaliadas por

microscopia eletrônica de varredura (MEV) e pela medição das propriedades térmicas (condutividade e efusividade térmicas), módulo de ruptura à flexão e físicas (porosidade e densidade).

4.3.1 Propriedades térmicas, mecânicas e físicas

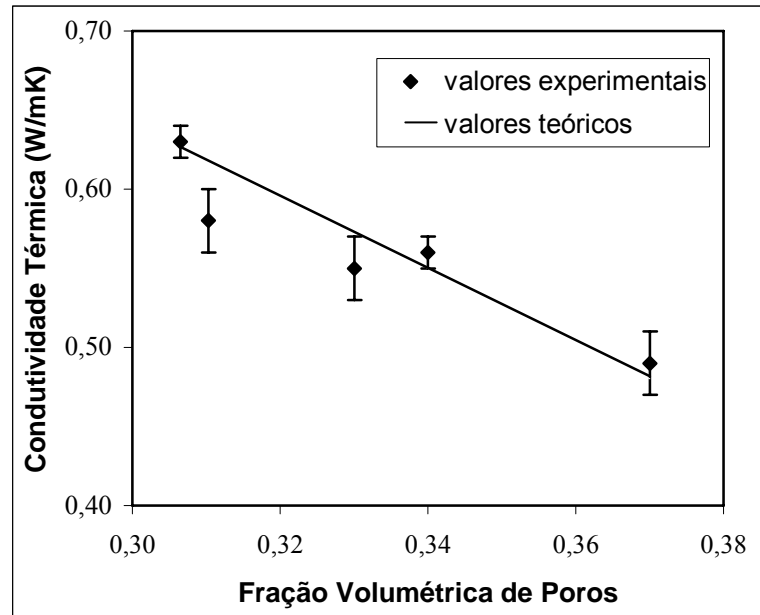
A Tabela 9 apresenta os valores médios dos resultados das propriedades medidas para cada três placas cerâmicas, considerando diferentes pressões de compactação e mantendo-se a temperatura de queima igual a 1170 °C.

Pela ISO 13006 [1995], um produto semi-grês deve possuir módulo de ruptura à flexão ≥ 22 MPa. Mesmo com a geração de porosidade, variando-se a pressão de compactação das placas cerâmicas (N1, N2, N3, N4) mantendo-se a temperatura de queima igual a 1170 °C, todas apresentaram módulo de ruptura ≥ 22 MPa (Tabela 9), com exceção das placas N5 cuja pressão de compactação aplicada foi de apenas 10 MPa e o módulo de ruptura apresentou um valor menor que 22 MPa ($20,4 \pm 1,5$ MPa). Por isso, de acordo com essa norma, essas placas podem ser classificadas como revestimentos cerâmicos semi-porosos (BIIB), pois possuem resistência à flexão ≥ 18 MPa.

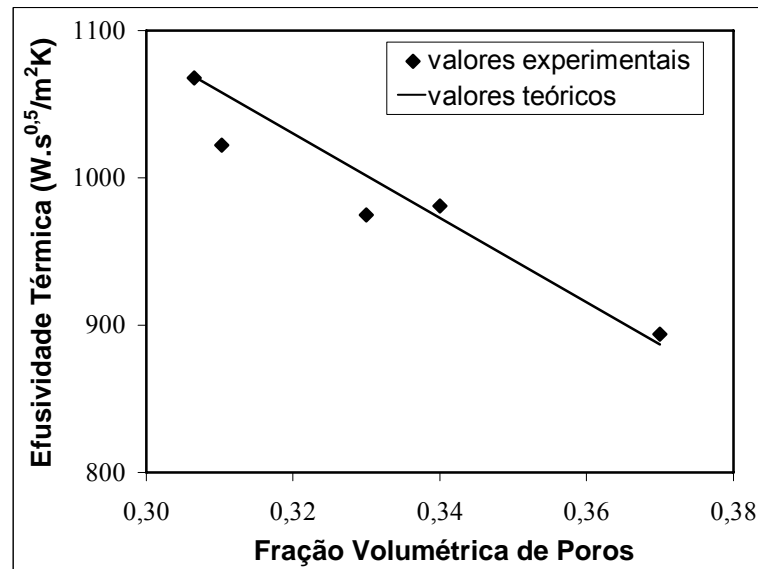
Tabela 9 - Resultados obtidos para placas cerâmicas constituídas de pó cerâmico atomizado variando-se a pressão de compactação e mantendo-se a temperatura de queima igual a 1170 °C.

AMOSTRAS	Valores Experimentais						Valores Teóricos AIVAZOV e DOMASHNEV [1968]	
	MRF (MPa)	ρ_a (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	P (%)	λ (W/mK)	ε (Ws ^{0,5} /m ² K)	λ_T (W/mK)	ε_T (Ws ^{0,5} /m ² K)
N1 (30MPa)	26,9 ± 0,3	1,81	2,61	31	0,63 ± 0,01	1068	0,63	1067
N2 (25MPa)	25,1 ± 1,1	1,80	2,61	31	0,58 ± 0,02	1022	0,61	1058
N3 (20MPa)	24,8 ± 0,8	1,73	2,58	33	0,55 ± 0,02	975	0,58	1002
N4 (15MPa)	22,9 ± 1,0	1,72	2,60	34	0,56 ± 0,01	981	0,55	976
N5 (10MPa)	20,4 ± 1,5	1,63	2,59	37	0,49 ± 0,02	894	0,48	885

Podemos observar também, que as placas cerâmicas obtidas com pressão de compactação de 25 e 30 MPa, apresentaram porosidade igual a 31%. Logo, o limite de compactação para as placas é de 25 MPa. Acima deste valor, não haverá diminuição da porosidade das placas.



(a)



(b)

Figura 29 - Condutividade térmica (a) e efusividade térmica (b) teórica e experimental em função da porosidade que foi variada pelos diferentes valores de pressão de compactação aplicada.

O efeito da porosidade na condutividade e na efusividade térmicas, para as placas cerâmicas compactadas em pressões diferentes, pode ser observado na Figura 29. A condutividade e a efusividade térmicas decrescem com o aumento da porosidade variando-se a pressão de compactação entre 30 a 10 MPa. Comparando os resultados obtidos experimentalmente com o modelo teórico proposto por AIVAZOV e DOMASHNEV [1968], para a condutividade térmica, de acordo com a equação (22), pode-se verificar uma boa correlação no intervalo da porosidade estudado para $n = 8$ e $\lambda_0 = 1,6$ W/m.K.

4.3.2 Caracterização microestrutural

As micrografias de MEV obtidas para as amostras cerâmicas, constituídas apenas de massa atomizada e variando-se a pressão de compactação em 30, 25, 20, 15 e 10 MPa, são mostradas na Figura 30.

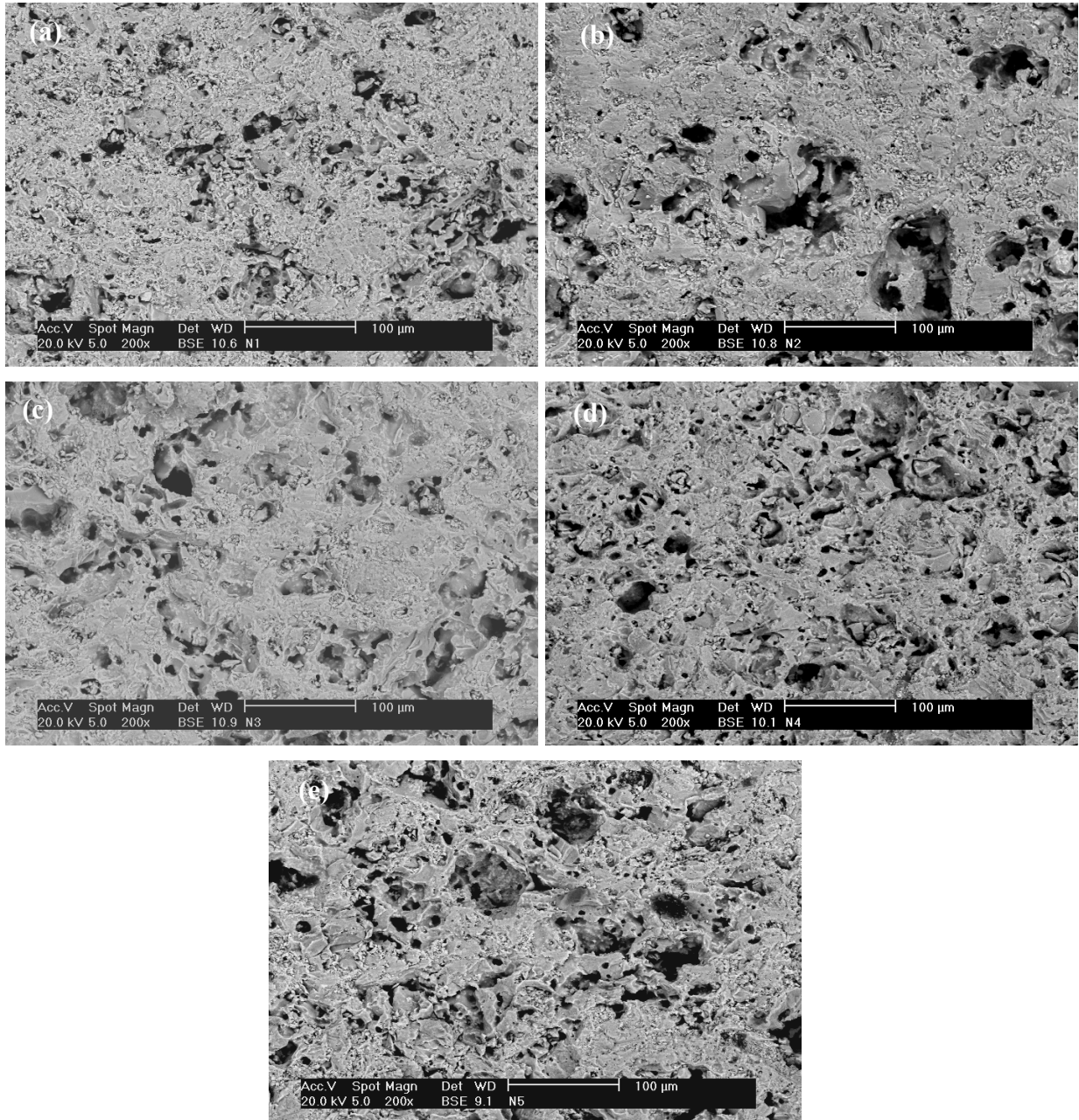


Figura 30 - Micrografias de MEV da amostras cerâmica com pressão de compactação (a) de 30 MPa (b) 25 MPa (c) 20 MPa (d) 15 MPa e (e) 10MPa.

Pode-se observar (Figura 30) que a porosidade varia de acordo com a pressão de compactação, não apenas na quantidade como também no tamanho dos poros. Quando a pressão de compactação é diminuída, a porosidade se apresenta de forma interconectada.

4.4 Placas cerâmicas porosas obtidas através da incorporação de resíduo do polimento de porcelanato e mantendo-se a temperatura de queima a 1170°C

Nesta terceira alternativa, as placas cerâmicas porosas foram obtidas através da incorporação de frações em massa de 10, 20, 30, 40, 50, 75 e 100% de resíduo de polimento mantendo-se a temperatura de queima a 1170°C e a pressão de compactação de 30MPa. As amostras cerâmicas foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e pela medição das propriedades térmicas (condutividade e efusividade térmicas), mecânicas (módulo de ruptura à flexão e resistência à abrasão profunda), físicas (porosidade, absorção de água, densidade) e outras.

4.4.1 Propriedades térmicas, mecânicas e físicas

A Tabela 10 apresenta os valores médios das propriedades mecânicas e físicas medidas para cada cinco placas cerâmicas constituídas de diferentes frações em massa do resíduo do polimento de porcelanato incorporado à massa atomizada. Podemos observar na Tabela 10 que a amostra M (sem resíduo), que é um produto semi-grês (BIIa), possui módulo de ruptura à flexão $\geq 22\text{MPa}$ ($38,7 \pm 0,7 \text{ MPa}$) e absorção de água entre 3% e 6% (3,5%), portanto está dentro da norma ISO 13006 [1995]. Além disso, para esta mesma resistência à flexão $\geq 22\text{MPa}$, a resistência à abrasão profunda $\leq 345 \text{ mm}^3$ é considerada média. Como a resistência à abrasão profunda obtida experimentalmente é de 195 mm^3 , corresponde a esta expectativa.

As placas cerâmicas com a incorporação de 10% de resíduo possuem a resistência à flexão de $25,1 \pm 1,9 \text{ MPa}$, absorção da água igual a 4,6% e resistência à abrasão profunda igual a 206mm^3 . Por isso, de acordo com a norma ISO 13006 [1995], essas placas também podem ser classificadas como produto cerâmico semi-grês (BIIa). As placas cerâmicas com a incorporação de 20% de resíduo possuem o módulo de ruptura à flexão de $21,5 \pm 1,4 \text{ MPa}$, absorção da água igual a 7,8% e resistência à abrasão profunda igual a 260mm^3 . Por isso, de acordo com a norma ISO 13006 [1995], essas placas são classificadas como revestimentos cerâmicos semi-porosos (BIIb). Já as placas cerâmicas com a incorporação de 30% de resíduo possuem o módulo de ruptura à flexão de $16,8 \pm 1,1 \text{ MPa}$, absorção de água igual a 11,6% e resistência à abrasão profunda igual a 370mm^3 . Dessa forma, essas placas podem ser utilizadas como revestimentos cerâmicos porosos ou azulejos (BIII) [ISO 13006, 1995].

Com relação às propriedades físicas, podemos observar que a densidade aparente diminui à medida que se aumenta a incorporação do resíduo já que há um aumento da porosidade. Para a densidade real, que representa a densidade da matriz sólida, verifica-se que tanto a massa atomizada quanto o resíduo do polimento de porcelanato possuem densidades muito semelhantes (Tabela 10).

Tabela 10 - Resultados obtidos para placas cerâmicas com a incorporação de resíduo.

AMOSTRAS	Valores Experimentais							
	MRF (MPa)	Abrasão Profunda (mm ³)	AA (%)	RL (%)	PF (%)	ρ_a (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	P (%)
M (sem resíduo)	38,7 ± 0,7	195	3,5	11,3	7,1	2,31	3,23	29
MAR 10	25,1 ± 1,9	206	4,6	-----	6,9	2,13	3,18	33
MAR 20	21,5 ± 1,4	260	7,8	5,7	6,9	1,98	3,04	35
MAR 30	16,8 ± 1,1	370	11,6	-----	6,5	1,84	2,98	38
MAR 40	13,8 ± 0,8	482	15,0	-----	6,4	1,68	2,97	43
MAR 50	11,6 ± 1,3	618	19,0	3,8	6,4	1,56	2,93	47
MAR 75	9,0 ± 1,0	990	43,3	-----	5,9	1,10	3,18	65
RES	10,4 ± 1,4	1235	44,5	5,3	5,2	1,11	3,13	64

Pode-se observar através da Figura 31, que a AA aumenta à medida que a incorporação do resíduo é aumentada. Como era de se esperar, para a variação da retração linear (RL) com o aumento do teor de resíduo ocorre o inverso da absorção de água (AA). A retração linear diminuiu até a adição de 50% de resíduo, e a partir daí, aumentou com 100% de resíduo de polimento.

Conforme esperado (Tabela 10), a adição de resíduo provocou a formação de poros diminuindo a resistência mecânica, como também a condutividade térmica (Figura 32). Sob o ponto de vista térmico, quanto menor é a efusividade mais confortável será o piso cerâmico.

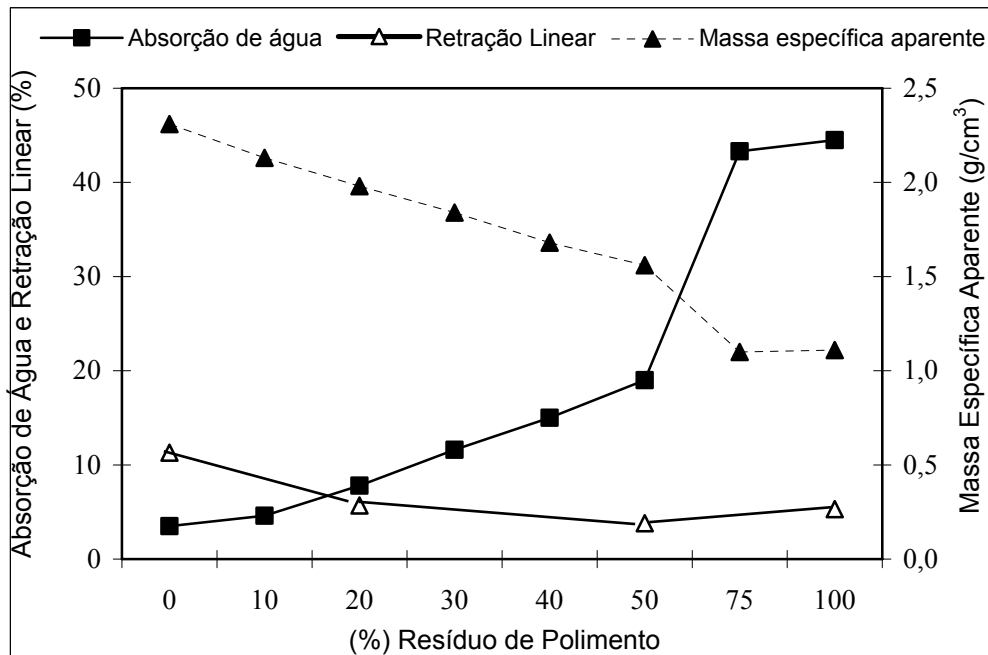


Figura 31 - Variação da AA, RL e ρ_a com a incorporação de resíduo.

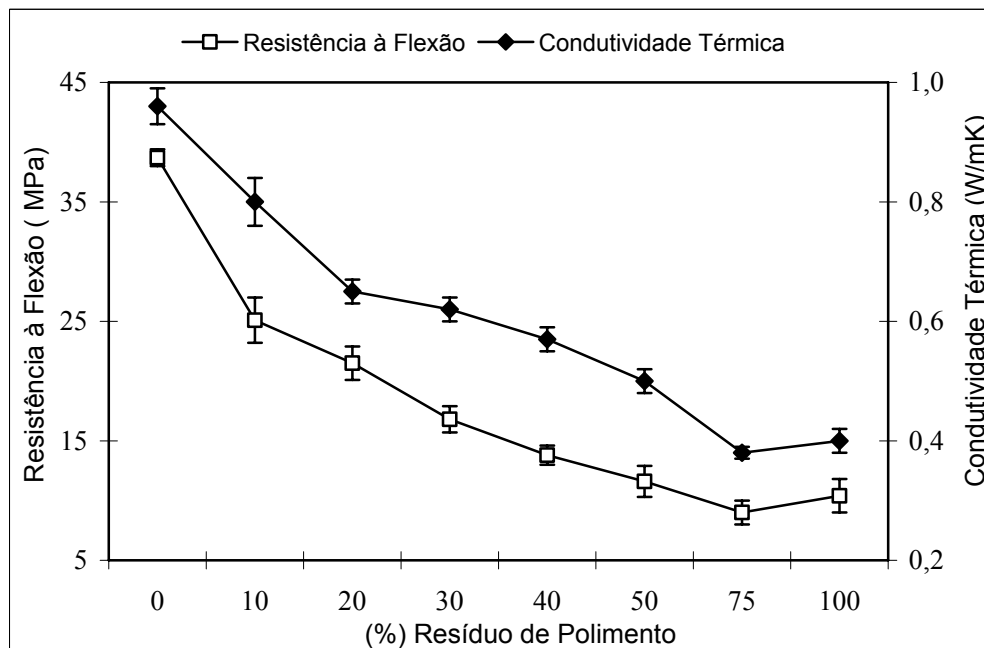
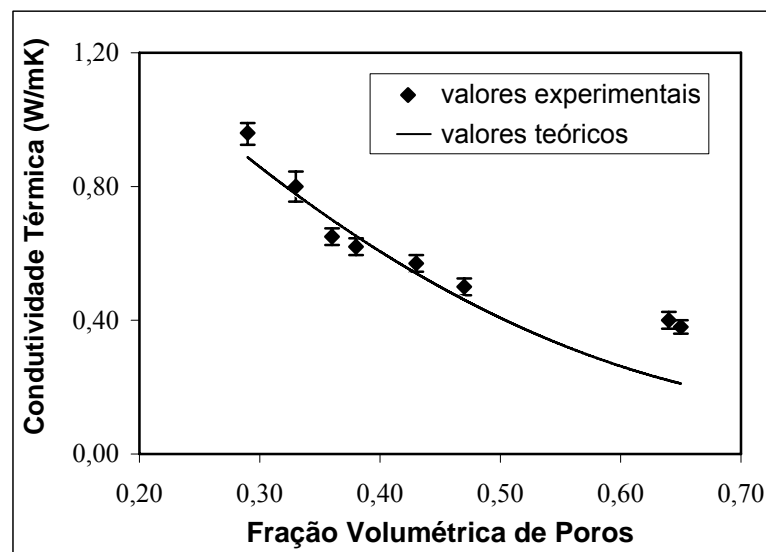


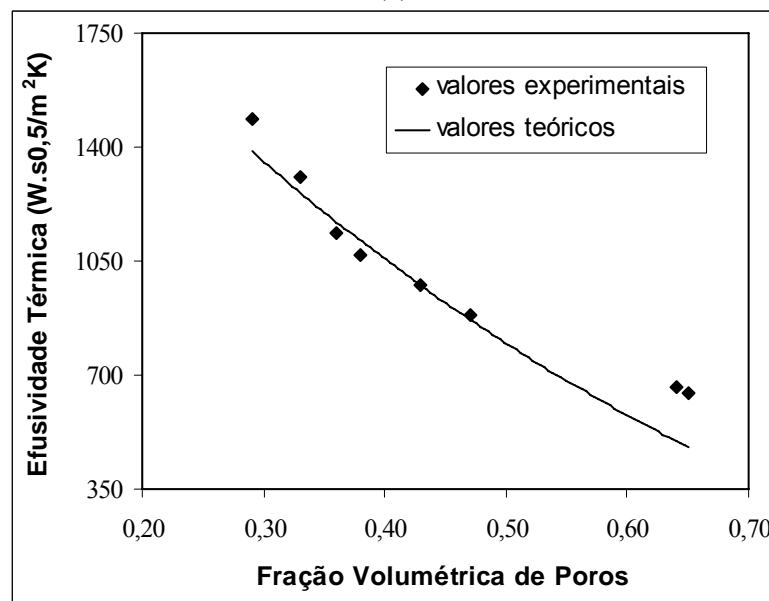
Figura 32 - Variação da resistência à flexão e da condutividade térmica com a incorporação de resíduo.

Na Tabela 11 e na Figura 33, observa-se também que, para as placas de massa com a incorporação de resíduo do polimento do porcelanato, a condutividade e a efusividade térmica decrescem com o aumento da porosidade total. Comparando os resultados obtidos experimentalmente com o modelo teórico proposto por AIVAZOV e DOMASHNEV [1968]

para a condutividade térmica, de acordo com a equação (22), pode-se verificar uma boa correlação no intervalo da porosidade entre 0 a 50% do resíduo de polimento incorporado à massa atomizada, para $n = 4$ e $\lambda_0 = 1,65 \text{ W/m.K}$. Já para 75% e 100% de resíduo (cuja porosidade é igual a 65% e 64% respectivamente), os valores experimentais não se correlacionam tão bem com o modelo teórico proposto, justamente porque este modelo é válido apenas para fração volumétrica de poros até 0,50. Além disso, a partir de 50% de resíduo (que seria o ponto ótimo) incorporado à massa atomizada, mais precisamente 75% e 100% para o nosso estudo, há mais resíduo do que massa atomizada, justificando o fato dos valores experimentais ficarem fora da curva teórica apresentada.



(a)



(b)

Figura 33 - Condutividade térmica (a) e efusividade térmica (b) teórica e experimental em função da porosidade das amostras compactadas.

Tabela 11 - Condutividade e efusividade térmicas teóricas e experimentais.

AMOSTRAS	Valores Experimentais					Valores Teóricos AIVAZOV e DOMASHNEV [1968]	
	ρ_a (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	P (%)	λ (W/mK)	ϵ (Ws ^{0,5} /m ²)	λ_T (W/mK)	ϵ_T (Ws ^{0,5} /m ² K)
M (sem resíduo)	2,31	3,23	29	0,96 ± 0,03	1489	0,89	1385
MAR 10	2,13	3,18	33	0,80 ± 0,04	1305	0,77	1261
MAR 20	1,98	3,04	36	0,65 ± 0,02	1134	0,71	1171
MAR 30	1,84	2,98	38	0,62 ± 0,02	1068	0,65	1113
MAR 40	1,68	2,97	43	0,57 ± 0,02	979	0,53	974
MAR 50	1,56	2,93	47	0,50 ± 0,02	883	0,47	871
MAR 75	1,10	3,18	65	0,38 ± 0,01	647	0,21	481
RES	1,11	3,13	64	0,40 ± 0,02	666	0,22	500

4.4.2 Caracterização microestrutural

As micrografias de MEV para as amostras cerâmicas compactadas com a incorporação de 0, 10, 20, 30, 40 e 50% de resíduo são apresentadas na Figuras 34 e amostras cerâmicas compactadas com 75 e 100 % de resíduo são apresentadas na Figuras 35. Pode-se observar que, além da porosidade normal usualmente observada em típicos revestimentos cerâmicos, há também a porosidade proveniente do resíduo do polimento de porcelanato que aumenta à medida que uma maior quantidade de resíduo é incorporado à massa atomizada. Pode-se também visualizar o aumento da quantidade e tamanho de poros na medida em que a quantidade de resíduo é aumentada.

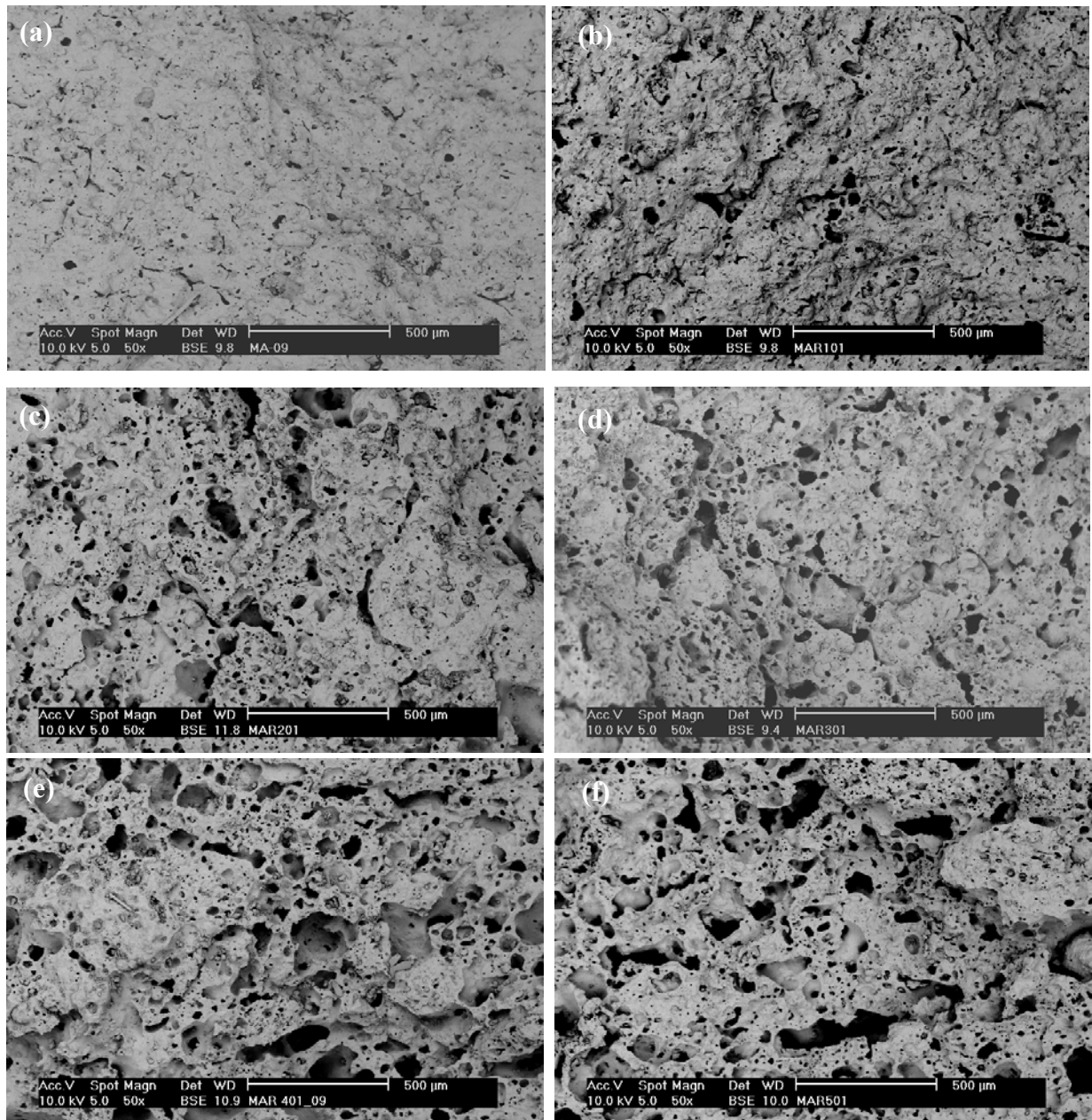


Figura 34 - Microestrutura (a) da massa atomizada (b) com incorporação de 10% (c) 20% (d) 30% (e) 40% (f) 50% de resíduo.

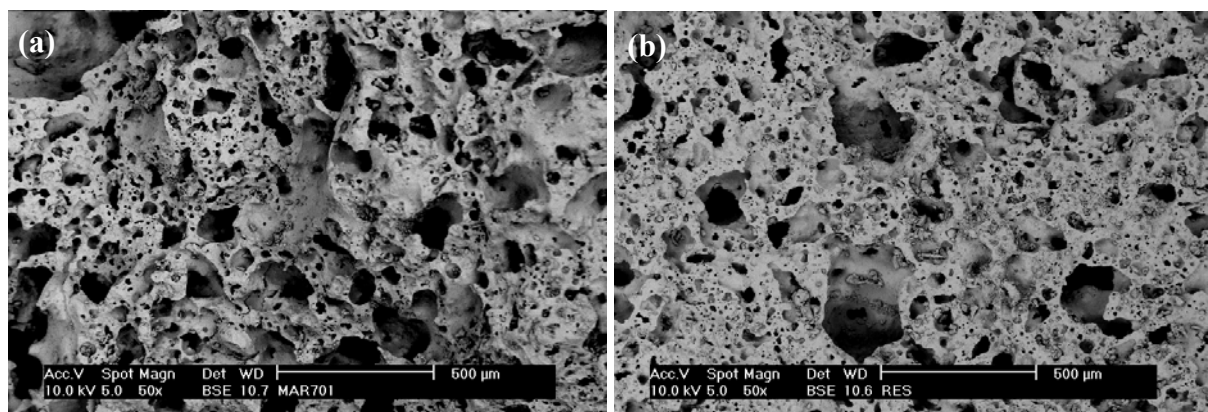


Figura 35 - Microestrutura da massa atomizada com 75% de resíduo (a) e com 100% de resíduo de polimento (b).

As micrografias de MEV para as amostras cerâmicas compactadas com 0, 20, 50 e 100 % de resíduo também são mostradas na Figura 36 com maior ampliação.

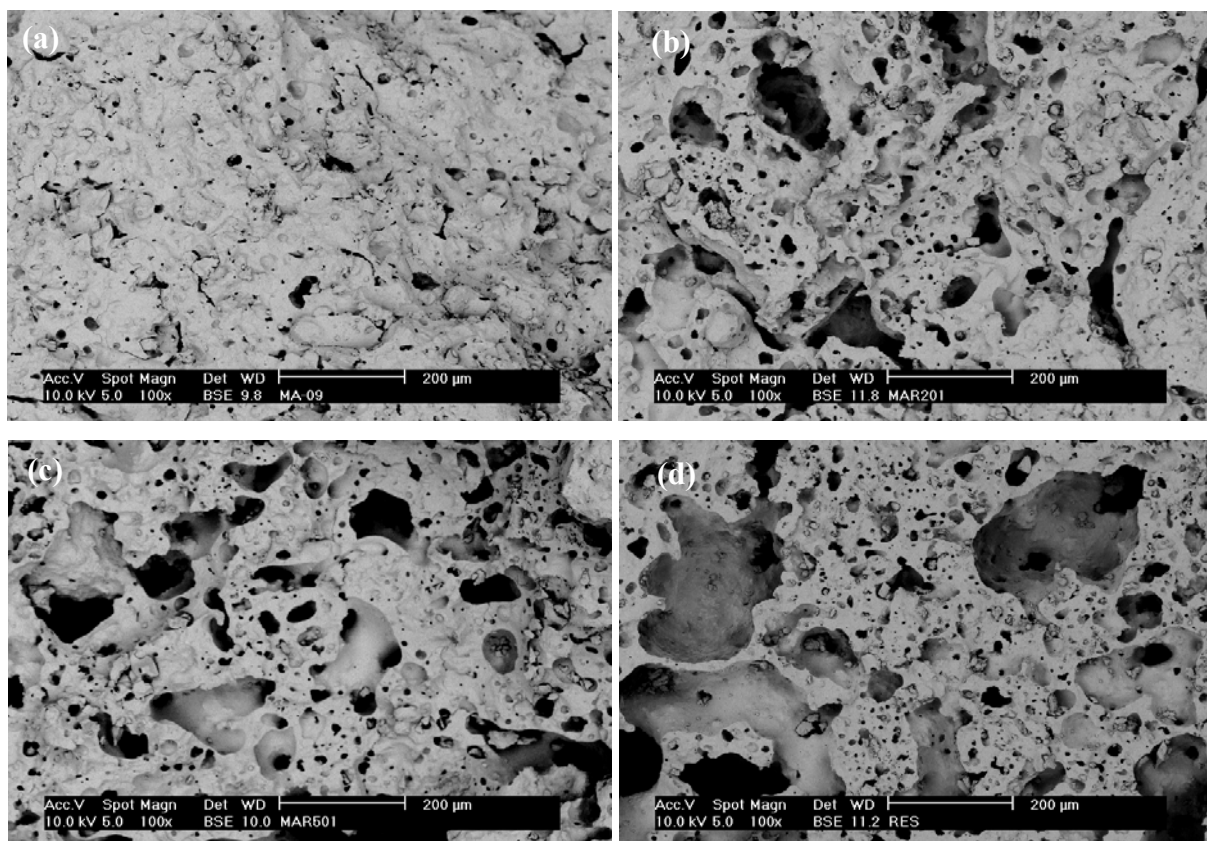


Figura 36 - Microestrutura (a) da massa atomizada (b) com incorporação de 20% (c) 50% de resíduo (d) com 100% de resíduo de polimento.

4.4.3 Ensaio de Contato Luva-Piso e Luva-Placa Cerâmica Resfriada

As duas amostras do piso comercial, PC, rugoso e liso foram avaliadas a uma temperatura superficial do piso medida através do dispositivo elaborado (Figura 10). Em seguida, fez-se o contato súbito de um pé descalço (luva) sobre os pisos, registrando-se a temperatura de contato experimental (luva-piso) ao longo do tempo. Os pisos liso e rugoso atingiram uma temperatura de contato de 39,3 e 36,4 °C (Tabela 12), respectivamente. Como esperado, o piso PC rugoso apresenta uma temperatura de aproximadamente 2,9 °C menor que a temperatura do piso PC liso, representando uma pequena melhora no grau de conforto por contato.

Já para as placas cerâmicas fabricadas, M que possui uma superfície lisa (sem resíduo, porosidade igual a 29%) e MAR 40 que possui uma superfície rugosa (40% de resíduo,

porosidade igual a 43%), a temperatura de contato foi de aproximadamente 40,3 e 38,0 °C, respectivamente. Logo a amostra MAR 40 apresenta aproximadamente 2,3 °C a menos que a placa M, representando uma pequena melhora no grau de conforto por contato. Já a amostra RES (100% de resíduo, porosidade igual a 64%) apresenta 3,4 °C a menos que a mesma placa M.

A Tabela 12 apresenta a temperatura superficial das amostras expostas ao sol (T_{sol}), a temperatura inicial ($T_{inicial}$) dos pisos, valores máximos de temperatura de contato luva-piso ($\Delta T_{m\acute{a}x}$) e a temperatura de contato luva-piso ($T_{contato\ experimental}$) obtidos através do dispositivo elaborado (Figura 13).

Tabela 12 - Estimativa da temperatura de contato experimental (dispositivo elaborado) luva-piso e luva-placa cerâmica.

AMOSTRAS	$T_{inicial}$ (°C)	$\Delta T_{m\acute{a}x}$ (°C)	f (%)	T_{sol} (°C)	$T_{contato\ experimental}$ (°C)
Piso PC liso	24,4	7,33	30	51,5	39,3
Piso PC rugoso	26,6	3,32	14	51,5	36,4
M (sem resíduo)	25,2	8,08	32	53,7	40,3
MAR 10	24,0	6,87	29	53,9	39,7
MAR 20	25,1	7,37	29	54,6	40,0
MAR 30	26,7	5,70	21	53,5	38,8
MAR 40	24,3	4,57	19	55,1	38,0
MAR 50	26,0	4,55	17	55,1	37,7
MAR 75	25,4	4,25	17	53,5	37,3
RES	25,7	3,87	15	53,5	36,9

Através do aparato que utiliza a luva como um modelo do pé e considerando a placa cerâmica como sólido semi-infinito, pode-se determinar a temperatura de contato teórica através da equação (37). Considerando a $\epsilon_{p\acute{e}} = \epsilon_{luva}$ e $T_{p\acute{e}} = T_{luva}$ a equação fica:

$$T_{contato\ te\acute{o}rica} = \frac{\epsilon_{luva} T_{luva} + \epsilon_{placa} T_{placa}}{\epsilon_{luva} + \epsilon_{placa}} \quad (37)$$

Para a luva látex com água e gelo fundente ($T = 0$ °C) assume-se a condutividade térmica como sendo igual a 0,6 W/mK (que é a condutividade do gelo fundente), densidade igual a 1000 kg/m³ e calor específico igual a 4180 J/kgK, resultando em uma efusividade igual a 1584 Ws^{0,5}/m²K. Os dados utilizados foram obtidos da literatura [INCROPERA e DE WITT, 1998].

A Tabela 13 mostra uma comparação entre o valor da temperatura da sola do pé obtido nos ensaios e a temperatura de contato teórica.

Tabela 13 - Resultados obtidos entre o valor da temperatura da sola do pé ($T_{\text{contato experimental}}$) e a temperatura teórica da interface ($T_{\text{contato teórica}}$), no caso de amostras com resíduo de polimento.

AMOSTRAS	$\epsilon_{\text{lúva}}$ ($W s^{0,5}/m^2 \cdot K$)	$T_{\text{pé}}$ ($^{\circ}C$)	ϵ_{placa} ($W s^{0,5}/m^2 \cdot K$)	T_{sol} ($^{\circ}C$)	$T_{\text{contato teórica}}$ ($^{\circ}C$)	$T_{\text{contato experimental}}$ ($^{\circ}C$)
Piso PC liso	1584	34	1151	51,5	41,4	39,3
Piso PC rugoso	1584	34	994	51,5	40,7	36,4
M (sem resíduo)	1584	34	1489	53,7	43,5	40,3
MAR 40 (40% de resíduo)	1584	34	979	55,1	42,1	38,0

Para o cálculo da temperatura de contato simulada ($T_{\text{contato simulada}}$) através da simulação numérica (Tabela 14), foi desenvolvido um modelo constituído de quatro corpos em contato representando a luva dupla de látex em contato com o piso ou placa cerâmica (camada superficial e substrato). Um esquema ilustrativo da simulação numérica (Figura 37) mostra o valor máximo da temperatura de contato luva-Piso PC rugoso encontrado ($\Delta T_{\text{máx}} = 4,64^{\circ}C$).

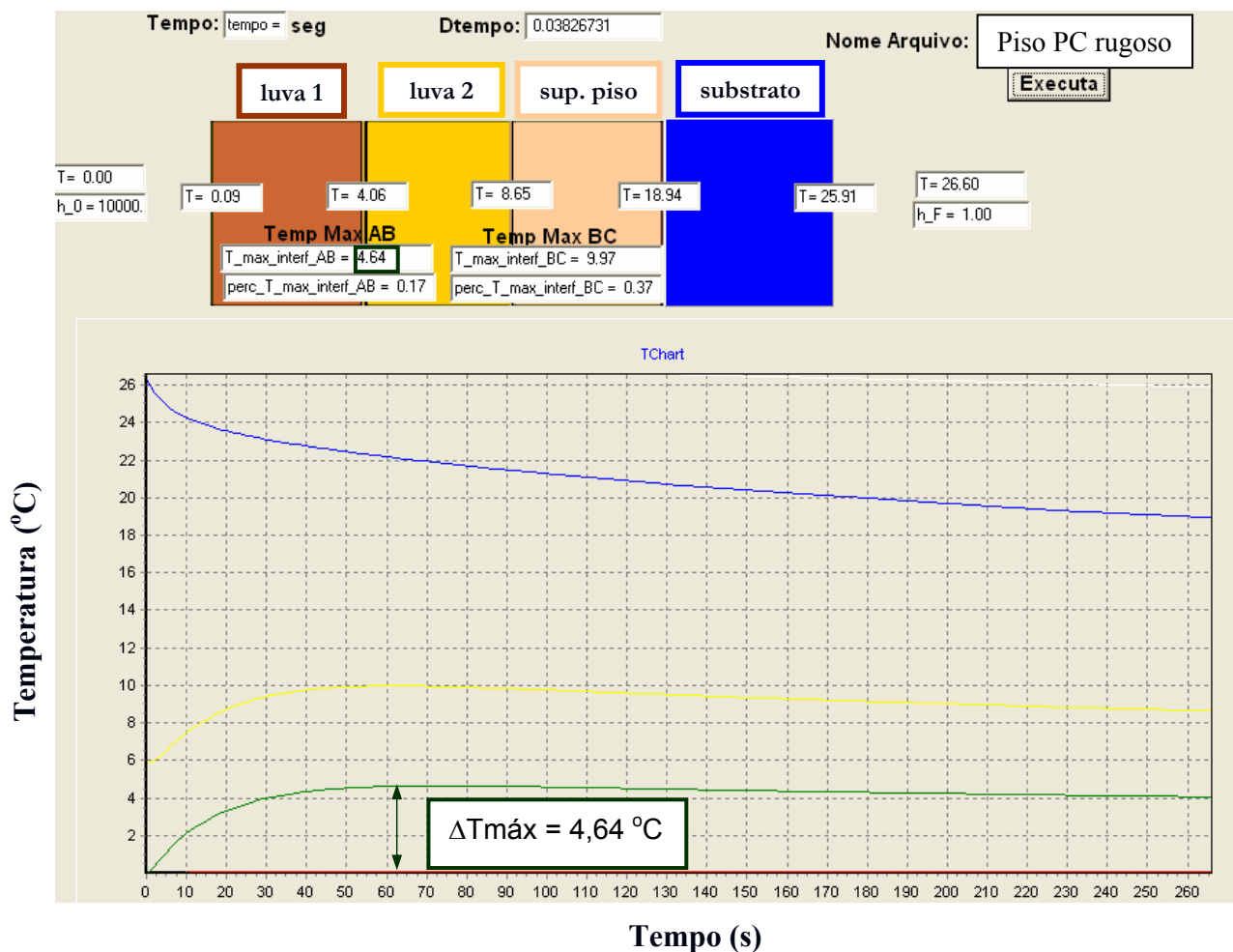


Figura 37 - Valor máximo da temperatura de contato simulada luva-Piso PC rugoso ($\Delta T_{\text{máx}}$).

Tabela 14 - Estimativa da temperatura de contato simulada luva-piso e luva-placa cerâmica.

AMOSTRAS	$\Delta T_{\text{máx}}$ (°C)	T_{inicial} (°C)	f (%)	T_{sol} (°C)	$T_{\text{contato simulada}}$ (°C)
Piso PC liso	7,22	24,4	30	51,5	39,2
Piso PC rugoso	4,64	26,6	17	51,5	37,1
M (sem resíduo)	7,82	25,2	31	53,7	40,1
MAR 40 (40% de resíduo)	3,98	24,3	16	55,1	37,5

Já as Tabelas 15 e 16 apresentam as variáveis de entrada utilizadas para o sistema de controle (simulação numérica luva-piso e luva-placa cerâmica).

Tabela 15 - Variáveis de entrada utilizadas para o sistema de controle (simulação numérica luva-piso).

LUVA	PISO PC liso
<ul style="list-style-type: none"> - $T_{\text{inicial da luva}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ - $h_c = 10000 \text{ W/m}^2.\text{K}$ - espessura da luva = 0,65 mm - $\lambda_{\text{luva}} = 0,13 \text{ W/m.K}$ - $\rho_{\text{luva}} = 1100 \text{ kg/m}^3$ - $c_{\text{luva}} = 2010 \text{ J/kg.K}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{\text{piso liso}} = 24,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ - $h_c = 0 \text{ W/m}^2.\text{K}$ (meio isolado) - espessura da camada superficial do piso liso = 0,55 mm - espessura do substrato = 6,6 mm - $\lambda_{\text{camada superficial do piso liso}} = 0,72 \text{ W/m.K}$ - $\lambda_{\text{substrato}} = 0,72 \text{ W/m.K}$ - $\rho_{\text{camada superficial do piso liso}} = 260 \text{ kg/m}^3$ - $\rho_{\text{substrato}} = 2600 \text{ kg/m}^3$ - $c_{\text{piso, para ambas camadas}} = 1000 \text{ J/kg.K}$
	PISO PC rugoso
	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{\text{piso rugoso}} = 26,6 \text{ } ^\circ\text{C}$ - $h_c = 0 \text{ W/m}^2.\text{K}$ (meio isolado) - espessura da camada superficial do piso rugoso = 0,55 mm - espessura do substrato = 7,15 mm - $\lambda_{\text{camada superficial do piso rugoso}} = 0,09 \text{ W/m.K}$ - $\lambda_{\text{substrato}} = 0,72 \text{ W/m.K}$ - $\rho_{\text{camada superficial do piso rugoso}} = 260 \text{ kg/m}^3$ - $\rho_{\text{substrato}} = 2600 \text{ kg/m}^3$ - $c_{\text{piso, para ambas camadas}} = 1000 \text{ J/kg.K}$

Tabela 16 - Variáveis de entrada utilizadas para o sistema de controle (simulação numérica luva-placa cerâmica).

LUVA	PLACA CERÂMICA lisa –M (sem resíduo)
<ul style="list-style-type: none"> - $T_{\text{inicial da luva}} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ - $h_c = 10000 \text{ W/m}^2.\text{K}$ - espessura da luva = 0,65 mm - $\lambda_{\text{luva}} = 0,13 \text{ W/m.K}$ - $\rho_{\text{luva}} = 1100 \text{ kg/m}^3$ - $c_{\text{luva}} = 2010 \text{ J/kg.K}$ 	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{\text{placa lisa}} = 25,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ - $h_c = 0 \text{ W/m}^2.\text{K}$ (meio isolado) - espessura camada superficial da placa lisa = 0,55 mm - espessura do substrato = 8,25 mm - $\lambda_{\text{camada superficial da placa lisa}} = 0,96 \text{ W/m.K}$ - $\lambda_{\text{substrato}} = 0,96 \text{ W/m.K}$ - $\rho_{\text{camada superficial da placa lisa}} = 231 \text{ kg/m}^3$ - $\rho_{\text{substrato}} = 2310 \text{ kg/m}^3$ - $c_{\text{placa cerâmica, para ambas camadas}} = 1000 \text{ J/kg.K}$
	PLACA CERÂMICA rugosa – MAR 40 (40% de resíduo)
	<ul style="list-style-type: none"> - $T_{\text{placa rugosa}} = 24,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ - $h_c = 0 \text{ W/m}^2.\text{K}$ (meio isolado) - espessura camada superficial da placa rugosa = 0,55 mm - espessura do substrato = 9,45 mm - $\lambda_{\text{camada superficial da placa rugosa}} = 0,09 \text{ W/m.K}$ - $\lambda_{\text{substrato}} = 0,57 \text{ W/m.K}$ - $\rho_{\text{camada superficial da placa rugosa}} = 168 \text{ kg/m}^3$ - $\rho_{\text{substrato}} = 1680 \text{ kg/m}^3$ - $c_{\text{placa cerâmica, para ambas as camadas}} = 1000 \text{ J/kg.K}$

A Tabela 17 mostra uma comparação entre os valores experimentais obtidos através do dispositivo elaborado ($T_{\text{contato experimental}}$) e os valores teóricos obtidos através do modelo teórico ($T_{\text{contato teórica}}$). Pode-se notar que para o piso PC liso cuja superfície é lisa a diferença entre as temperaturas é de 2,1 °C e para o piso PC rugoso cuja superfície é rugosa a diferença entre as temperaturas é de 4,3 °C. Já comparando a temperatura de contato experimental com a temperatura de contato simulada ($T_{\text{contato simulada}}$), a diferença entre as temperaturas para o piso PC liso é de 0,1 °C e para o piso PC rugoso é de 0,7 °C.

Tabela 17 - Valores obtidos para as temperaturas de contato: experimental, teórica e simulada.

AMOSTRAS	$T_{\text{contato experimental}}$ (°C)	$T_{\text{contato teórica}}$ (°C)	$T_{\text{contato simulada}}$ (°C)
Piso PC liso	39,3	41,4	39,2
Piso PC rugoso	36,4	40,7	37,1
M (sem resíduo)	40,3	43,5	40,1
MAR 40 (40% de resíduo)	38,0	42,1	37,5

Através da Tabela 17, podemos notar também que para a placa M cuja superfície é lisa a diferença entre a temperatura de contato experimental e teórica é de 3,2 °C e para a placa

MAR 40 cuja superfície é rugosa a diferença entre as temperaturas é de 4,1 °C. Já a diferença entre a temperatura de contato experimental e simulada para a placa M é de 0,2 °C e para a placa MAR 40 a diferença entre essas temperaturas é de 0,5 °C.

Dessa forma, o dispositivo experimental elaborado (Figura 13) para o ensaio de contato luva-piso e luva-placa cerâmica resfriada, mostrou-se coerente e importante para o estudo da avaliação do conforto térmico visto que as temperaturas teórica e experimental de interface diminuem com a redução da efusividade térmica. A diferença entre os valores teóricos e experimentais pode ser creditada à incerteza do valor das propriedades térmicas dos corpos em contato e o modelo de sólido semi-infinito.

A simulação numérica utilizada mostrou-se coerente já que os valores encontrados foram bem próximos aos valores da temperatura de contato experimental (medida através do dispositivo elaborado). Destaca-se que o modelo utilizado na simulação pode ser facilmente modificado permitindo simular a resposta do organismo à exposição ao calor e ao frio.

A metodologia de medição da resistência térmica da placa cerâmica rugosa mostrou-se eficaz, reproduzindo de maneira simples o contato da sola do pé com uma superfície qualquer.

Comprovou-se que a sensação térmica ao contato não está somente relacionada com a temperatura superficial do piso. A sensação térmica de calor ou frio de uma pessoa que está em contato com o piso liso é muito maior do que aquela que está em contato com um piso rugoso devido a maior área de contato entre o pé e a superfície. Logo, a pessoa que está, por exemplo, descalça sobre o piso rugoso sentirá maior conforto térmico, pois a introdução de uma resistência de contato adicional (rugosidade superficial) produz uma redução na temperatura de contato. Dessa forma, as duas estratégias poderiam ser combinadas (placa cerâmica porosa e rugosa), produzindo placas cerâmicas com maior conforto térmico, tanto para o calor quanto para o frio.

4.5 Placas cerâmicas porosas obtidas através da incorporação de resíduo do polimento do porcelanato e variando-se a temperatura de queima

Entre as alternativas anteriores, a alternativa mais adequada para a obtenção das placas cerâmicas porosas foi a incorporação de resíduo do polimento de porcelanato à massa atomizada, bem como, a melhor técnica de processamento mantendo as propriedades e características requeridas para os produtos de revestimentos cerâmicos. Além de apresentar melhores resultados, a utilização do resíduo do polimento de porcelanato gerado pelas indústrias cerâmicas em novos produtos com bom valor agregado, é um fator importante para

a redução do consumo dos recursos naturais e uma maneira de reduzir o descarte desordenado destes resíduos depositados em aterros e que podem influenciar negativamente o meio ambiente.

4.5.1 Caracterização microestrutural

O efeito da temperatura de aquecimento sobre o processo de sinterização é visualmente verificado nas imagens apresentadas na Figura 38, na qual são apresentadas as amostras contendo 0%, 20%, 50% e 100% de resíduo, compactadas a 30 MPa e sinterizadas em temperaturas entre 950 e 1250°C. Os resultados são comparados com os de amostras obtidas sem a introdução do resíduo.

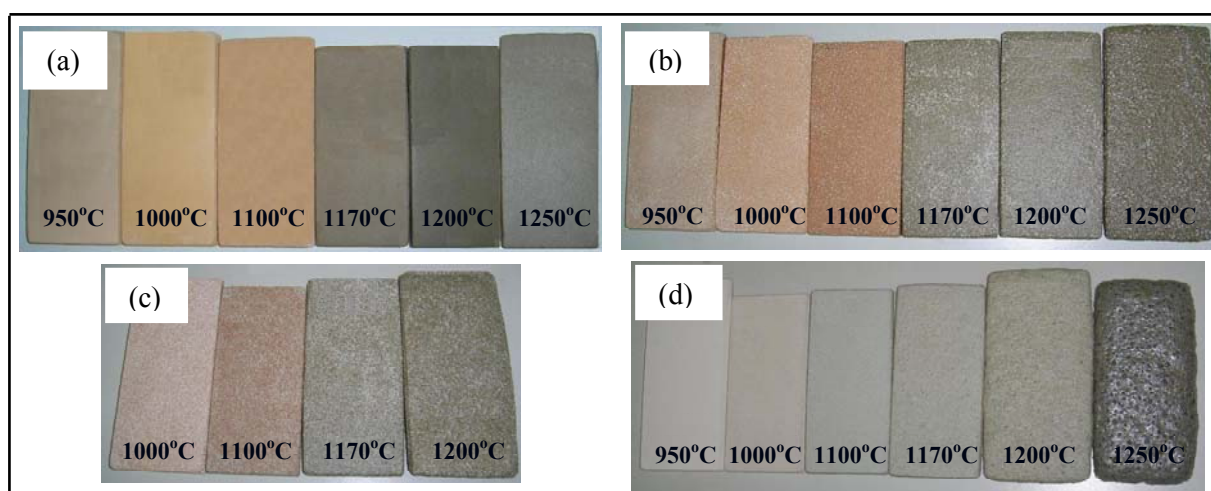


Figura 38 - Substratos cerâmicos sinterizados nas temperaturas de 950°C, 1000°C, 1100°C, 1170°C, 1200°C e 1250°C da (a) massa atomizada (b) massa atomizada com a incorporação de 20% (c) com incorporação de 50% e (d) 100% de resíduo.

Pode-se verificar que a incorporação do resíduo resulta na formação de superfícies com maior rugosidade, além de acentuar o efeito de expansão em temperaturas superiores. A presença da rugosidade favorece em muitos pontos as características de conforto térmico.

A incorporação do resíduo de polimento na massa atomizada resulta na geração de porosidade, que será maior quanto maior o volume de resíduo utilizado e quanto maior a temperatura de sinterização. A formação da porosidade durante o aquecimento do resíduo de polimento pode ser observada na imagem da Figura 39, na qual é apresentada a microestrutura de uma amostra de placa cerâmica constituída apenas pelo resíduo submetido a aquecimento a 1200°C.

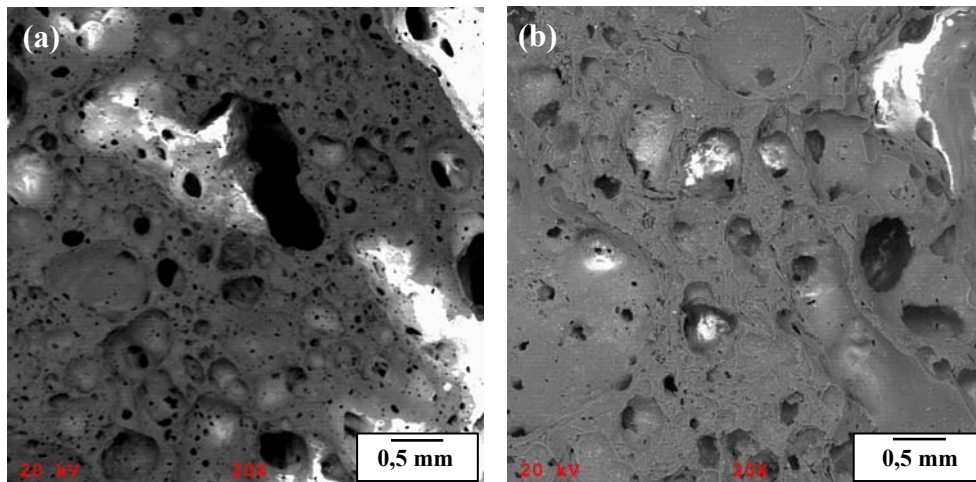


Figura 39 - Imagens representativas da microestrutura de uma amostra cerâmica do resíduo de polimento após compactação e aquecimento a 1200°C.

Já através da imagem da Figura 40 obtida por microscópio ótico podemos observar uma amostra cerâmica constituída apenas pelo resíduo submetido à queima em 1250°C. Em relação à porosidade, pode-se afirmar que os poros são predominantemente fechados e arredondados, o que pode explicar a boa resistência mecânica do produto, apesar de sua baixa densidade.

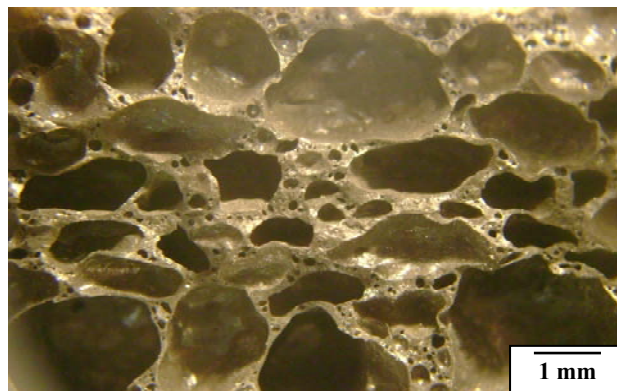


Figura 40 - Microestrutura de uma amostra cerâmica do resíduo de polimento após compactação e queima a 1250 °C.

A Microestrutura da seção transversal polida das amostras da massa atomizada com a incorporação de 20% de resíduo é apresentada na Figura 41. A Figura mostra a microestrutura das amostras cerâmicas com 20% de resíduo e queimadas em 1100°C, 1170°C, 1200°C e 1250°C. Pode-se observar que além da porosidade normal usualmente observada em típicos revestimentos cerâmicos, há também a porosidade proveniente do resíduo do polimento de porcelanato. Pode-se visualizar o aumento da quantidade e tamanho de poros na medida em que a temperatura é aumentada. Podemos observar que a 1100°C as partículas de resíduo aparecem destacadas da matriz de massa atomizada. A partir da temperatura de 1170°C

podemos observar que houve o processo de sinterização promovendo a ligação das partículas. Já em 1250°C, houve uma expansão do substrato cerâmico e, portanto uma maior porosidade.

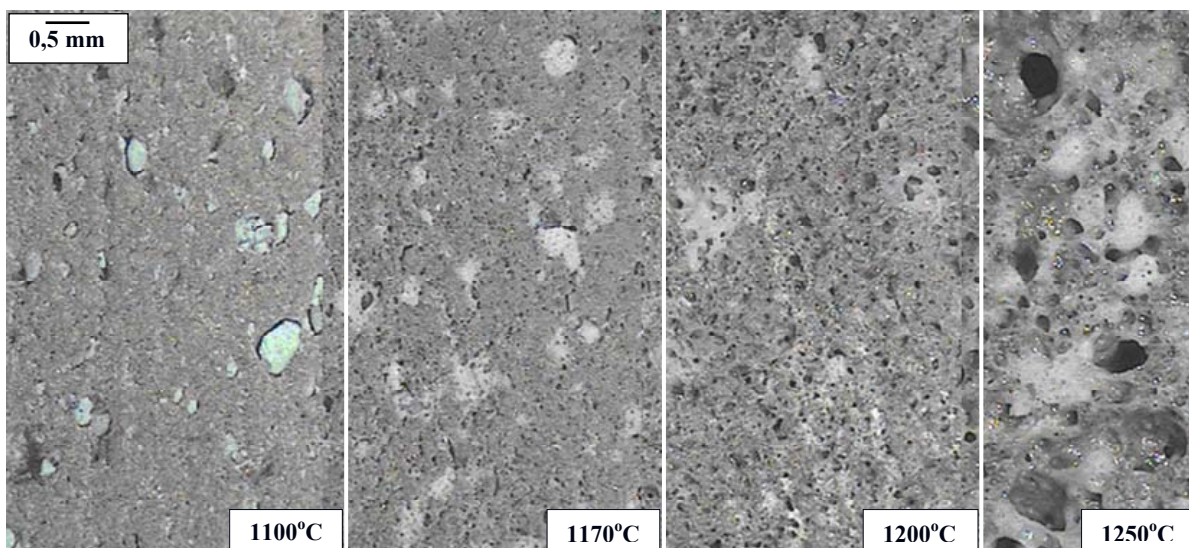


Figura 41 - Microestrutura das amostras cerâmicas com 20% de resíduo e variando-se a temperatura de queima.

As micrografias obtidas para uma amostra cerâmica com 20% de resíduo e temperatura de queima à 1100°C são mostradas na Figura 42. Estas imagens referentes à microscopia ótica da superfície de fratura da amostra cerâmica mostram que as partículas do resíduo aparecem destacadas da matriz argilosa.

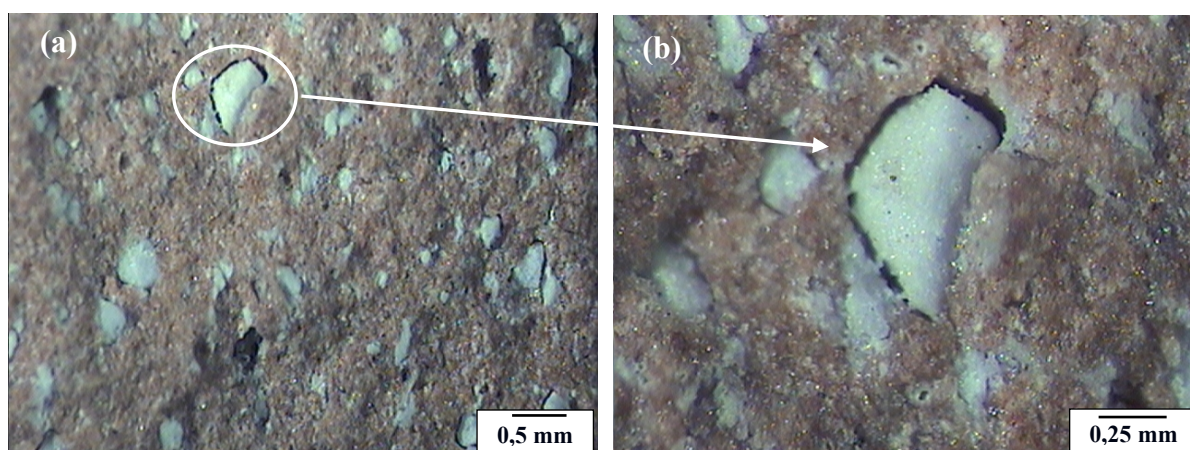


Figura 42 - Microestrutura da superfície fraturada da amostra cerâmica com 20% de resíduo sinterizada à 1100°C. Partes (a) e (b) com aumentos distintos.

A Figura 43 mostra a imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura de uma amostra cerâmica com 20% de resíduo sinterizada à 1100°C. Para a composição química das partículas de resíduo foram feitas algumas análises, sendo que os resultados estão apresentados nos respectivos espectros (Figuras 44). Os elementos químicos encontrados nos Pontos 1 e 2 (Figura 44 (a) e (b)) foram Fe, Si, Al, K e O. O Ponto 2 também apresentou os

elementos Ti e Mg em sua composição. A análise por EDS foi realizada na região contendo resíduo dentro da matriz argilosa.

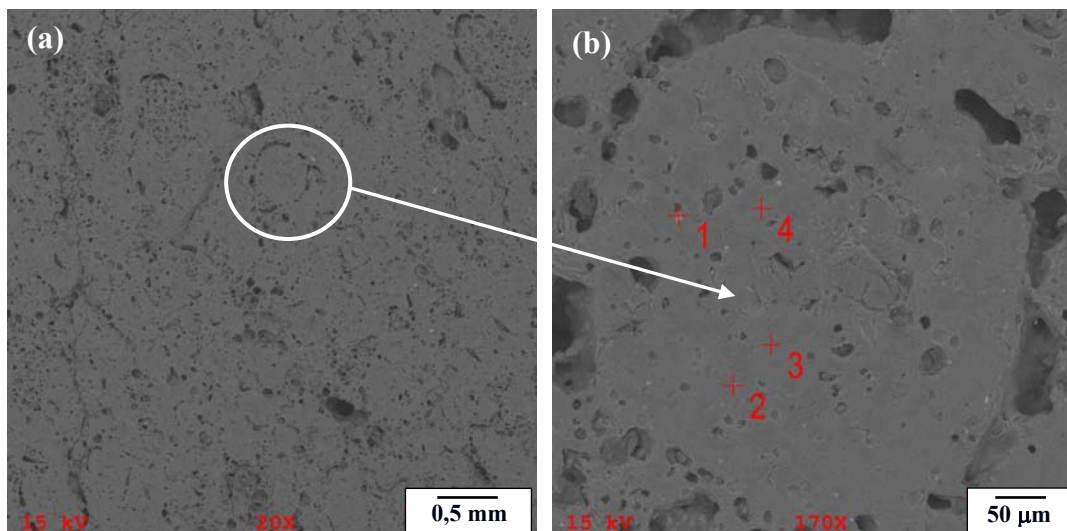


Figura 43 - Micrografia de MEV da superfície fraturada da amostra cerâmica com 20% de resíduo e sinterizada à 1100°C. Partes (a) e (b) com aumentos distintos.

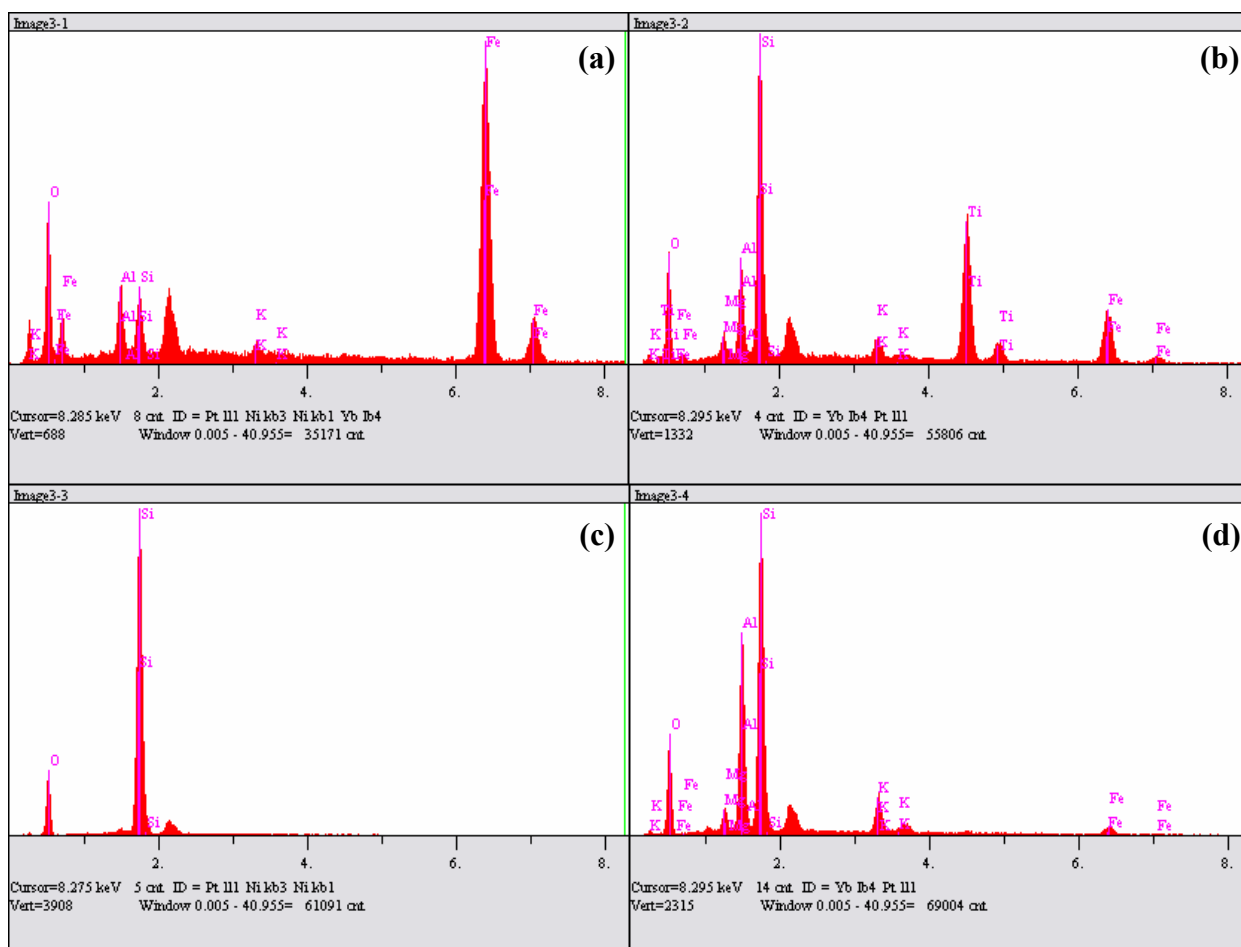


Figura 44 - Espectro de EDS indicando os elementos químicos que constituem a massa atomizada com a incorporação de 20% de resíduo de polímero: (a) Ponto 1, (b) Ponto 2, (c) Ponto 3 e (d) Ponto 4.

As micrografias obtidas para uma amostra cerâmica com 20% de resíduo e temperatura de queima à 1170°C são mostradas na Figura 45. As imagens referentes à microscopia ótica da superfície de fratura da amostra, Figura 45 (b) e Figura 45 (c), mostram que a partir da temperatura de 1170°C houve o processo de reação promovendo a ligação das partículas.

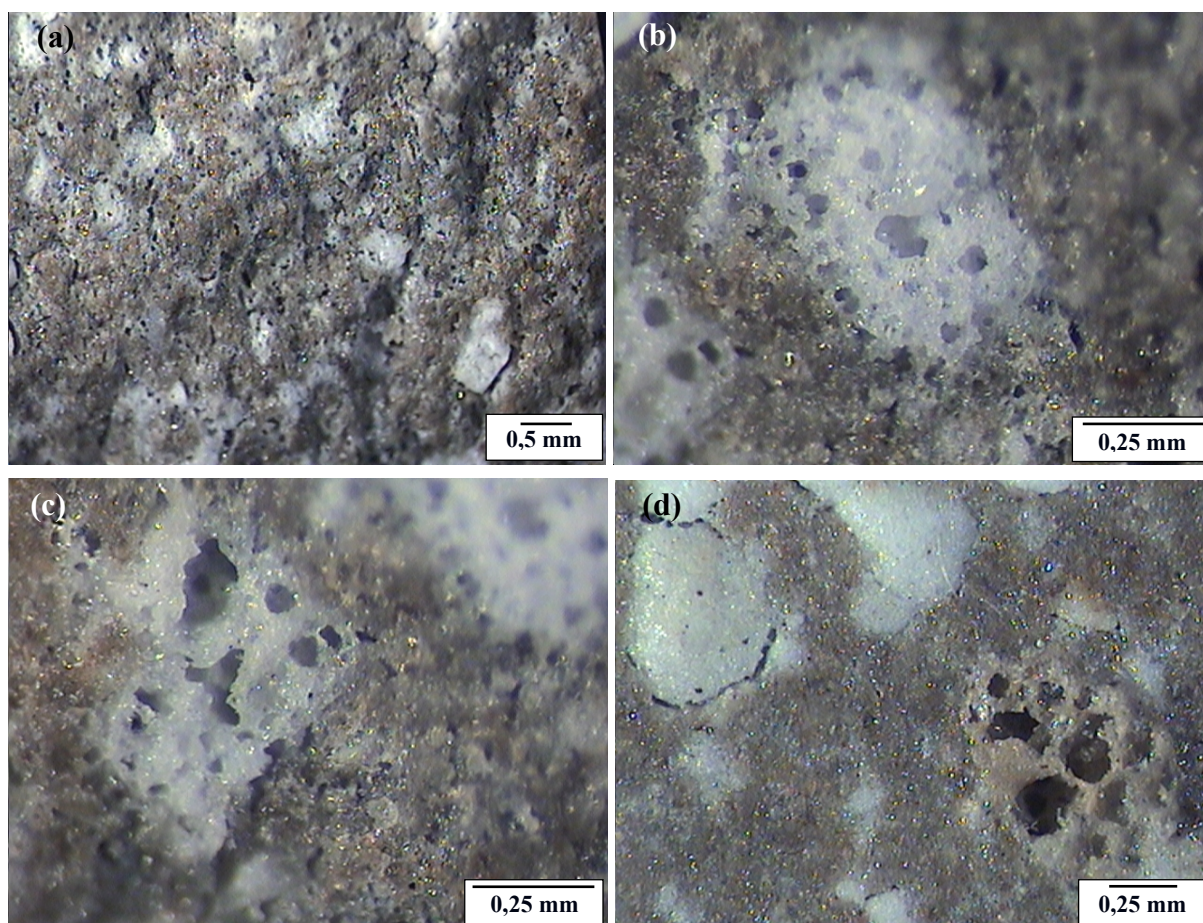


Figura 45 - Microestrutura da superfície fraturada da amostra cerâmica com 20% de resíduo e sinterizada à 1170°C: (a) aumento menor, (b) e (c) aumento maior e (d) microestrutura da superfície compactada da mesma amostra.

Na Figura 46, é observada outra região da amostra cerâmica com 20% de resíduo sinterizada à 1170°C. Pode-se observar pela Figura 46 o descolamento (parte destacada) na interface em volta das partículas de resíduo da matriz constituída por massa cerâmica atomizada.

A incorporação do resíduo de polimento na massa atomizada resulta na geração de porosidade, que será maior quanto maior o volume de resíduo utilizado e quanto maior a temperatura de sinterização. A formação da porosidade durante a queima da massa cerâmica com a incorporação de 20% do resíduo de polimento pode ser observada na imagem da

Figura 47 obtida por microscopia eletrônica de varredura, em que é representada a microestrutura de uma amostra desta placa cerâmica submetida a aquecimento a 1200°C. Nesta temperatura, podemos observar uma matriz contínua na qual é mais difícil identificar o resíduo. Além disso, há a presença de poros em maior quantidade e tamanho. Os poros são arredondados consequência da fase líquida formada durante o processo de sinterização e reação que promoveu a ligação das partículas.

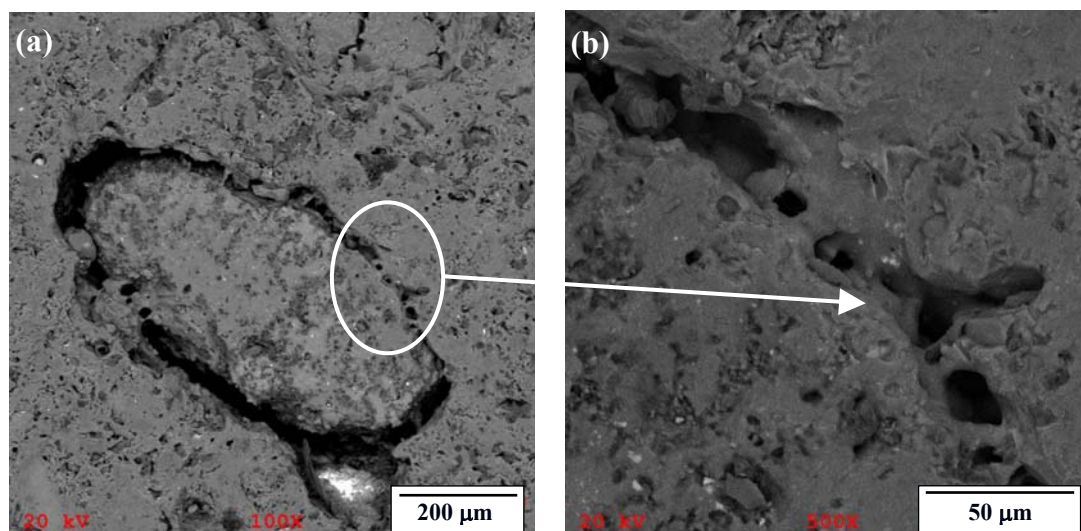


Figura 46 - Micrografia de MEV da superfície fraturada da amostra cerâmica com 20% de resíduo e sinterizada à 1170°C.

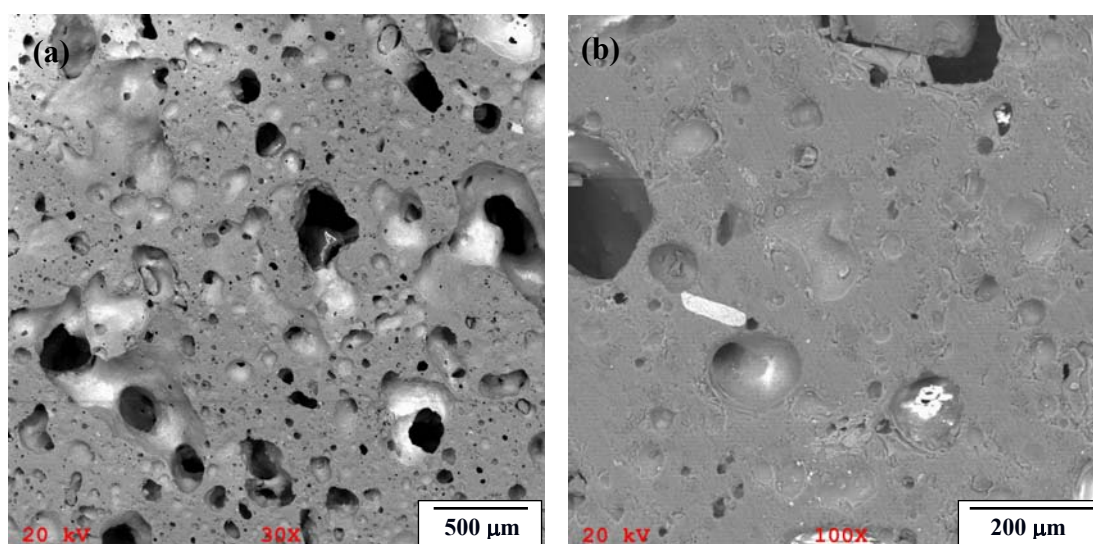


Figura 47 - Micrografia de MEV da superfície fraturada da amostra cerâmica com 20% de resíduo e sinterizada à 1200°C.

4.5.2 Propriedades térmicas, mecânicas e físicas

A Tabela 18 apresenta os valores médios dos resultados das propriedades térmicas, mecânicas e físicas medidas para cada cinco placas cerâmicas compactadas à 30MPa sem e com a incorporação de 20 e 50% de resíduo do polimento de porcelanato à massa atomizada, além de amostras com 100% de resíduo e variando-se a temperatura de queima em 950, 1000, 1100, 1170, 1200 e 1250°C. A introdução da porosidade nas placas cerâmicas é um dos fatores responsáveis pela diminuição da resistência mecânica (Figura 48) e baixa efusividade térmica (Figura 49 (b)) que está diretamente correlacionado com a condutividade térmica (Figura 49 (a)) e massa específica aparente (Figura 50 (a)). Sob o ponto de vista térmico quanto menor é a efusividade mais confortável será a placa cerâmica.

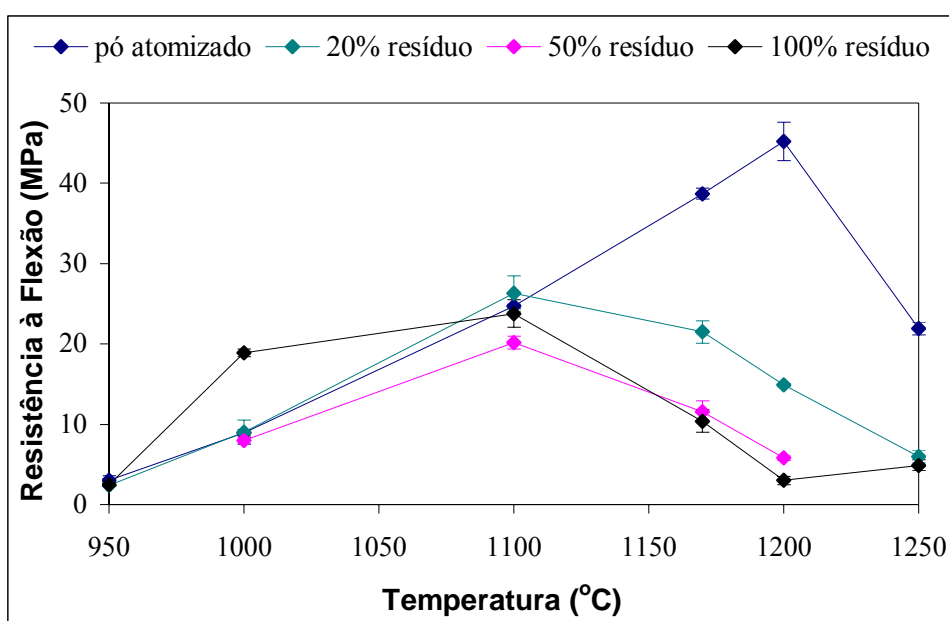
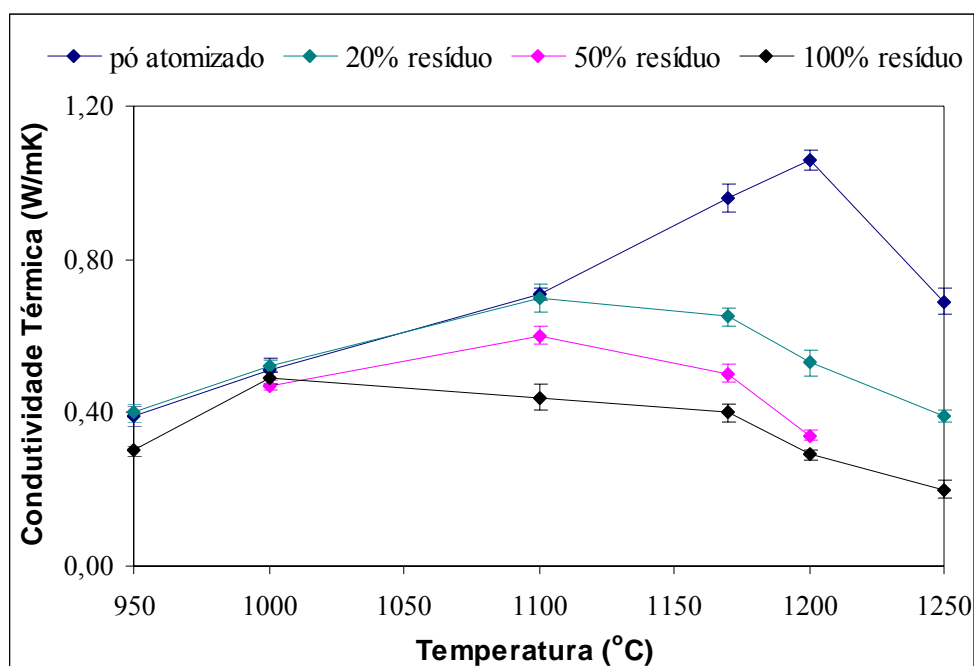


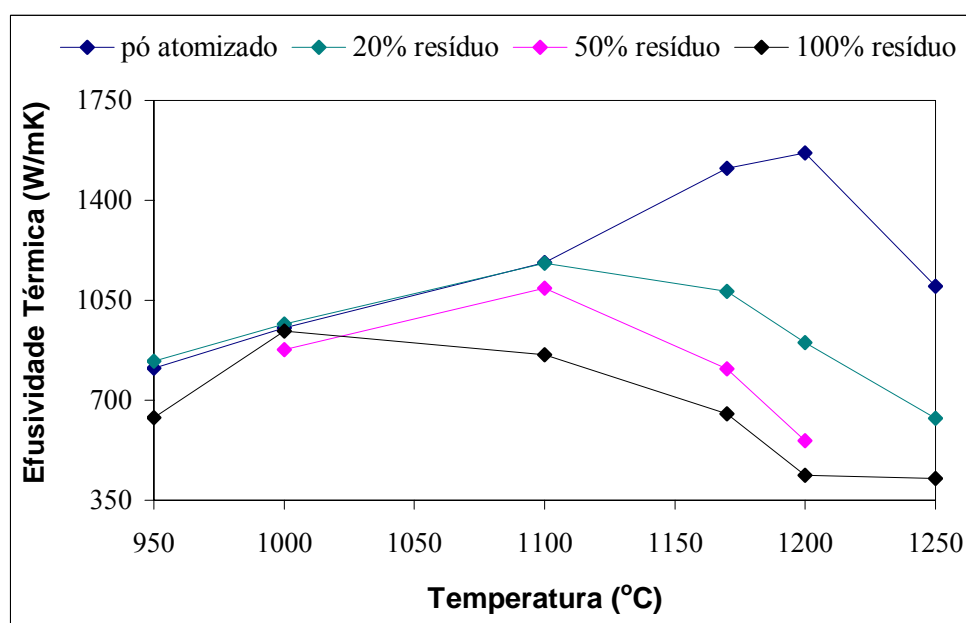
Figura 48 - Resistência à Flexão em função da temperatura de queima.

Tabela 18 - Resultados obtidos para as amostras cerâmicas sem e com incorporação de resíduo, além de cerâmicas com 100% de resíduo.

PÓ ATOMIZADO								
T(°C)	ρ_a (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	P (%)	Retração Linear (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)	λ (W/mK)	ϵ (Ws ^{0,5} /m ² K)
950	1,69	2,86	41	-0,4	5,4	3,0 ± 0,6	0,39 ± 0,02	812
1000	1,78	2,89	38	1,9	6,9	8,9 ± 0,4	0,51 ± 0,03	953
1100	1,97	2,93	33	5,7	7,1	24,7 ± 0,3	0,71 ± 0,01	1183
1170	2,31	3,23	29	11,3	7,1	38,7 ± 0,7	0,96 ± 0,03	1489
1200	2,35	2,84	17	11,0	7,4	45,2 ± 2,4	1,06 ± 0,02	1565
1250	1,75	2,82	38	4,3	7,2	21,9 ± 0,8	0,69 ± 0,03	1099
20% RESÍDUO								
T(°C)	ρ_a (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	P (%)	Retração Linear (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)	λ (W/mK)	ϵ (Ws ^{0,5} /m ² K)
950	1,75	2,90	40	-0,3	5,7	2,4 ± 0,1	0,40 ± 0,02	837
1000	1,80	2,92	38	2,0	6,6	9,0 ± 1,5	0,52 ± 0,01	967
1100	2,03	2,89	30	5,7	6,9	26,3 ± 2,2	0,70 ± 0,03	1180
1170	1,98	3,04	35	5,7	6,9	21,5 ± 1,4	0,65 ± 0,02	1082
1200	1,54	2,76	44	3,2	7,1	14,9 ± 0,2	0,53 ± 0,03	903
1250	1,04	2,73	62	-1,1	6,9	6,0 ± 0,8	0,39 ± 0,01	637
50% RESÍDUO								
T(°C)	ρ_a (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	P (%)	Retração Linear (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)	λ (W/mK)	ϵ (Ws ^{0,5} /m ² K)
1000	1,64	2,92	44	2,7	6,0	8,0 ± 0,4	0,47 ± 0,01	878
1100	1,99	2,85	30	8,9	6,4	20,2 ± 0,8	0,60 ± 0,02	1093
1170	1,56	2,93	47	3,8	6,4	11,6 ± 1,3	0,50 ± 0,02	809
1200	0,92	2,78	67	-0,9	6,2	5,8 ± 0,3	0,34 ± 0,01	559
100% RESÍDUO								
T(°C)	ρ_a (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	P (%)	Retração Linear (%)	Perda ao Fogo (%)	Resistência à Flexão (MPa)	λ (W/mK)	ϵ (Ws ^{0,5} /m ² K)
950	1,36	2,99	55	0,8	5,3	2,5 ± 0,2	0,30 ± 0,01	639
1000	1,81	3,01	40	11,1	5,3	18,9 ± 0,5	0,49 ± 0,01	942
1100	1,68	2,89	42	11,8	6,1	23,8 ± 1,7	0,44 ± 0,03	860
1170	1,11	3,13	64	5,3	5,2	10,4 ± 1,4	0,40 ± 0,02	654
1200	0,66	2,77	76	-3,7	4,8	3,0 ± 0,5	0,29 ± 0,01	437
1250	0,91	2,82	68	-----	-----	4,9 ± 0,7	0,20 ± 0,02	-----



(a)



(b)

Figura 49 - Condutividade (a) e Efusividade Térmica (b) em função da temperatura de queima.

A retração linear de queima depende fundamentalmente da densidade aparente da amostra compactada, da composição da massa e das condições de queima [MELCHIADES et al, 2001]. Na etapa de queima, durante o aquecimento, inicia-se um processo de formação de fases líquidas no interior do produto, em decorrência da fusão parcial dos componentes menos refratários presentes na massa. Quando se aumenta a temperatura de queima o volume de

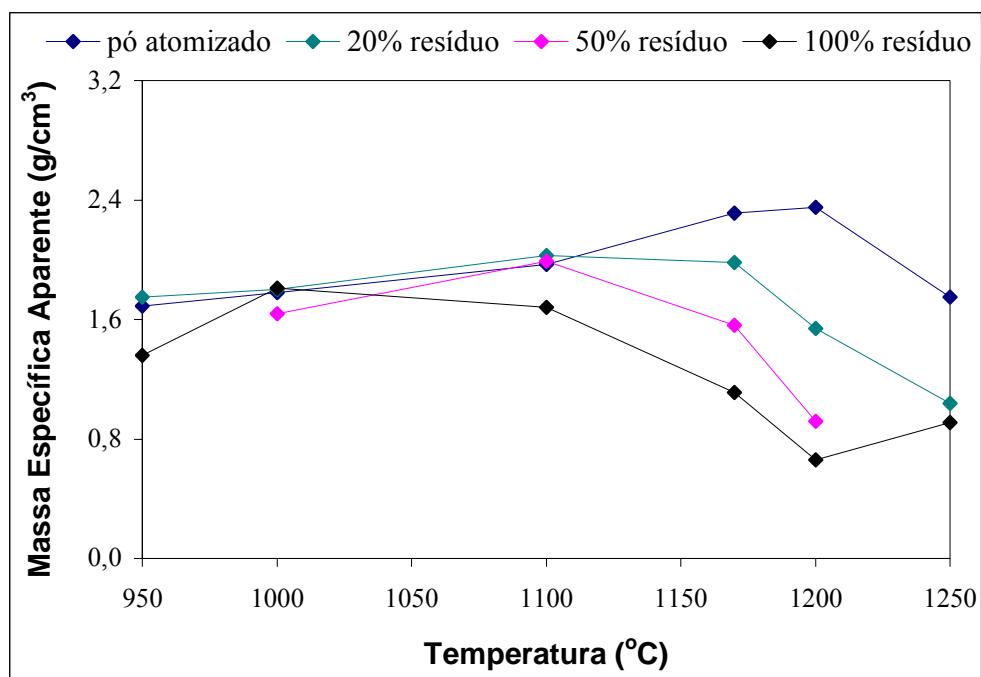
fases líquidas também aumenta. Além disso, o aumento da temperatura provoca a redução da viscosidade das fases líquidas, facilitando assim o seu escoamento para dentro dos espaços vazios entre as partículas que ainda não fundiram. Durante o preenchimento dos espaços vazios, por forças de capilaridade [BENLLOCH et al, 1981], as fases líquidas provocam aproximação das partículas sólidas. Essa aproximação, por sua vez, resulta em uma diminuição do volume de poros, na retração da peça e no aumento da resistência mecânica. Um outro aspecto que contribuiu para a retração é a dissolução de parte das partículas sólidas pelas fases líquidas. Na etapa de resfriamento, a peça continua a apresentar redução de tamanho, em virtude da redução da temperatura.

De acordo com a Figura 50 (b), pode-se verificar que a retração linear aumenta até certa temperatura, a partir da qual ocorre a expansão dos gases retidos no interior dos poros fechados, provocando o inchamento do corpo cerâmico.

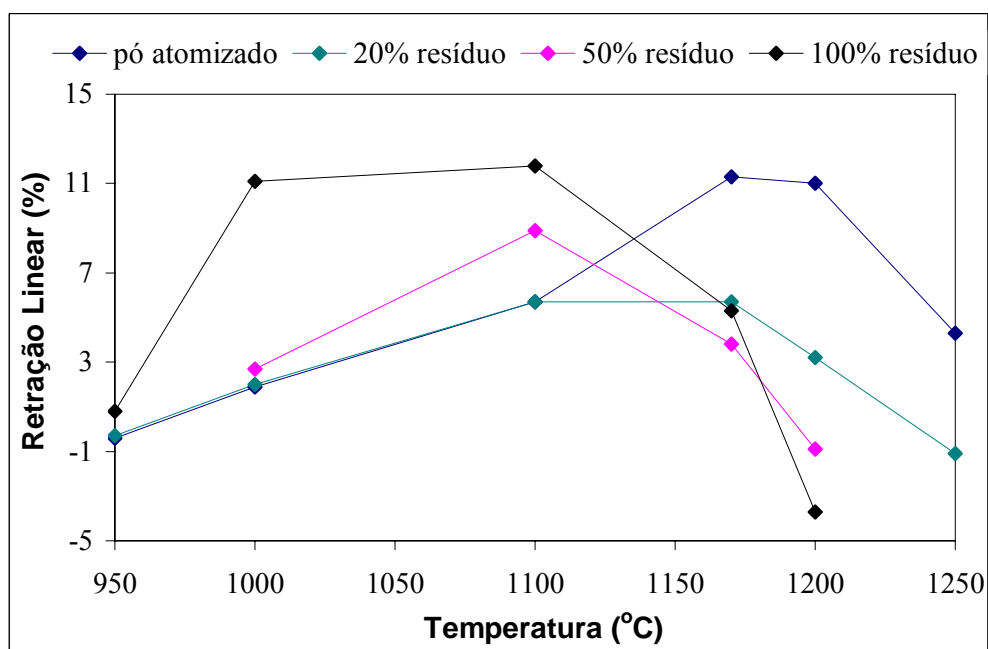
Ainda na Tabela 18, pode-se verificar com relação às propriedades físicas, que a densidade aparente diminui à medida que se aumenta a incorporação dos resíduos já que há um aumento da porosidade. De uma forma geral, os resultados experimentais das amostras compactadas a 30 MPa sem e com a incorporação de resíduo, mostram que a condutividade térmica, a efusividade térmica e a resistência à flexão são dependentes da porosidade, por exemplo, elas decrescem com o aumento da porosidade variando-se a temperatura de queima entre 950 e 1250°C. Para as amostras sem incorporação de resíduo, a maior densificação das amostras ocorreu à 1200°C para a qual ocorre uma menor porosidade das amostras ($P = 17\%$).

A resistência à flexão dos corpos cerâmicos com 100% de resíduo também dependem da porosidade. Entretanto, os resultados experimentais, não se correlacionaram tão bem para a temperatura de queima de 1000 e 1100°C. A porosidade obtida nas placas cerâmicas para estas temperaturas foram muito semelhantes: 40% e 42%, e a resistência à flexão: $18,9 \pm 0,5$ e $23,8 \pm 1,7$ MPa, respectivamente. Através da Análise Térmica Diferencial do resíduo, pode-se verificar em 1100°C um pico relativo ao início da fusão de fases vítreas presentes na amostra, e provavelmente o início do amolecimento do resíduo. Portanto, as amostras apresentaram uma maior retração linear (11,8%), justificando a maior resistência à flexão nessa temperatura.

Dessa forma, observando-se os resultados para todas as placas cerâmicas com a incorporação de resíduo (20 e 50%) e para o resíduo puro, o valor médio de resistência à flexão foi maior para a temperatura de queima igual a 1100°C, na qual houve também uma maior retração linear das amostras.



(a)



(b)

Figura 50 - Massa Específica Aparente (a) e Retração Linear (b) em função da temperatura de queima.

De acordo com a ISO 13006 [1995], as placas cerâmicas obtidas sem a incorporação de resíduo devem possuir módulo de ruptura à flexão ≥ 22 MPa para serem classificadas como produto semi-grês BIIa. Portanto, esta condição foi satisfeita para as temperaturas de

queima de 1100, 1170, 1200, pois apresentaram resistência à flexão de $24,7 \pm 0,3$, $38,7 \pm 0,7$ e $45,2 \pm 2,4$ MPa, respectivamente. A temperatura de queima utilizada industrialmente para a fabricação do produto semi-grês é de 1170°C , o que indica ser provável a sua redução para 1100°C diminuindo o consumo de energia das indústrias cerâmicas.

Já as placas obtidas sem a incorporação de resíduo e com temperatura de queima igual a 1250°C apresentaram módulo de ruptura à flexão de $21,9 \pm 0,8$ MPa sendo classificadas como revestimentos cerâmicos semi-porosos (BIIB).

Além disso, as amostras com 20% e 100% de resíduo e com temperatura de queima igual a 1100°C (Tabela 18) apresentaram módulo de ruptura à flexão ≥ 22 MPa, $26,3 \pm 2,2$ e $23,8 \pm 1,7$ MPa respectivamente, classificando essas placas como revestimentos cerâmicos semi-grês (BIIa). Já para as amostras com a incorporação de resíduo (20 e 50%) e para o resíduo puro, com temperatura de queima igual a 1170°C , 1100°C e 1000°C , a resistência à flexão apresentou um valor médio um pouco menor que 22 ($21,5 \pm 1,4$ MPa, $20,2 \pm 0,8$ e $18,9 \pm 0,5$ MPa respectivamente), classificando essas placas como revestimentos cerâmicos semi-porosos (BIIB) segundo a norma ISO 13006 [1995].

Em relação às amostras com 100% de resíduo e com temperatura de queima igual a 1100°C , foi comprovado que o módulo de resistência à flexão é de $23,8 \pm 1,7$ MPa evidenciando a importância desse trabalho em avaliar o comportamento dessas massas sem e com a incorporação de resíduos antes e depois dos processos de prensagem e queima, e orientar no sentido de indicar a temperatura de queima ideal para cada composição. Assim, pôde-se comprovar que é possível utilizar somente o resíduo do polimento de porcelanato com uma temperatura de queima de 1100°C para a fabricação de produtos semi-grês e ainda satisfazer a Norma ISO 13006 [1995] com relação ao módulo de ruptura à flexão.

As amostras com 100% de resíduo e temperatura de queima igual a 1200 e 1250°C , apresentaram resistência à flexão igual a $3,0 \pm 0,5$ e $4,9 \pm 0,7$ MPa e condutividade térmica igual a $0,29 \pm 0,01$ e $0,20 \pm 0,02$ W/m.K, respectivamente, semelhantes às características de uma argamassa isolante térmica comercial existente no mercado [FIBRABEN, 2008]. Esse material pode, dessa forma, ser utilizado em revestimentos de paredes e tetos de alvenaria, reduzindo a transmissão de calor e defendendo contra o fogo, e para preencher o vazio ao redor de tubulações de água quente e fria embutidas em paredes.

4.6 Medição da temperatura superficial de pisos comerciais utilizados em piscinas e das placas cerâmicas fabricadas expostas ao sol

A temperatura superficial dos pisos e placas cerâmicas assentados sobre um contrapiso padrão foram avaliadas quanto a sua exposição à radiação solar. Durante o verão a radiação global direta chega a atingir cerca de 1000 W/m^2 . Para cada piso e placa cerâmica exposta ao ambiente ensolarado, foi medida a temperatura superficial por um termopar tipo T, assim como a temperatura do solo, do contrapiso e do ar ambiente. O sistema foi monitorado 24h/dia durante um período de duas semanas, de forma a se obter os valores máximos de temperatura em cada dia de medição para os pisos e as placas cerâmicas. Para um dia típico, sem nuvens e de forte insolação registrou-se as máximas temperaturas superficiais (T_{sol}) para diferentes tipos de pisos (Tabela 19). A chamada "pedra mineira" é bastante comum em áreas externas, sendo apontada como um tipo de piso que apresenta uma boa sensação de conforto e, por isso, foi utilizada como referência em nosso estudo.

A temperatura de contato experimental desses pisos e a razão (f) entre a variação máxima da temperatura de contato (luva-material) e a temperatura inicial do material (T_{inicial}) também são apresentados nesta tabela.

Tabela 19 - Medição da temperatura superficial de pisos comerciais através de termopares planares e temperatura de contato experimental.

PISOS COMERCIAIS	T_{sol} (°C)	f (%)	$T_{\text{contato experimental}}$ (°C)
Piso PC1 rugoso - cor branca (pintado com tinta branca)	47,2	13,0	35,7
Pedra Mineira PM rugosa - cor branca com bege suave	48,4	19,0	36,7
Pedra Mineira PM* rugosa - pintada com tinta cinza	52,7	19,0	37,6
Piso PC2 liso - cor branca com porosidade aberta na superfície	50,1	18,0	36,9
Piso PC2* liso - pintado de cinza com porosidade aberta na superfície	58,1	18,0	38,3
Piso PC liso - cor branca com granilha preta (polido)	51,5	30,0	39,2
Piso PC rugoso - cor branca com granilha preta	51,5	14,0	36,4
Piso PC6 rugoso - cor bege clara	53,9	14,0	36,8
Piso PC6* rugoso - pintado com tinta cinza	57,2	14,0	37,2
Tijoleta lisa – cor laranja avermelhado/cor tijolo	54,4	25,0	39,1

A superfície de um piso cerâmico exposto ao sol troca calor com o meio por convecção e radiação. Os materiais de construção são seletivos à radiação solar de ondas curtas e a principal determinante desta característica é a sua cor superficial. Na Tabela 19, podemos verificar que para cores mais claras, como por exemplo, o Piso PC1, cuja superfície

é branca, o valor da absorvidade fica entre 0,2 a 0,5 [LAMBERTS, 1997] e a temperatura superficial foi de 47,2 °C (Tabela 5). Já para a Tijoleta lisa, cuja superfície possui a cor laranja avermelhada (cor tijolo), o valor da absorvidade fica entre 0,5 a 0,7 e, dessa forma, a temperatura foi maior e igual a 54,4 °C.

Para verificarmos a influência da cor no aumento da temperatura superficial, a superfície de alguns pisos foram pintados com tinta cinza. A temperatura superficial da Pedra Mineira aumentou de 48,4 para 52,7 °C (Figura 51). A temperatura superficial do Piso PC2 (Figura 51) aumentou de 50,1 para 58,1 °C. E finalmente, a temperatura superficial do Piso PC6 rugoso aumentou de 53,9 para 57,2 °C. O Piso PC2 liso foi o que apresentou maior gradiente de temperatura: 8 °C, certamente pelo fato de sua cor original ser a mais clara.

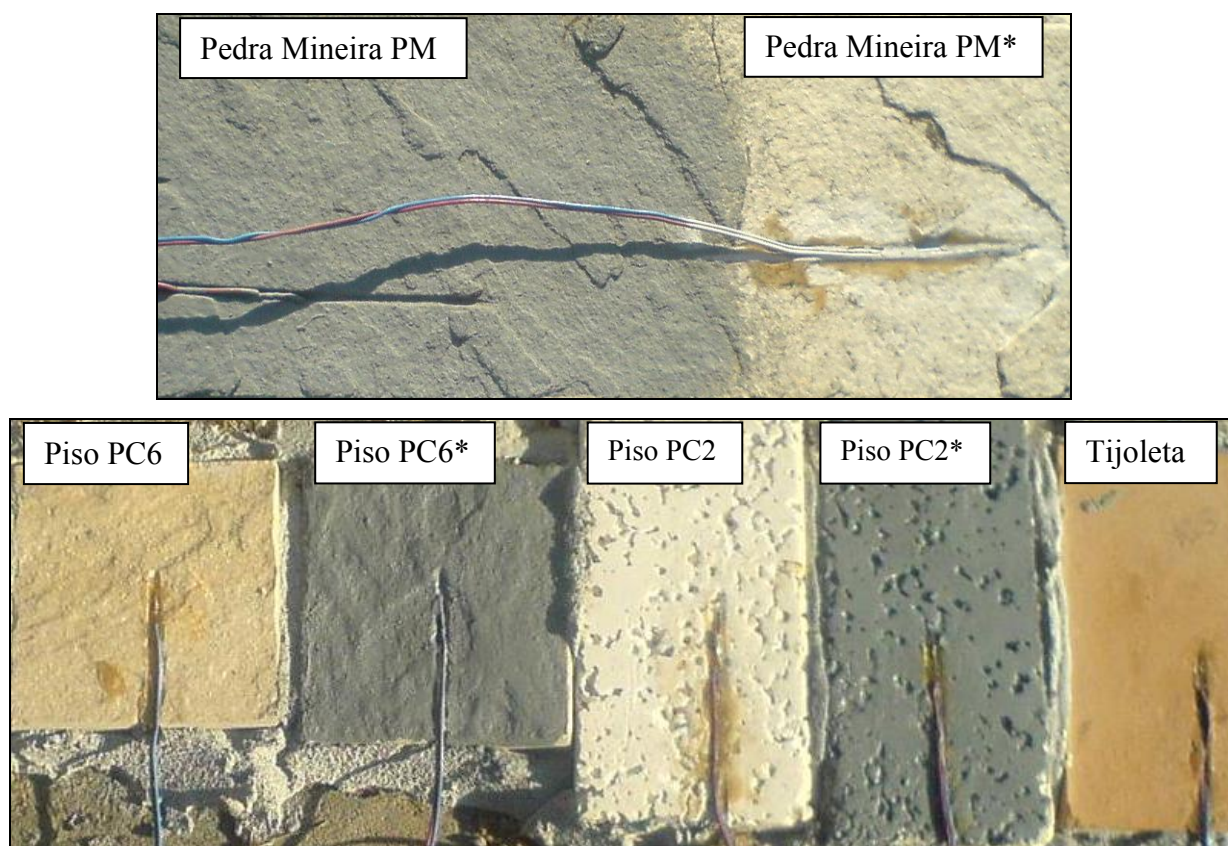


Figura 51 - Medição da temperatura da superfície dos pisos através de termopares.

Sendo assim, cores mais claras resultam em uma menor temperatura superficial e, portanto poderiam apresentar maior conforto térmico para o usuário. Assim, podemos dizer que pisos claros seriam adequados em relação ao conforto térmico. Entretanto, cabe ressaltar que neste caso, não estaríamos considerando o conforto visual do indivíduo. Este piso, por ser mais claro, pode ofuscar sob insolação direta. Ainda na tabela 19, pode-se verificar que o primeiro piso apresentou uma menor temperatura de contato, 35,7°C, consequência de uma

cor mais clara e da rugosidade na sua superfície (menor “f”). Já a Tijoleta lisa apresentou uma temperatura de contato maior, 39,1°C, consequência de uma superfície lisa e de sua cor laranja avermelhada. A Figura 52 mostra um exemplo de medição da temperatura de um piso comercial Piso PC liso ao longo de um dia de medição.

A temperatura superficial das placas cerâmicas (com superfície lisa e rugosa) expostas ao sol e a temperatura de contato experimental (estimada) obtidas neste trabalho são mostradas na Tabela 20.

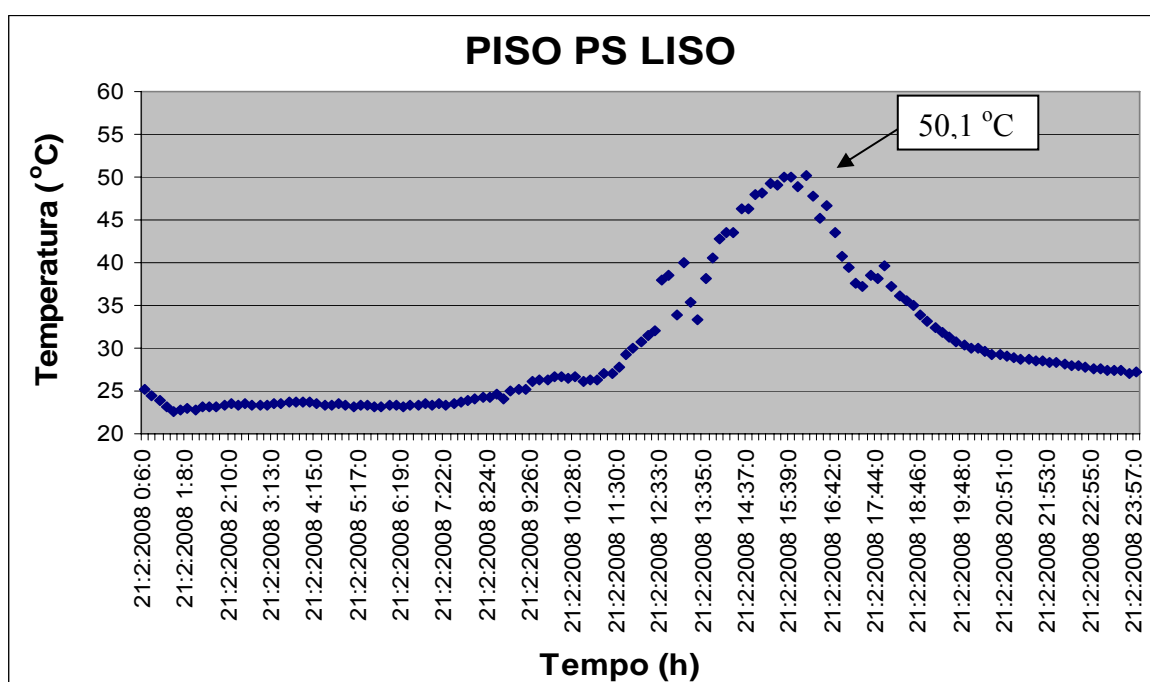


Figura 52 - Temperatura superficial de um Piso PC liso ao longo de um dia de medição.

Ainda na Tabela 20 podemos observar que as placas cerâmicas fabricadas com massa atomizada (sem resíduo de polimento) e com temperatura de queima de 1100°C, 1170°C, 1200°C e 1250°C, apresentaram valores de condutividade térmica iguais a 0,71, 0,99, 1,06 e 0,69 W/m.K e porosidades iguais a 33, 29, 17 e 38%. Como esperado, as amostras com maior porosidade e, portanto, menor condutividade térmica apresentaram menor temperatura de contato. A amostra M com temperatura de queima de 1250°C apesar de apresentar temperatura superficial maior ($T_{sol} = 56,0\text{ °C}$) que as outras amostras, apresentou temperatura de contato menor ($T_{contato\ experimental} = 38,4\text{ °C}$) que as amostras fabricadas à 1170°C e 1200°C, consequência da rugosidade presente na sua superfície devido à expansão ocorrida nesta temperatura de queima (Figura 38 (a)).

As placas cerâmicas fabricadas com a incorporação de 20% de resíduo de polimento (MAR 20) à temperatura de queima de 1170°C e 1250°C apresentaram porosidade igual a 35% e 62% e condutividade térmica igual a 0,65 W/mK e 0,39 W/mK. A incorporação do resíduo resultou na formação de superfícies com maior rugosidade, acentuando o efeito de expansão em temperaturas superiores (Figura 38 (b)), diminuindo a temperatura de contato de 40 para 36,6 °C.

Para as placas cerâmicas fabricadas variando a percentagem de resíduo de polimento e mantendo-se a temperatura de queima igual à 1170°C, a amostra M que possui uma superfície lisa (sem resíduo, porosidade igual a 29%) e MAR 40 que possui uma superfície rugosa (40% de resíduo, porosidade igual a 43%) a temperatura de contato foi de aproximadamente 40,3 e 38,0 °C. Logo a amostra MAR 40 apresentou aproximadamente 2,3 °C a menos que a temperatura da placa M representando uma pequena melhora no grau de conforto por contato. Já a amostra RES (100% de resíduo, porosidade igual a 64%) apresentou 3,4 °C a menos que a mesma placa M (sem resíduo).

Tabela 20 - Medição da temperatura superficial de placas cerâmicas através de termopares planares e temperatura de contato experimental.

PLACAS CERÂMICAS (sem resíduo variando T_{queima})	T_{queima} (°C)	λ (W/mK)	T_{sol} (°C)	f (%)	$T_{\text{contato experimental}}$ (°C)
M	1100	0,71	50,9	22,0	37,7
M	1170	0,99	53,7	32,0	40,3
M	1200	1,06	52,9	33,0	40,2
M	1250	0,69	56,0	20,0	38,4
PLACAS CERÂMICAS (20% de resíduo de polimento variando T_{queima})	T_{queima} (°C)	λ (W/mK)	T_{sol} (°C)	f (%)	$T_{\text{contato experimental}}$ (°C)
MAR 20	1170	0,65	54,6	29,0	40,0
MAR 20	1250	0,39	46,2	21,0	36,6
PLACAS CERÂMICAS (100% de resíduo de polimento)	T_{queima} (°C)	λ (W/mK)	T_{sol} (°C)	f (%)	$T_{\text{contato experimental}}$ (°C)
RES (100% de resíduo)	950	0,30	53,8	24,0	38,8
RES (100% de resíduo)	1100	0,44	53,6	27,0	39,3
RES (100% de resíduo)	1250	0,20	61,6	20,0	39,5
PLACAS CERÂMICAS (variando percentagem de resíduo de polimento)	T_{queima} (°C)	λ (W/mK)	T_{sol} (°C)	f (%)	$T_{\text{contato experimental}}$ (°C)
M (0% de resíduo)	1170	0,99	53,7	32,0	40,3
MAR 10 (10% de resíduo)	1170	0,80	53,9	29,0	39,7
MAR 20 (20% de resíduo)	1170	0,65	54,6	29,0	40,0
MAR 30 (30% de resíduo)	1170	0,62	53,5	21,0	38,8
MAR 40 (40% de resíduo)	1170	0,57	55,1	19,0	38,0
MAR 75 (75% de resíduo)	1170	0,38	53,5	17,0	37,3
RES (100% de resíduo)	1170	0,40	53,5	15,0	36,9

Portanto, as placas cerâmicas fabricadas com 100% de resíduo, denominadas de RES, apresentaram temperatura de contato igual a 36,9°C semelhantes aquelas dos pisos comerciais utilizados em piscinas: Pedra Mineira PM rugosa (36,7°C), Piso PC2 liso (36,9°C) e Piso PC6 rugoso (36,8°C) apresentados anteriormente na Tabela 19. O que indica que essas placas cerâmicas RES fabricadas poderiam ser utilizadas em piscinas, apresentando o mesmo grau de conforto no contato que estes pisos comerciais.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

As placas cerâmicas obtidas com a incorporação de 10, 20 e 30% de fibra de sílica e temperatura de queima igual a 1170 °C apresentaram resistência à flexão ≥ 18 MPa e absorção de água entre 6% e 10%. Por isso, de acordo com a norma ISO 13006 [1995] essas placas podem ser utilizadas como revestimentos cerâmicos semi-porosos (BIIb). Já as placas cerâmicas obtidas com a incorporação de 40% de fibra foram classificadas como revestimentos cerâmicos porosos ou azulejos (BIII) de acordo com as normas NBR 13818 [1997] e ISO 13006 [1995], pois apresentam módulo de ruptura à flexão igual a $15,0 \pm 2,3$ MPa, absorção de água igual a 12,9% e espessura de 9,5 mm.

As placas cerâmicas obtidas com os valores de pressão de compactação de 15, 20, 25 e 30 MPa e mantendo-se a temperatura de queima igual a 1170 °C, apresentaram módulo de ruptura à flexão ≥ 22 MPa sendo classificadas como revestimentos cerâmicos semi-grês (BIIa). Já as placas compactadas sob 10MPa apresentaram módulo de ruptura à flexão igual a $20,4 \pm 1,5$ MPa sendo classificadas como revestimentos cerâmicos semi-porosos (BIIb).

As placas cerâmicas obtidas com a incorporação de 10% de resíduo de polimento e com temperatura de queima igual a 1170 °C apresentaram resistência à flexão de $25,1 \pm 1,9$ MPa, absorção de água igual a 4,6% e resistência à abrasão profunda igual a 206mm³ sendo classificadas como produto cerâmico semi-grês (BIIa). Já as placas com 30% de resíduo podem ser utilizadas como revestimentos cerâmicos porosos ou azulejos (BIII), pois apresentaram resistência à flexão de $16,8 \pm 1,1$ MPa, absorção de água igual a 11,6% e resistência à abrasão igual a 370 mm³.

Para as amostras sem e com 20, 50 e 100% de resíduo de polimento foram variadas as temperaturas de queima entre 950 e 1250°C. As placas obtidas sem resíduo podem ser utilizadas como revestimentos cerâmicos semi-grês (BIIa), pois apresentaram resistência à flexão de $24,7 \pm 0,3$, $38,7 \pm 0,7$, $45,2 \pm 2,4$, respectivamente, para as temperaturas de queima de 1100, 1170 e 1200 °C. Já as placas obtidas a 1250°C apresentaram resistência à flexão de $21,9 \pm 0,8$ MPa sendo classificadas como revestimentos cerâmicos semi-porosos (BIIb). As amostras com 20% de resíduo e temperatura de queima igual a 1100°C apresentaram resistência à flexão de $26,3 \pm 2,2$ MPa, sendo classificadas como revestimentos cerâmicos semi-grês (BIIa). Já para as amostras com 20 e 50% de resíduo e temperatura de queima igual a 1170°C e 1100°C, a resistência à flexão foi igual a $21,5 \pm 1,4$ e $20,2 \pm 0,8$ MPa,

respectivamente, classificando essas placas como revestimentos cerâmicos semi-porosos (BIIb).

Com relação às amostras com 100% de resíduo de polimento de porcelanato e com temperatura de queima igual a 1100°C, foi comprovado que o módulo de ruptura à flexão é de $23,8 \pm 1,7$ MPa, evidenciando a importância desse trabalho em avaliar o comportamento dessas massas sem e com a incorporação de resíduos antes e depois dos processos de prensagem e queima, e orientar no sentido de indicar a temperatura de queima ideal para cada composição. A temperatura de queima utilizada industrialmente para a fabricação do produto semi-grês (BIIa) é de 1170°C, o que indica ser provável a sua redução para 1100°C diminuindo o consumo de energia nessa produção e ainda, utilizando somente o resíduo de polimento para a fabricação deste produto.

Com relação à análise térmica diferencial, na presença do resíduo de polimento, existe um evento exotérmico em temperatura superior a 1100°C, que pode ser relacionado à formação de fases específicas, quando se trabalha com o resíduo individualmente, mas também quando combinado com massa atomizada. O resíduo apresenta em sua composição as fases mulita e quartzo. Após sinterização a 1170°C, foi observada a formação de cordierita, além do corindom, o que permite associar o evento exotérmico identificado na curva de análise térmica diferencial. Pode-se observar também que para o resíduo, a queima em temperaturas superiores resulta em formação de fase vítrea, além do desaparecimento da mulita. Finalmente, a combinação da massa atomizada com o resíduo, antes da sinterização, resultou em uma combinação das fases presentes nas matérias-primas isoladamente, enquanto o aquecimento a 1170°C favoreceu a formação da fase cordierita, mantendo-se a presença de mulita, além da formação de fase vítrea.

O dispositivo experimental elaborado para o ensaio de contato entre um pé descalço e um piso aquecido e o dispositivo para o ensaio de contato luva-pisos resfriados mostraram-se coerentes e importantes para o estudo da avaliação do conforto térmico, visto que a temperatura teórica e experimental de interface diminuem com a redução da efusividade térmica e que os valores teóricos e experimentais são concordantes. Além disso, pode-se constatar que os transdutores de fluxo de calor podem ser considerados uma ferramenta importante na avaliação de sistemas térmicos transientes.

A simulação numérica utilizada mostrou-se coerente já que os valores encontrados foram bem próximos dos valores da temperatura de contato experimental. Destaca-se que o modelo utilizado na simulação pode ser facilmente modificado permitindo simular a resposta do organismo à exposição ao calor e ao frio.

A metodologia de medição da resistência térmica do piso rugoso mostrou-se eficaz, reproduzindo de maneira mais simples o contato da sola do pé com uma superfície qualquer. Comprovou-se que a introdução de uma resistência de contato adicional (rugosidade superficial) produz uma redução na temperatura de contato. Dessa forma as duas estratégias poderiam ser combinadas (piso poroso e rugoso), produzindo pisos com elevado grau de conforto térmico, tanto para o calor quanto para o frio.

Comparando os resultados obtidos experimentalmente com o modelo teórico proposto, para a condutividade térmica dos corpos cerâmicos obtidos com incorporação de fibras de sílica e compactados a 30 MPa, pode-se verificar que os resultados experimentais, neste caso, não se correlacionam tão bem com o modelo teórico proposto, pois não se considera o material cerâmico como um compósito.

Já para as placas porosas constituídas de massa cerâmica variando-se a pressão de compactação, comparando-se os resultados obtidos experimentalmente com o modelo teórico proposto, para a condutividade térmica, pode-se verificar uma boa correlação no intervalo da porosidade estudado para $n = 8$ e $\lambda_0 = 1,6$ W/m.K.

Comparando-se os resultados obtidos experimentalmente com o modelo teórico proposto, para a condutividade térmica das placas cerâmicas obtidas através da incorporação de resíduo do polimento de porcelanato e mantendo-se a temperatura de queima a 1170°C, pode-se verificar uma boa correlação no intervalo da porosidade entre 0 a 50% de resíduo incorporado à massa atomizada, para $n = 4$ e $\lambda_0 = 1,65$ W/m.K. Exceto para 75% e 100% de resíduo (cuja porosidade é igual a 65% e 64% respectivamente), justificando o fato dos valores experimentais ficarem fora da curva teórica apresentada.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Sugerem-se os seguintes temas para posterior investigação:

- Estudar o tipo de esmaltação que pode ser aplicada sobre o corpo cerâmico poroso para evitar a incrustação de sujeiras e microorganismos sem prejudicar o conforto térmico no contato;
- Investigar o uso de pigmentos adicionados na preparação da massa cerâmica para deixar os substratos com coloração branca;

- Desenvolver placas cerâmicas com diversos tipos de superfícies rugosas através de moldes metálicos visando o efeito estético e o conforto térmico desejado;
- Utilizar o modelo de resistência de contato teórica apresentado neste trabalho;
- Segurança no Contato: avaliar as soluções aplicadas em revestimentos a altas e baixas temperaturas;
- Otimizar a distribuição granulométrica das matérias-primas utilizadas na fabricação de placas cerâmicas em função das propriedades térmicas e mecânicas medidas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR13817, **Placas cerâmicas para revestimento—Classificação**. Rio de Janeiro, 1997.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR13818, **Placas cerâmicas para revestimento—Especificação e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 1997.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220-4, **Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida**. Rio de Janeiro, 2005.
- [4] ACIMOVIC, Z; PAVLOVIC, L.; Trumbulovic, L.; Andric, L.; Stamatovic. **M. Mater. Lett**, vol. 57, p. 2651, 2003.
- [5] AIVAZOV, M.I. and DOMASHNEV, I.A. “Influence of porosity on the conductivity of hot pressed titanium nitride specimens”. **Poroshkovaya Metallurgiya (Soviet P/M and Metal Ceramics)**, vol. 8, p.51-54, 1968.
- [6] ANFACER. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO. **Dados de produção e faturamento do setor em 2001**. Disponível em: www.anfacer.org.br. Acesso em: fevereiro de 2008.
- [7] ASHRAE. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 1992.
- [8] ASHRAE FUNDAMENTALS. **Thermal Comfort**. Atlanta, 1997.
- [9] AUSTIN, J.B. “Thermal Insulating Materials”, **Am. Soc. Testing Mater**, Philadelphia, p.3, 1939.
- [10] BARBER, J.R. “An asymptotic solution for the short time transient heat conduction between two similar contacting bodies”. **Int. J. Heat Mass Transfer**, vol.32, p. 943-949,1989.
- [11] BARRA, G. M. O. “Compósito de Poliuretano/Fibra Natural: Preparação e Estudo da Viabilidade de Utilização de Fibra Natural Inorgânica”. **Monografia**, UFSC , 2004.

- [12] BENLLOCH, A.; AMORÒS ALBARO, J.L.; ENRIQUE NAVARRO, J.E. “Estudio de pastas de gres para pavimentos”. **Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.**, vol. 20, n. 1, p. 17-24, 1981.
- [13] BENNETT, PERY. “Sustentabilidade: a harmonia entre o homem e o meio ambiente”. **Conselho em Revista**, n. 33, Rio Grande do Sul, RS, 2007.
- [14] BERNARDIN, A.M.; SILVA, M.J.; CARVALHO, E.F.U.; RIELLA, H.G. “Cerâmicas Celulares obtidas a partir de Resíduos de Polimento”. **Cerâmica Industrial**, vol. 12, p. 31-35, 2007.
- [15] BERNARDIN, A.M.; SILVA, M.J.; RIELLA, H.G. “Characterization of cellular ceramics made by porcelain tile residues”. **Materials Science & Engineering A**, vol. 437, p. 222-225, 2006.
- [16] BIANCHERIA, A. **Trans. Am. Nucl. Soc.**, vol. 9, p.15, 1966.
- [17] BIDONE, F.R.A. **Reaproveitamento de materiais provenientes de coletas especiais**. Rio de Janeiro: RIMA, 2001.
- [18] BONAR, V. **Reciclar vidro**. São Paulo: Scipione, 1996.
- [19] BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **Medical information on human reaction to skin contact with hot surfaces**, PD 6504, 1983.
- [20] CHU, G.P.K. **Microstructures of Complex Ceramics, in Ceramic Microstructures**. Editado por Fulrath, R.M. e PASK, J.A.; Robert E. Krieger, Huntington, p. 1008, 1976.
- [21] CINTRA JR, J.S e SANTOS, W. N. **Journal Eur. Ceram. Soc.**, vol. 20, p. 1871, 2000.
- [22] DUTRA, R. P. S. e PONTES, L. R. DE ARAÚJO, “Obtenção e análise de cerâmicas porosas com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico”, **Cerâmica**, vol. 48, p. 223-230, 2002.
- [23] ESPER, J.A.M.M. “Caracterização Mineralógica de Espongilito da Região de João Pinheiro”. **Dissertação de Mestrado**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

- [24] ESPOSITO, L. et al. “Stain Resistance of Porcelain Stoneware Tile”. **American Ceramic Society Bulletin**, vol. 81, n. 10, p. 38-42, 2002.
- [25] ESPOSITO, L.; TUCCI, A. “Pulimentación de Baldosas de Gres Porcelánico: Aspectos Superficiales”. **Técnica Cerámica**, vol. 2000, n. 288, p. 1268-1275, 2000.
- [26] FANGER, P.O. **Thermal Comfort**. New York, McGraw-Hill Book Company, 1970.
- [27] FERREIRA, M.S. e YANAGIHARA, J.I. “Um modelo do sistema termorregulador do corpo humano: exposição a ambientes quentes”. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, vol. 15, n. 1-2, p.87-96, 1999.
- [28] FIBRABEN. www.fibraben.com.br. acesso em 28 de fevereiro de 2008.
- [29] FONSECA, M.R.G. “Isolantes Térmicos fabricados a partir de cinza de casca de arroz: obtenção, caracterização de propriedades e sua relação com a microestrutura”. **Tese de Doutorado**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- [30] FRANCL, J. and KINGERY, W.D. **J. Am. Ceram. Soc.**, vol.37, p.99, 1954.
- [31] FU, X.; VISKANTA, R.; GORE, J.P. “Prediction of effective thermal conductivity of cellular ceramics”. **Int. Comm. Heat Mass Transfer**, vol. 25, n. 2, p. 151-160, 1998.
- [32] GENG, Q.; HOLMÉR, I. and Cold Surfaces Research Group. “Finger Contact Cooling on Cold Surfaces: effect of pressure”. **Proceedings of 9th ICEE Ruhr 2000**, Ruhr-University Bochum, Germany, July 30 – August 4, p. 181-184, 2000.
- [33] GENG, Q.; HOLMÉR, I. and Cold Surfaces Research Group. “Change in the contact temperature of Finger Touching Cold Surfaces”. **International Journal of Industrial Ergonomics**, vol. 27, n. 6, 2001.
- [34] GONÇALVES, M.R.F e BERGMANN, C.P. “Isolantes Térmicos de Cinza de Casca de Arroz: Obtenção e Correlação de suas propriedades com a Microestrutura”. **Cerâmica Industrial**, vol. 11, p. 38-43, 2006.
- [35] GORINI, A. P. F. e CORREA, A. R. **Cerâmica para Revestimentos**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, set., n.10, p.201-252, 1999.

- [36] GREENWOOD, J.A. “Transient thermal contact resistance”. **Int. J. Heat Mass Transfer**, vol. 34, n. 9, p. 2287-2290, 1991.
- [37] GREGOLIN, E.N. “Estudo de um Compósito de Matriz de Alumínio Reforçado com Fibras de Al-Al₂O₃ obtido pela reação da Matriz com Fibras de SiO₂”. **Tese de Doutorado**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.
- [38] GÜTHS, S. ; PHILIPPI, P.C. ; GAVIOT, E. e THERY, P. “Um transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial”. **Anais do XI Congresso Brasileiro em Engenharia Mecânica (COBEM)**. Belo Horizonte, 1995.
- [39] HARTOG, E. D.; HAVENITH, G. and COLD SURFACES RESEARCH GROUP. “Modeling of Fingertip Cooling during Contact with Cold Materials”. **Proceedings of 9th ICEE Ruhr 2000**, Ruhr-University Bochum, Germany, July 30 – August 4, p. 197-200, 2000.
- [40] HOLMÉR, I.; GENG, Q. and COLD SURFACES RESEARCH GROUP. “Temperature limit values for cold touchable surfaces-final report of EU Project SMT4-CT97-2149”. **Accepted by European Commission DG XII SMT**, 2000.
- [41] INCROPERA, F.P. e DE WITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, Editora Guanabara Koogan, 4^a Edição, 1998.
- [42] INCROPERA, F.P. e DE WITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992.
- [43] ISO 8301. **Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus**. Geneve, Switzerland, 1991.
- [44] ISO 13006. **Ceramic tile-Definitions, classification, characteristics and marking**, 1995.
- [45] JAY, O.; HAVENITH, G. and COLD SURFACES RESEARCH GROUP. “The effects of Gender on temperature limit values for cold touchable surfaces”. **Proceedings of 9th ICEE Ruhr 2000**, Ruhr-University Bochum, Germany, July 30 – August 4, p. 185-188, 2000.

- [46] KINGERY, WD; BOWEN, HK; UHLMANN, DR. **Introduction to ceramics**. 2.ed. John Wiley & Sons. New York (NY), 1976.
- [47] LAMBERTS, R. e XAVIER, A.A.P. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Florianópolis, S.C., 2002.
- [48] LAMBERTS, R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. S.Paulo, Brasil, 1997.
- [49] LEMOS, A.F. e FERREIRA, J.M.F. “Novo Método de Preparação de Corpos Macroporosos de Cordierite”. **Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 30 de Maio a 2 de Junho de 2001. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- [50] MAIRE, E. et al. “Characterization of the morphology of cellular ceramics by 3D image processing of X-ray tomography”. **Journal of the European Ceramic Society**, vol. 27, p. 1973-1981, 2007.
- [51] MANZINGER, H. **Temperaturgrenzen für die Verbrennung der Haut**. Ultraschall B Scan Untersuchung Dissertation an der Medizinischen Fakultät der Ludwig Maximilians Universität München.
- [52] MARZETTA, L.A. A. “Thermesthesiometer- An Instrument for Burn Hazard Measurement”. **IEEE Transactions on biomedical Engineering**. Communications, September 1974 and MARZETTA, L.A. Engineering and Construction Manual for an Instrument to Make Burn Hazard Measurement in Consumer Products. NBS Technical Note 816 U.S. Department of Commerce National Bureau of Standards, 1974.
- [53] MEDEIROS, E.S. “Proposta para recuperação de áreas degradadas pelo depósito de resíduos sólidos gerados pela indústria cerâmica”. **Monografia**, Criciúma: UNESC, 1999.
- [54] MELCHIADES, F.G.; ROVERI, C.D.; SOTÉRIO, J.; SILVA, L.L.; BOSCHI, A.O. “Controle Dimensional e do Formato de Revestimentos Cerâmicos. Parte I: Dimensões”. **Cerâmica Industrial**, vol. 6, n. 5, p. 27-33, 2001.
- [55] MOCHIDA, S. **Ceramic Honeycombs in the Spotlight**. NGK Insulators, Ltd, 1-12, 1984.

- [56] MORITZ, A.R. and HENRIQUES, F.C. “The relative Importance of Time and Surface Temperature in the Causation of Cutaneous Burns”. **Studies of Thermal Injury II. Am. J. Path**, vol. 23, p.659, 1947.
- [57] MORREL, R. - “Handbook of properties of technical & Engineering ceramics – Part 1: An Introduction for the engineer and designer”, **Ed. HMSO Publications Centre**, London, 1989.
- [58] MIMANI, T. “Instant synthesis of nanoscale spinel aluminates”, **Journal of Alloys and Compounds**, vol.315, p.123-128, India, 2001.
- [59] NORMINTON, E.J. and BLACWELL, J.H. “Transient heat flow from constant temperature spheroids and the thin circular disk.Q.J. Mech”. **Appl. Math**, vol. 17, p. 65-72, 1964.
- [60] NETO, ARMANDO SHALDERS. “Regulamentação de desempenho térmico e energético de edificações”. **Dissertação de Mestrado**. Curso de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- [61] ORIÁ, RB; SANTANA, EN; FERNANDES, MR; FERREIRA, FVA; BRITO, GAC. “Estudo das alterações relacionadas com a idade na pele humana, utilizando métodos de histomorfometria e autofluorescência”. **Anais brasileiros de Dermatologia**, Rio de Janeiro, vol. 78, n. 4, p.425-434, 2003.
- [62] ORTS, M.J. et al. “Comportamiento del Gres Porcelanico Durante la Operación de Pulido”. **Boletim de la Sociedade Española de Cerámica y Vidro**, vol. 40, n. 6, p. 447-455, 2001.
- [63] PARKER, W.J. ; JENKINS, R.J.; BUTTER, C.P. & ABBOT, G.L. J. **Appl. Phys.**, vol. 32, p. 1679, 1961.
- [64] PEREIRA, S. W. “Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos. Aplicação de avaliação do ciclo de vida”. **Dissertação de Mestrado**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2004.

- [65] PIETTE, A.; MALCHAIRE, J. and COLD SURFACES RESEARCH GROUP. “Duration limit after cold grip exposure with several materials”. **Proceedings of 9th ICEE Ruhr 2000**, Ruhr-University Bochum, Germany, July 30 – August 4, p. 193-196, 2000.
- [66] prEN ISO 13732-1. **Ergonomics of the environment- Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces- Part 1: Hot surfaces** (ISO/DIS 13732-1: 2004).
- [67] prEN ISO 13732-3. **Ergonomics of the environment- Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces- Part 3: Cold surfaces** (ISO/DIS 13732-3: 2005).
- [68] REED, J.S. **Introduction to the principles of ceramic processing**. John Wiley, New York, 1988.
- [69] RHEE, S.K. “Porosity-Thermal Conductivity Correlations for Ceramic Materials”. **Materials Science and Engineering**, vol. 20, p. 89-93, 1975.
- [70] RISSANEM, S.; RINTAMÄKI, H. and COLD SURFACES RESEARCH GROUP. “Individual Variation during Slow and Rapid Contact Cooling”. **Proceedings of 9th ICEE Ruhr 2000**, Ruhr-University Bochum, Germany, July 30 – August 4, p. 189-191, 2000.
- [71] RIVERO, Roberto. **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural**. 2 ed. D.C. Luzzatto Editores, Porto Alegre, 1986.
- [72] SANTOS, W N. “Desenvolvimento de um equipamento simples para medida de difusividade térmica”. **Revista Cerâmica**, n. 42, São Carlos, SP, 1996.
- [73] SANTUCCI, J. e SATTLER, M. “Sustentabilidade: a harmonia entre o homem e o meio ambiente”. **Conselho em Revista**, n. 33, Rio Grande do Sul, RS, 2007.
- [74] SG ABRASIVOS, **Abrasivos**. Disponível em: www.sgabrasivos.com.br. Acesso em: 12/01/2008.
- [75] SIEKMANN, H. Empfohlene Maximaltemperaturen berührbarer Oberflächen. Die BG, n.8, p.436-438,1986 and SIEKMANN, H. “Recommended maximum temperatures for touchable surfaces”. **Applied Ergonomics**, vol. 21, n. 4, p. 69-73, 1990.

- [76] SIEKMANN, H. Bestimmung maximal tolerierbarer Temperaturen bei der Berührung heißer Oberflächen. Die BG, n.10, p.525-530, 1983 and SIEKMANN, H. "Determination of maximum temperatures that can be tolerated on contact with hot surfaces". **Applied Ergonomics**, v.20, n. 4, p. 313-317, 1989.
- [77] SILVA, M.J. "Obtenção de cerâmica expandida a partir do resíduo de polimento do grês porcelanato". **Monografia**, Criciúma: UNESC, 2005.
- [78] SOUSA, E.; RAMBOO, C. R.; HOTZA, D.; OLIVEIRA, A. P. N.; FEY, T. & GREIL, P. "Microstructure and properties of LZSA glass-ceramic foams". **Materials Science and Engineering**, vol. 476, p. 89-97, 2008.
- [79] SOUSA, E.; SILVEIRA, C. B.; FEY, T.; GREIL, P.; HOTZA, D. & OLIVEIRA, A. P. N. "LZSA glass ceramic foams prepared by replication process". **Advances in Applied Ceramics**, vol. 104, n. 1, 2005.
- [80] STAMER, M. J.; MAGGI, C.; SEIBEL, S. **Cadeia de Valor Global do Setor Cerâmico: um estudo comparativo dos clusters de Sassuolo, Castellón e Criciúma**. Florianópolis: FIESC/IEL, ago. 2001.
- [81] SUGAWARA, A. ,YOSHIZAWA, J. "An Experimental Investigation on the Thermal Conductivity of Consolidated Porous Materials". **Journal of Applied Physics**, vol. 33, p. 3135, 1962.
- [82] VAN VLACK, L.H. **Princípios de Ciência dos Materiais**. Editora Edgard Blücher, S. Paulo, Brasil, 1970.
- [83] VIENELLO, RL.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária, p.133-200, 1991.
- [84] WIGGERS, WILLIAM S.; SANTOS, RICARDO A.; HOTZA, DACHAMIR. "Evolução da Superfície do Porcelanato ao Longo do Processo de Polimento". **Cerâmica Industrial**, vol. 12, n. 1/2, p. 27-30, 2007.
- [85] WU, Y.C. "Control of Thermal Impact for Thermal Safety". American Institute of Aeronautics and Astronautics. **AIAA Journal**, vol. 15, n. 5, p.674, may 1977.

[86] WU, Y.C. “Material Properties Criteria for Thermal Safety”. **Journal of Materials**, vol. 7, n. 4, p. 573, 1972.

[87] XAVIER, A.A.P. “Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias-Teoria física aplicada a estudos de campo”. **Tese de Doutorado**. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 251, 2000.

[88] YANNAS, S. e MALDONADO, B. **PASCOOL handbook- Designer for Summer Comfort. London**, ed. Architectural Association Graduate school, 1995.

[89] YANNAS, S., MALDONADO, E., eds. **PASCOOL handbook - Designing for summer comfort**. Architectural Association Graduate School, Londres, Cap. 4: Thermal Inertia, 1995.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1

A.1 Modelo para estimar a temperatura superficial dos pisos expostos ao sol no verão

Durante verão a radiação global direta chega a atingir cerca de 1000W/m^2 (FLORIANÓPOLIS), enquanto que durante o inverno a radiação global máxima é de aproximadamente 600W/m^2 . Dado que as medições foram realizadas inicialmente no inverno, a radiação solar não estava no auge. Dessa forma, foi utilizado um modelo para estimar a temperatura atingida no piso do verão.

Extrapolando a radiação global direta, em dias bem quentes de verão a temperatura na superfície superior do piso pode ser observada na tabela a seguir:

A Tabela A.1.1 apresenta a absorvidade e a temperatura superficial de pisos e porcelanatos fornecidos pela empresa GYOTOKU, como também da pedra mineira que é bastante utilizada em piscinas (nossa referência).

Tabela A.1.1-Medição da absorvidade (γ) e da temperatura superficial de cada piso (T_{sup}).

Tipo dos Pisos	G(W/m ²)	γ	T _{sup} (°C)
Tecno Dunes Natural (bege claro)	1000	0,42	61,89
Vesúvio White (branco)	1000	0,31	52,22
Granitti Enduro Bianco (branco)	1000	0,35	56,03
Piemonte Beige (bege com manchas)	1000	0,32	53,40
Duomo Bianco (cinza)	1000	0,54	71,98
Pimonte Noce (bege mais escuro com manchas)	1000	0,52	70,67
Piemonte Crema (bege mais escuro com manchas)	1000	0,44	63,79
Maresias Cotto (bege escura-cor tijolo)	1000	0,54	72,72
Maresias Bege	1000	0,52	70,23
Amazônia Champagne	1000	0,50	68,62
Riviera Bege	1000	0,50	68,62
Falésia 7.300	1000	0,61	78,28
Falésia 7.100	1000	0,47	73,45
Falésia 7.400	1000	0,55	73,45
Pedra Mineira	1000	0,39	58,81

Ainda na Tabela A.1.1 podemos verificar que para cores mais claras, como por exemplo o piso Vesúvio White (Figura A.1.1), o valor da absorvidade do piso medida é de 0,31, ficando entre 0,2 a 0,5 (cores claras) de acordo com a literatura (Tabela 5) e apresentando uma temperatura superficial de 52,22 °C. Já para o piso Maresias Cotto (Figura A.1.1), cuja cor é aproximada a um bege escuro (cor tijolo) o valor da absorvidade é de 0,54, ficando entre 0,5 a 0,7 (Tabela 5) e dessa forma apresenta uma temperatura maior de 72,72°C.

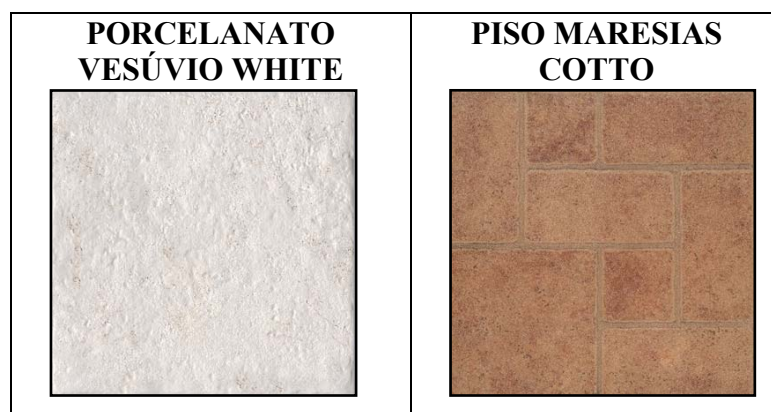


Figura A.1.1 - Porcelanato Vesúvio White e Piso Maresias Cotto.

A obtenção da absorvidade hemisférica em relação aos pisos cerâmicos pode ser representada pela Figura A.1.2 a seguir:

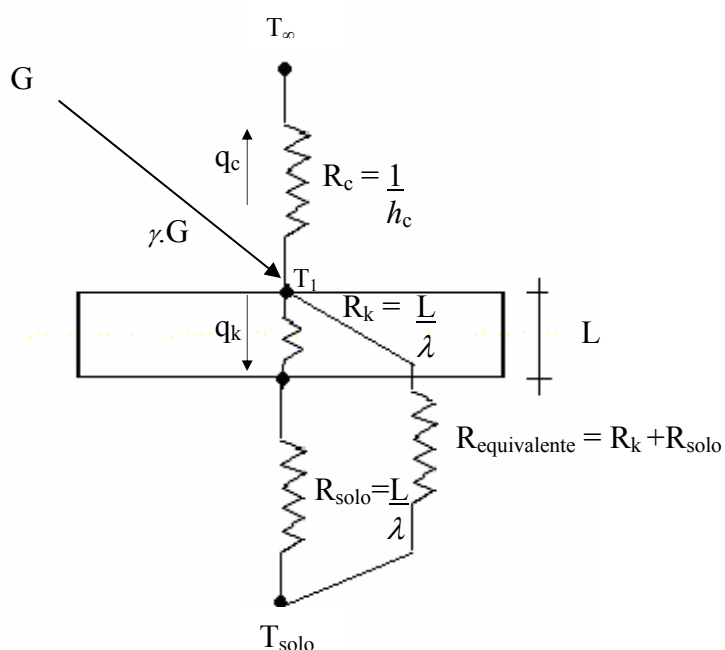


Figura A.1.2 - Transmissão da radiação nos pisos cerâmicos.

Assim, a absorptividade (γ) de cada piso pode ser obtida pela equação:

$$\gamma = \frac{q_c - q_k}{G} \quad (\text{A.1})$$

Onde: γ é a absorptividade hemisférica do piso, G é a radiação solar direta (W/m^2), L é a espessura do piso (m), q_k é a densidade de fluxo de calor por condução (W/m^2), q_c é a densidade de fluxo de calor por convecção (W/m^2) e h_c é o coeficiente de transferência de calor por convecção ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$).

Substituindo os valores de q_k e q_c , temos|:

$$\gamma = \frac{T_{\text{sup}} - T_{\infty}}{R_c} + \frac{T_{\text{sup}} - T_{\text{solo}}}{R_k + R_{\text{solo}}} \quad (\text{A.2})$$

Onde: T_{∞} é a temperatura ambiente, T_{sup} é a temperatura na superfície do piso, T_{solo} é a temperatura do solo, R_k é a resistência térmica de condução ($\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$), R_c é a resistência térmica de convecção ($\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$) e R_{solo} é a resistência do solo ($\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$).

APÊNDICE 2

A.2 Medição da resistência térmica de contato das dos pisos e placas cerâmicas

Inicialmente foram avaliadas as amostras obtidas do piso comercial PC (rugoso e liso). Esse piso apresenta uma superfície rugosa (Figura A.2.1), com uma distância entre picos e vales de aproximadamente 0,55 mm. Uma das amostras foi extraída do piso original e outra amostra obtida através do polimento da rugosidade desse mesmo piso.

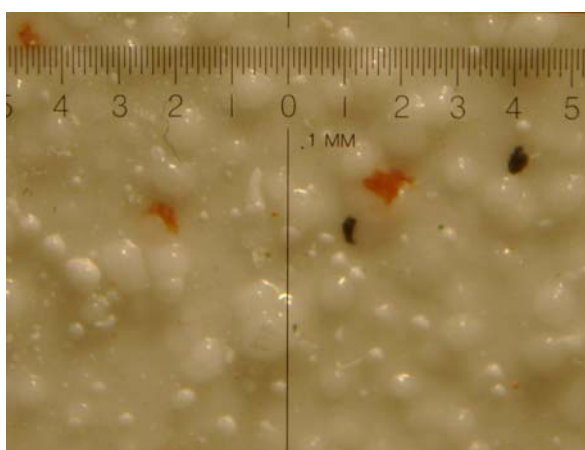


Figura A.2.1 - Superfície do piso comercial PC rugoso.

Essas duas amostras foram ensaiadas no condutímetro fluximétrico (Figura A.2.2). Nesses ensaios foi intercalada uma fina película de látex (espessura = 0,1 mm) entre a superfície superior da amostra e o fluxímetro superior de forma a simular a resistência de contato entre um pé descalço e o piso avaliado.

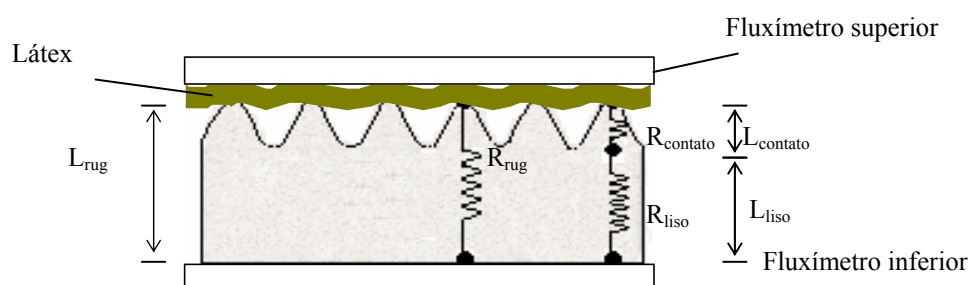


Figura A.2.2 - Esquema do condutímetro fluximétrico.

A condutividade térmica da amostra do piso comercial rugoso medida foi de 0,48 W/m.K. As Figuras A.2.3 e A.2.4 representam esquematicamente a vista lateral das amostras do piso comercial PC com a superfície lisa e rugosa respectivamente.

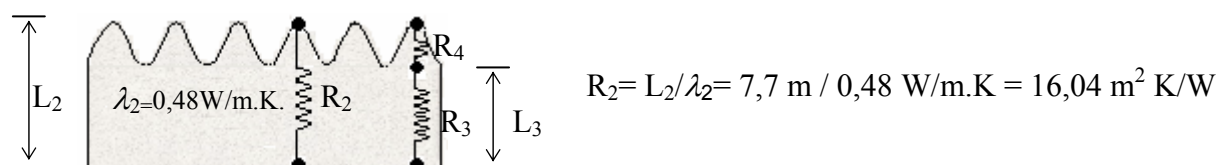


Figura A.2.3 - Vista lateral de um piso rugoso.

Como este piso apresenta uma superfície rugosa (Figura 58), o ensaio foi novamente repetido com a mesma amostra do piso, porém retirando a rugosidade (picos) da superfície através de um polimento (Figura 59). A condutividade térmica medida foi de 0,72W/m.K.

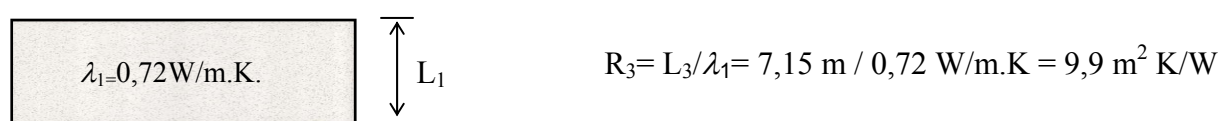


Figura A.2.4 - Vista lateral do piso sem a rugosidade superficial.

A diferença entre a resistência térmica do piso comercial rugoso e do liso fornece a resistência térmica de contato. A condutividade térmica aparente desse contato também foi obtida (Tabela A.2.1).

Tabela A.2.1 - Condutividade aparente e resistência térmica de contato para o piso comercial liso e rugoso.

AMOSTRAS	ESPESSURA (m)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA APARENTE (W/m.K)	RESISTÊNCIA TÉRMICA (m²K/W)
Piso rugoso	$7,70 \times 10^{-3}$	0,48	$16,04 \times 10^{-3}$
Piso liso	$7,15 \times 10^{-3}$	0,72	$9,90 \times 10^{-3}$
Resistência de Contato	$0,55 \times 10^{-3}$	0,09	$6,14 \times 10^{-3}$

8. ANEXOS

ANEXO 1



Caracterização Massa Piso TP 104/ formato 20 x 20

Especificações Técnicas		Unidade	Padrão		
M a s s a	Densidade	g/L	1.690 - 1.710		
	Viscosidade	s	24 - 30		
	Resíduo	%	7,5 - 8,5		
	Tempo de moagem	hrs	6		
	Umidade	%	6,6 - 7,0		
	Distribuição granulométrica atomização	%	# 32	13 - 19	
			#35	18 - 24	
			#48	28 - 34	
			#65	17 - 23	
			#115	6 - 10	
			finos	≤ 4	
	Umidade	%	6,6 - 7,0		
	Distribuição granulométrica alimentação	%	# 32	11 - 17	
			#35	13 - 19	
#48			28 - 34		
#65			19 - 23		
#115			7 - 11		
finos			≤ 5,5		
Dilatação térmica	°C ⁻¹		68 - 72 x 10 ⁻⁷		
P r e s s a	Prensa	-	PH 1000		
	n ° cavidades	-	6		
	Pressão manométrica	Bar	260 - 290		
	Pressão específica	Kgf/cm ²	280 - 300		
	Pressão de punção isostat.	Kg	2		
	Tamanho da caixa	mm	211,63		
	Umidade	%	7,0 - 7,4		
	Espessura	mm	6,9 - 7,1		
	Peso úmido/peça	g	600-620		
	Tamanho crú	mm	213,6		
	Resistência Mec./crú	Kgf/cm ²	10 - 15		
	Densidade aparente	g/cm ³	2,060 - 2,130		
	Umidade do secador	%	0,0 - 0,5		
	Resistência Mec./seco	Kgf/cm ²	30 - 45		

Caracterização Massa Piso TP 104/ formato 20 x 20

Especificações Técnicas		Unidade	Padrão	TP 104
P r o d u t o A c a b a d o	Tamanho de fabricação	mm	200,0 x 200,0	200,4
	Espessura	mm	6,9 - 7,1	7
	Grupo de absorção	-	BIIa	BIIa
	Absorção de água	%	3,0 - 6,0	3,5
	Retração		≤ 6	6,05
	Resistência Mec./queimado	MPa	≥ 22	39
	Carga de ruptura	N	≥ 600	1196
	Expansão por umidade	mm/m	0,4 - 0,5	0,44
	Resistência a gretagem	-	isento	isento
	Resistência a manchas	-	≥ 3	5
	PEI	-	conforme declarado	conforme
	Resistência química	-	≥ GB	GA
	Resistência ao risco	-	3	3
	Retitude dos lados	mm	± 0,6	
	Ortogonalidade	mm	± 1,0	
	Empeno	mm	± 1,1	
Curvatura Central	mm	-0,7 / +1		
Curvatura Lateral	mm	-0,7 / +1		
Bitola 14	mm	199,05 - 199,95	-	
Bitola 15	mm	200,05 - 200,95	200,4	
Bitola 16	mm	201,05 - 201,95	-	

Rampa de queima ° C	
Superior	Inferior
850	-
900	-
1000	-
1040	-
1060	-
1080	-
1100	1100
1167	1152
1167	1152
1120	1054
1000	1000
ciclo	48 min

ANEXO 2

Depto. Técnico
16/12/03



Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT
Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 313/2003				
CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS - ENSAIO QUÍMICO NA MASSA BRUTA DO RESÍDUO-NBR-10004/87				
DADOS DA AMOSTRA				
Data da coleta: 26/09/03		Data de Entrada no Laboratório: 30/09/03		
Empresa: MAPELLI DO BRASIL S/A		Fone: (48)437-7266		
Interessado: Cerâmica Gytoku				
Endereço: Rodovia de Jacareipe, s/n, km 05, Carapina. Serra – Espírito Santo				
Atividade da Empresa: Produção de Pedras Abrasivas para Indústrias Cerâmicas e Pedras Naturais				
Descrição da Amostra: Pedras Abrasivas				
Ponto de Coleta: Estoque				
Coletor: Nilzo Buzzanello				
Resultados do Ensaio				
Parâmetros	Concentração (mg/kg)	Limite Máximo Permitido no Resíduo Total (mg/kg)	Mínimo Detectável	Métodos Analíticos
Arsênio	ND	1000	0,001	Absorção Atômica
Chumbo	50,0	1000 ⁽¹⁾	0,05	Absorção Atômica
Cromo Total	40,0	100 ⁽²⁾	0,02	Absorção Atômica
Selênio	ND	100	0,01	Absorção Atômica
Fenóis	8,6	10	0,1	Espectrof. Aminoantipirina
<p>Observações: - ND = Não Detectado</p> <p>- (1) Limite máximo para chumbo em compostos minerais.</p> <p>- (2) Limite máximo para Cromo VI ou seus compostos.</p> <p>- Devido à inexistência de metodologia para caracterização do Cromo VI em resíduos, foi determinado o Cromo Total na massa bruta.</p> <p>Metodologia: Teste realizado de acordo com as condições exigidas pela NBR-10004, sendo analisados somente 05 (cinco) parâmetros da listagem 09 da referida norma.</p> <p>Classificação: Através do ensaio na massa bruta, o resíduo é classificado como Não Perigoso, segundo a NBR 10004/87, nos parâmetros analisados, sendo necessário à realização do ensaio de lixiviação.</p> <p>*****</p>				
Criciúma, 23 de outubro de 2003.				
<p>_____ Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio CRQ 13200109</p>		<p>_____ Executor dos Ensaios Químico João Oto Schmitz Junior CRQ 13100288</p>		
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam à amostra ensaiada.				

Endereço: Rod. Jorge Lacerda, km 4, 5, Bairro Sangão, Criciúma, SC
Caixa Postal 3167 - CEP 88806-000- Fone/Fax: 048 4430106/4430037



Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas –IPAT
 Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 315/2003				
CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS- ENSAIO DE DOLUBILIZAÇÃO -NBR-10006/87				
DADOS DA AMOSTRA				
Data da coleta: 26/09/03			Data de Entrada no Laboratório: 30/09/03	
Empresa: MAPELLI DO BRASIL S/A			Fone: (48)437-7266	
Interessado: Cerâmica Gytoku				
Endereço: Rodovia de Jacareipe, s/n, km 05, Carapina. Serra – Espírito Santo				
Atividade da Empresa: Produção de Pedras Abrasivas para Indústrias Cerâmicas e Pedras Naturais				
Descrição da Amostra: Pedras Abrasivas				
Ponto de Coleta: Estoque				
Coletor: Nilzo Buzzanello				
Resultados do Ensaio				
Parâmetros	Concentração (mg.L ⁻¹)	Limite Máximo Permitido no Resíduo Total (mg.L ⁻¹)	Mínimo Detectável	Métodos Analíticos
Alumínio	ND	0,2	0,1	Absorção Atômica
Cloreto	11,40	250,0	1,0	Volumétrico
Dureza	1520,0	500,0	1,0	Volumétrico
Sódio	26,7	200,0	0,01	Absorção Atômica
Fenol	ND	0,001	0,1	Espectrof. Aminoantipirina
Sulfatos	702,0	400,0	1,0	Turbidimétrico
<p>Observações: - ND = Não Detectado -pH inicial = 10,0 pH final = 8,8</p> <p>Metodologia: Teste realizado de acordo com as condições exigidas pela NBR 10004/1987, sendo analisados 6 (seis) dos parâmetros do ANEXO H listagem n° 08 desta norma.</p> <p>Classificação: Através do ensaio de solubilização o resíduo é classificado como Resíduo Classe II – Não Inerte, nos parâmetros analisados, sendo a NBR 10004/87.</p> <p>*****</p>				
Criciúma, 23 de outubro de 2003.				
_____ Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio CRQ 13200109			_____ Executor dos Ensaio Químico João Oto Schmitz Junior CRQ 13100288	
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam à amostra ensaiada.				

Endereço: Rod. Jorge Lacerda, km 4,5, Bairro Sangão, Criciúma, SC
 Caixa Postal 3167 - CEP 88806-000- Fone/Fax: 048 4430106/4430037



Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas-IPAT
 Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO N ^o : 314/2003				
CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS- TESTE DE LIXIVIAÇÃO -NBR-10005/87				
DADOS DA AMOSTRA				
Data da coleta: 26/09/03		Data de Entrada no Laboratório: 26/09/03		
Empresa: MAPELLI DO BRASIL S/A		Fone: (48)437-7266		
Interessado: Cerâmica Gyotoku				
Endereço: Rodovia de Jacareipe, s/n, km 05, Carapina. Serra – Espírito Santo				
Atividade da Empresa: Produção de Pedras Abrasivas para Indústrias Cerâmicas e Pedras Naturais				
Descrição da Amostra: Pedras Abrasivas				
Ponto de Coleta: Estoque				
Coletor: Nilzo Buzzanello				
Resultados do Ensaio				
Parâmetros	Concentração (mg.L ⁻¹)	Limite Máximo Permitido no Resíduo Total (mg.L ⁻¹)	Mínimo Detectável	Métodos Analíticos
Chumbo	0,35	5,0	0,05	Absorção Atômica
Cromo Total	ND	5,0	0,02	Absorção Atômica
Fluoreto	0,08	150	0,1	Espectrof. com Spadns
<p>Observações: -ND = Não Detectado -pH inicial = 10,2 pH final = 9,4 -Volume de Ácido Acético = 400,0 mL; Volume de Água Adicionado = 0,0 mL</p>				
<p>Metodologia: Teste realizado de acordo com as condições exigidas pela NBR-10004, sendo analisados 03 (três) parâmetros da listagem 07 desta norma.</p>				
<p>Classificação: Através do ensaio de lixiviação o resíduo é classificado como Não Perigoso, segundo a NBR 10004/87 nos parâmetros analisados, sendo necessário à realização do ensaio de solubilização.</p> <p>*****</p>				
Criciúma, 23 de outubro de 2003.				
_____ Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio CRQ 13200109		_____ Executor dos Ensaio Químico João Oto Schmitz Junior CRQ 13100288		
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam à amostra ensaiada.				

Endereço: Rod. Jorge Lacerda, km 4,5, Bairro Sangão, Criciúma, SC
 Caixa Postal 3167 - CEP 88806-000- Fone/Fax: 048 4430106/4430037

ANEXO 3

FICHA TÉCNICA

PRODUTO: SETOR 170 ABRASIVO GR 36 A 2500
<p><u>COMPOSIÇÃO BÁSICA:</u></p> <p>Produto elaborado com as seguintes matérias-primas:</p> <ul style="list-style-type: none">-Carbonato de Cálcio-Carbeto de Silício-Cloreto de Magnésio-Óxido de Magnésio-Quartzo-Sulfato de Magnésio <p>Todas as matérias-primas nacionais e importadas são adquiridas com os respectivos controles de qualidade.</p>
<p><u>EMBALAGEM:</u></p> <p>Caixas com 24 peças e Pallets com 49 caixas.</p>
<p><u>FORNECIMENTO DO PRODUTO:</u></p> <p>20 dias após a data de produção com validade de 8 meses após a data de produção. Podendo ser utilizado antes dos 20 dias e após os 8 meses, dependendo do processo de produção de cada cerâmica.</p>
<p><u>APLICAÇÃO:</u></p> <p>No polimento e brilho do grês porcelanato e esmaltado.</p>

Abrasivos Frangi do Brasil Ltda
Rod. Genésio Mazon, km 17,75
Bairro São Pedro
Urussanga – SC
88840-000

9. PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFIA

Publicações em Revista Indexada

1. EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O.E. “Evaluation of the Thermal Comfort of Ceramic Floor Tiles”. **Materials Research**, vol. 10, n. 3, September 2007.
2. EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O.E. “Evaluation of the Thermal Comfort in Contact with Ceramic Tiles”. **Engenharia Térmica (Thermal Engineering)**, vol. 5, n. 2, p. 92-98 December 2006.
3. EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O.E.; OLIVEIRA, PASCHOAL. J. O. A.; JUNIOR, C. CHIABI. “Thermal Comfort of Ceramic Floor Tile”. **American Ceramic Society Bulletin**, vol. 85, n. 6, June 2006. Ohio, Estados Unidos.

Artigos Completos Publicados em Anais de Congressos

1. EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O.E.; FOLGUERAS. M. V. “Elaboração de um dispositivo experimental para o estudo da avaliação do conforto térmico no contato com revestimentos cerâmicos”. In: 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007, Salvador-BA. Anais do 51º CBC - Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007. Home page: http://www.abceram.org.br/asp/51cbc/51cbc_evn_txting.asp
2. EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O.E.; OLIVEIRA, A. P. N.; PASCHOAL, J. O. A. **Influence of porosity on thermal properties of ceramic floor tiles**. In: **QUALICER 2006 – IX World Congress on Ceramic Tile Quality**, 2006, Castellón/Spain. QUALICER 2006- IX World Congresso on Ceramic Tile Quality, 2006, Castellón/Spain, 2006, v. 3, p. 409-419, Referências adicionais: Espanha/Inglês. Meio de divulgação: Impresso. Home page: <http://www.qualicer.org>.
3. EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O.E. “Conforto térmico de revestimentos cerâmicos”. In: **CEBCIMAT 2006 - 17º Congresso Brasileiro de Ciência e Engenharia dos Materiais**, 2006, Foz do Iguaçu. Anais do CEBCIMAT 2006, 2006. Referências adicionais: Brasil/Português. Meio de divulgação: Meio magnético. Home page: <http://www.cbecimat.com.br>.

4. EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O.E. “Avaliação do conforto térmico no contato com pisos cerâmicos”. In: **ENCIT 2006 - 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. Soc. of Mechanical Sciences and Engineering- Braz. Soc. of Mechanical Sciences and Engineering - ABCM**, 2006, Curitiba/Brazil, Dec. 5-8, 2006. Anais do ENCIT 2006, 2006. Referências adicionais: Brasil/Português. Meio de divulgação: Meio magnético. Home page: [http:// www.abcm.org.br/encit2006/](http://www.abcm.org.br/encit2006/)

5. EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O.E. “Conforto térmico de pisos cerâmicos”. In: **ENTAC 2006 – XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2006, Florianópolis. Anais do ENTAC 2006, 2006. Referências adicionais: Brasil/Português. Meio de divulgação: Meio magnético. Home page: <http://www.antac.org.br/entac2006/>

6. EFFTING, C.; ALARCON, O.E.; GÜTHS, S.; FOLGUERRAS, M.V.; OLIVEIRA; A.P.N. “Low thermal conductivity ceramic floor tiles obtained from ceramic bodies with residue incorporation”. In: **Itália- International Ceramic Federation - 2nd International Congress on Ceramics**, Verona, 2008.

Resumo expandido publicado em anais de congressos

1. EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O.E. “Evaluation of the processing conditions in development of ceramic floor tiles with thermal comfort in contact”. In: **Brazilian MRS Meeting 2006 - V Encontro da SBPMAT - Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais**, 2006, Florianópolis - SC. Anais do Brazilian MRS Meeting, 2006.

Resumos publicados em anais de congressos

1. EFFTING, C.; ALARCON, O.E.; GÜTHS, S.; FOLGUERRAS, M.V.; OLIVEIRA; A.P.N. “Low thermal conductivity ceramic floor tiles obtained from ceramic bodies with residue incorporation”. In: **Itália- International Ceramic Federation - 2nd International Congress on Ceramics**, Verona, 2008.

2. EFFTING, C.; GÜTHS, S.; ALARCON, O.E.; OLIVEIRA, FOLGUERAS. M. V. “Microstructure characterization of ceramic floor tiles with the incorporation of wastes from ceramic tile industries”. In: **QUALICER 2008 – X World Congresso on Ceramic Tile Quality**, 2008, Castellón/Spain. **QUALICER 2008- X World Congresso on Ceramic Tile Quality**,

2008, Castellón/Spain, 2008, v. 3, p. 409- 419, Referências adicionais: Espanha/Inglês. Meio de divulgação: Impresso. Home page: <http://www.qualicer.org>.

Participação em eventos

1. Brazilian MRS Meeting 2006 - **V Encontro da SBPMAT** - Sociedade Brasileira de Materiais. Encontro da SBPMAT - Sociedade Brasileira de Materiais, Florianópolis / SC, 2006.
2. ENCIT 2006 - **11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering**. Soc. of Mechanical Sciences and Engineering- Braz. Soc. of Mechanical Sciences and Engineering - ABCM, 2006, Curitiba/Brazil, Dec. 5-8, 2006.
3. CEBCIMAT 2006 - **17^o Congresso Brasileiro de Ciência e Engenharia dos Materiais**, Foz do Iguaçu, 2006.