

**JUDSON RICARDO RIBEIRO SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE MASSAS CERÂMICAS E SUAS  
INFLUÊNCIAS NAS PROPRIEDADES FINAIS DOS REVESTIMENTOS  
CERÂMICOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Área de Concentração: Engenharia e Ciências dos Materiais, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Kleber Franke Portella

**CURITIBA**

**2005**

## DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado àquelas pessoas que sempre acreditaram, apoiaram e incentivaram:

**Minha mãe, Lucí**

**Minha esposa, Leila**

**Minha filha, Julia**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Primeiramente a Paulo Bordignon (in memorian), maior incentivador;

Ao meu orientador Dr. Kleber Franke Portella, pelo apoio, orientação e incentivo.

Ao Dr. Sidney Antônio Pianaro (UEPG – PR) e à Dra. Helena Maria Wilhelm (LACTEC), pelas contribuições.

Aos meus queridos amigos, Buri e Daiana, por terem me hospedado com tanto carinho em sua casa nos dias de aula.

Ao pessoal da Eliane Revestimentos Cerâmicos: Wilson Tanida, Jorge Piva, Olvacir Sprícigo, Wesley, Fabrízio, Diego, Sérgio Ruzza, Rafael Locks e Cláudio Modesto, pelo apoio e contribuição.

Às amigas, também da Eliane: Rosângela Leal e Cláudia Rubim, pelas longas conversas de descontração, apoio e incentivo, e que foram muito importantes.

Ao amigo João Celso Romachelli, por muitos dos conhecimentos adquiridos e pelas trocas de informações.

Ao meu irmão William, pelo apoio e incentivo, principalmente na fase inicial.

À minha amiga Deise, pelas conversas de horas e horas sobre a vida e que sempre foram muito importantes para mim.

Aos amigos do LACTEC: Alex, Orlando e Giseli, pelo apoio.

E a todos aqueles não citados, mas que acreditaram, verdadeiramente, na minha capacidade e àqueles que contribuíram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E CÓDIGOS.....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CERÂMICOS.....	5
2.2 ALGUMAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS.....	5
2.3 MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS.....	7
2.3.1 Argilas.....	7
2.3.2 Feldspatos.....	8
2.3.3 Materiais Fundentes.....	9
2.3.3.1 Filitos.....	9
2.3.3.2Talcos.....	10
2.4 MASSAS CERÂMICAS.....	11
2.5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS.....	13
2.5.1 Moagem.....	14
2.5.1.1 Moinho de Bolas.....	14
2.5.1.2 Densidade e Viscosidade da Barbotina.....	17
2.5.2 Atomização.....	18
2.5.2.1 Atomizadores (Spray-Drier).....	19
2.5.2.2 Defeitos relacionados a atomização.....	20
2.5.3 Prensagem (compactação).....	20
2.5.3.1 Prensas.....	21
2.5.3.2 Considerações sobre a Prensagem.....	23
2.5.4 Secagem.....	25

2.5.4.1 Secadores.....	25
2.5.5 Esmaltação e Decoração.....	26
2.5.6 Sinterização (queima).....	27
2.5.6.1 Fornos.....	31
2.5.6.2 Controles da operação de queima.....	32
2.6 PROPRIEDADES FINAIS DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS.....	32
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
3.1 OBJETIVO.....	34
3.2 DESENVOLVIMENTO.....	34
3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS E FÍSICO- QUÍMICA DAS MASSAS CERÂMICAS.....	36
3.4 CARACTERIZAÇÃO DURANTE AS ETAPAS DO PROCESSO FABRIL.....	37
3.4.1 Moagem.....	37
3.4.2 Atomização.....	39
3.4.3 Conformação por Prensagem.....	40
3.4.4 Secagem e Queima.....	41
3.4.4.1 Ensaios realizados após a queima.....	42
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>45</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS E MASSAS CERÂMICAS.....	45
4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS MASSAS CERÂMICAS E PARÂMETROS DO PROCESSO INDUSTRIAL.....	50
4.2.1 Distribuição do Tamanho de Partículas das Massas Cerâmicas.....	50
4.2.2 Distribuição Granulométrica do Pó Atomizado.....	52
4.2.3 Diagramas de Gresificação.....	54
4.2.4 Caracterização das Peças Cerâmicas a Cru.....	58
4.2.5 Caracterização das Peças após a Queima.....	59
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>63</b>

**6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....65**

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – CLASSIFICAÇÃO DOS PRODUTOS PELA ABSORÇÃO DE ÁGUA SEGUNDO A NORMA ASTM/ANSIA.137.1.....	6
TABELA 2.2 – CLASSIFICAÇÃO DOS PRODUTOS PELOS GRUPOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA SEGUNDO NORMA ISO 10545.....	6
TABELA 3.1 – COMPOSIÇÃO DA MASSA M-155.....	35
TABELA 3.2 – COMPOSIÇÃO DA MASSA FP-58.....	35
TABELA 3.3 – CARREGAMENTO DAS CARGAS DOS MOINHOS.....	38
TABELA 4.1 – ANÁLISE QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS DA MASSA M-155.....	45
TABELA 4.2 – ANÁLISE QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS DA MASSA FP-58.....	46
TABELA 4.3 – ANÁLISE QUÍMICA DAS MASSAS CERÂMICAS: M-155 E FP-58.....	47
TABELA 4.4 – DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS DA MASSA M-155.....	50
TABELA 4.5 – DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS DA MASSA FP-58.....	50
TABELA 4.6 – VARIAÇÃO NO TEMPO DE MOAGEM DA MASSA FP-58.....	52
TABELA 4.7 – VALORES DE ABSORÇÃO, RETRAÇÃO E DAP. QUEIMADO DA MASSA M-155 EM RELAÇÃO ÀS TEMPERATURAS.....	55
TABELA 4.8 – VALORES DE ABSORÇÃO, RETRAÇÃO E DAP. QUEIMADO DA MASSA FP-58 EM RELAÇÃO ÀS TEMPERATURAS.....	55



TABELA 4.9 – DIFERENTES PATAMARES DE QUEIMA PARA A MASSA FP-58.....60

TABELA 4.10 – RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS FÍSICOS.....62

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS-VIA ÚMIDO.....	13
FIGURA 2.2 – MOINHOS DE BOLAS.....	15
FIGURA 2.3 - GRÁFICO DO RESÍDUO DE MOAGEM.....	17
FIGURA 2.4 – AGLOMERADO.....	18
FIGURA 2.5 – ATOMIZADOR.....	20
FIGURA 2.6 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	22
FIGURA 2.7 – PRENSA HIDRÁULICA.....	23
FIGURA 2.8 – ESQUEMA DE UM SECADOR TIPO VERTICAL.....	26
FIGURA 2.9 – LINHA DE ESMALTAÇÃO.....	27
FIGURA 2.10 – ESTÁGIOS DE SINTERIZAÇÃO.....	29
FIGURA 2.11 - MECANISMOS DE SINTERIZAÇÃO.....	29
FIGURA 2.12 – FORNO A ROLO.....	31
FIGURA 4.1 – COMPARAÇÃO DE COR DAS DUAS MASSAS.....	48
FIGURA 4.2 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PÓ ATOMIZADOR DA MASSA M-155.....	53
FIGURA 4.3 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PÓ ATOMIZADOR DA MASSA FP-58.....	54

FIGURA 4.4 – DIAGRAMA DE GRESIFICAÇÃO DA MASSA M-155.....	56
FIGURA 4.5 – DIAGRAMA DE GRESIFICAÇÃO DA MASSA FP-58.....	56
FIGURA 4.6 – DIAGRAMA COMPARATIVO ENTRE AS MASSAS M-155 E FP-58.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E CÓDIGOS

$\mu\text{m}$  – Micrometros.

AAD – Alumina de Alta Densidade.

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica.

ANSI – American National Standard Specification for Ceramic Tiles.

Argila Cr – Argila Curiúva (município de Curiúva – PR).

Argila F – Argila Fazendinha (município de Tamarana – PR).

Argila M3 - Sem autorização de descrição pela indústria, porém sua análise química se encontra na página 43.

Argila Ort – Argila Ortigueira (município de Ortigueira – PR).

Argila Ort B – Argila Ortigueira Branca (município de Ortigueira – PR).

Argila TV – Sem autorização de descrição pela indústria, porém sua análise química se encontra na página 43.

ASTM - American Society for Testing and Materials.

Dap – Densidade aparente.

Filito BC - Sem autorização de descrição pela indústria, porém sua análise química se encontra na página 42.

Filito LV – Sem autorização de descrição pela indústria, porém sua análise química se encontra na página 42.

FRX – Fluorescência de Raios X.

$\text{g}/\text{cm}^3$  – Gramas por centímetro cúbico.

GLP – Gás Liquefeito de petróleo.

h – horas.

ISO - International Standard for Organization.

$\text{Kgf}/\text{cm}^2$  – Quilogramas-força por centímetro quadrado.

Lbf – Libras-força.

m – Metros.

mm – Milímetros.

MPa – Mega Pascal.

N – Newton.

N/mm<sup>2</sup> - Newton por milímetro quadrado.

°C – Graus Celsius.

s – segundos.

Talco CR – Sem autorização de descrição pela indústria, porém sua análise química se encontra na página 42.

## RESUMO

A competitividade nos mercados consumidores de revestimentos cerâmicos, tanto o mercado interno quanto o externo, tem obrigado as indústrias a investir em produtos cada vez mais sofisticados, seja no “*design*” ou na tecnologia, mas principalmente nas propriedades finais, como por exemplo, a absorção de água e a resistência mecânica. Sendo assim, este trabalho procura diferenciar as propriedades finais de dois produtos cerâmicos, um tipo semi-vitrificado (ou semi-poroso) com absorção de água de 6 a 10%, pertencente ao grupo BIIb, e outro vitrificado, com absorção de água menor que 3%, pertencente ao grupo BIb e que apresenta maior resistência mecânica que o primeiro. O raciocínio usado neste trabalho foi fazer uma rastreabilidade destes dois produtos, começando pela caracterização química das matérias-primas onde foi possível analisar a quantidade de álcalis e elementos refratários, em seguida a caracterização físico-química das duas massas cerâmicas, para a análise também do teor de álcalis, avaliando os comportamentos fundentes entre elas e correlacionando-os com os desempenhos dos produtos acabados, além de analisar e entender as diferenciações das variáveis em todas as etapas do processamento de cada um dos produtos, como moagem, atomização, prensagem, secagem, esmaltação e queima. Os ensaios realizados durante este trabalho foram: análise química pelo método de fluorescência de raios X, distribuição granulométrica a laser, construção de curvas de gresificação, densidade aparente do material antes e após a queima, absorção de água e resistência mecânica medida pela carga de ruptura. Os parâmetros utilizados para a analogia das propriedades finais foram avaliados com base nas normas ISO 10545 e ASTM para absorção de água e resistência mecânica respectivamente. Com base nos resultados obtidos, observou-se que para a fabricação dos revestimentos cerâmicos com absorção de água inferior a 3% e carga de ruptura com valores acima de 1470,9 N (que a norma ASTM exige), as matérias-primas, e conseqüentemente as massas cerâmicas, devem apresentar caráter mais fundente e, aliado a um processamento adequado para aumentar a densificação das peças cerâmicas, chegando ao produto final com propriedades mais nobres.

## ABSTRACT

Growing competitiveness in both external and internal markets of ceramic tiles has induced industries to invest in more and more sophisticated products, whether in design or in technology, but mostly in their final properties, e.g. water absorption and mechanical resistance. Therefore this work tries to establish the differences between final properties of two ceramic products - the first one of semi-vitrified (or half-porous) kind, with water absorption range of 6 to 10%, belonging to the B11b group, and the second one of the vitrified type, with water absorption range lower than 3%, belonging to B1b group, which shows greater mechanical resistance than the former. Reasoning used in this work was to proceed with a tracking of both above mentioned products, starting by chemical characterization of raw-materials whereby it was possible to analyze the amount of "alkalis" and refractory elements followed by a physical-chemical characterization of both ceramic pastes, also for determining "alkalis" content and to evaluate melting properties between them, establishing a correlation with physical results performance of finished by-products, thus analyzing and understanding variables differentiation in all steps of processing each one of the products, like grinding, atomization, compressing, drying, glazing and firing. Essays performed during this work were: X-rays fluorescence method for chemical analysis, laser granulometric distribution, building of gresification curve, material apparent density before and after sintering, water absorption and mechanical resistance measured by rupture charge. Parameters used for final properties analogy were according to ISO 10545 and ASTM norms for water absorption and mechanical resistance evaluations. Based on results obtained, we've observed that, to manufacture ceramic tiles (coatings) with water absorption of less than 3% and rupture charge value above 1470,9 N (as per ASTM norm), raw-material and consequently ceramic pastes must have a more melting character and an adequate process in order to increase densification of ceramic pieces, reaching a final product of more noble properties.