

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE DE CERÂMICAS DE PISO ATRAVÉS DE ENSAIOS NÃO SUBJETIVOS

Rafael Ariza Gonçalves

Faculdade de Engenharia Mecânica – UFU. Av. João Naves de Ávila 2121 – 38400-902. Ltm-ariza@ufu.br

José Daniel Biasoli de Mello

Faculdade de Engenharia Mecânica – UFU. Av. João Naves de Ávila 2121 – 38400-902. Ltm-demello@ufu.br

Kassiana Maldonado Aguiar

Faculdade de Engenharia Mecânica – UFU. Av. João Naves de Ávila 2121 – 38400-902. Maldonadoaguiar@yahoo.com.br

Francisco Guimarães da Rosa

Maximiliano Gaidizinsk – Revestimentos Cerâmicos Eliane S.A.

RESUMO. O método de avaliação da resistência à abrasão dos pisos cerâmicos do tipo vidrado, realizada pelos laboratórios credenciados pelo IMETRO, é o método PEI. O método PEI no entanto, apresenta alguns problemas devido a sua subjetividade por ser fortemente dependente da acuidade visual do avaliador, além do resultado ser influenciado pela coloração e serigrafia aplicada às cerâmicas. Neste trabalho foram ensaiadas cerâmicas do tipo vidrado reforçadas com silicato de zircônio, com variação do tamanho e da fração volumétrica da fase de reforço. A resistência a abrasão foi avaliada através do método PEI e através do ensaio de microabrasão. Através dos coeficientes de desgaste obtidos por microabrasão foram calculados os coeficientes de desgaste relativos aos padrões de dureza Mohs. Adicionalmente foram medidas as durezas Mohs. Os resultados apresentados são que o método PEI não foi eficaz para distinguir as cerâmicas estudadas mas que o ensaio de microabrasão conseguiu distinguir as cerâmicas. Através dos coeficientes de desgaste relativo, foi possível comparar as resistências ao desgaste relativamente aos padrões de dureza Mohs.

Palavras-chave: cerâmica, abrasão, microabrasão e PEI.

1. INTRODUÇÃO

Os pisos em geral, são componentes sujeitos ao desgaste, uma vez que abrasivos, em geral a sílica, atuam sobre os mesmos por ação dos pés.

As cerâmicas de piso devem portanto apresentar entre outras características a resistência ao desgaste, que é um dos fatores de manutenção da integridade superficial das mesmas.

Os pisos cerâmicos atuais, do tipo vidrado, consistem de substratos cerâmicos inertizados, revestidos superficialmente por esmaltes vitro-cerâmicos. Esses esmaltes são adequados para o revestimento dos pisos cerâmicos uma vez que podem suportar a ação de agentes abrasivos e tensões mecânicas elevadas, como mostrado por Leonelli et al (1996).

O esmalte é também o responsável pelo fator estético, que é o principal apelo das cerâmicas revestidas. De acordo com Doneda, o aspecto estético, embora subjetivo, é o responsável pela existência do produto, pois é ele que conduz à aceitação comercial, sem o qual a sua produção se tornaria inviável.

A qualidade dos revestimentos cerâmicos está intimamente ligada à satisfação do usuário, isto é, a adequação desses materiais ao uso a que são destinados e ao “design”. Portanto a vida útil dos pisos cerâmicos está relacionada não só à resistência a abrasão mas também à manutenção do seu aspecto estético.

O método de avaliação da resistência à abrasão dos pisos cerâmicos do tipo vidrado, realizada pelos laboratórios credenciados pelo IMETRO, é o método PEI, normalizado pela ABNT através da norma NBR 1318 (1997). O método PEI no entanto, apresenta alguns problemas devido a sua subjetividade por ser fortemente dependente da acuidade visual do avaliador, além do resultado ser influenciado pela coloração e pela serigrafia aplicada às cerâmicas.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a resistência à abrasão de cerâmicas de piso através dos ensaios abrasométrico PEI e através do ensaio de microabrasão.

2. - MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

2.1 – Materiais

Foram produzidas amostras cerâmicas do tipo esmaltada reforçadas com silicato de zircônio. O esmalte cerâmico utilizado é de uso industrial corrente, usado em linhas de produção e o silicato de zircônio por ser utilizado em cerâmicas destinadas a situações de alto tráfego e/ou poder abrasivo. As cerâmicas foram produzidas em unidade industrial, para melhor representar um produto comercial.

A seleção do silicato de zircônio foi feita por peneiras, obtendo-se as granulometrias $1,2\ \mu\text{m}$, $7,6\ \mu\text{m}$, $28\ \mu\text{m}$, $53\ \mu\text{m}$ e $69\ \mu\text{m}$.

A fase de reforço, para cada granulometria, foi misturada ao esmalte em quantidades tais que se atingisse as frações volumétricas de 5%, 10%, 20% e 30%. Problemas técnicos impediram a obtenção de amostras para todas as frações volumétricas.

As misturas foram aplicadas em substratos cerâmicos industriais com engobes também industriais e queimadas pelo processo de monoqueima em forno túnel a gás juntamente com produtos de linha, tomando-se o cuidado de se utilizar as duas fileiras centrais por causa do menor gradiente de temperatura.

2.2 Métodos experimentais

As cerâmicas foram submetidas aos ensaios abrasométrico PEI, microabrasão Calowear e de dureza Mohs.

2.2.1 Ensaio Abrasométrico PEI

O método PEI consiste em submeter os pisos cerâmicos à abrasão, como descrito de forma resumida a seguir:

Numa placa suporte para um máximo de nove corpos-de-prova, são presos na sua superfície inferior cilindros ocos revestidos por borracha. Através de alças, são fixados na base inferior dos cilindros os corpos-de-prova a serem ensaiadas com a superfície vidrada voltada para cima. Através de orifícios na placa, uma carga abrasiva é colocada para cada corpo-de-prova. A carga consiste de 70,0 g de esferas de aço de 5 mm de diâmetro; 52,5 g de esferas de aço de 3 mm de diâmetro; 43,75 g de esferas de aço de 2 mm de diâmetro; 8,75 g de esferas de aço de 1 mm de diâmetro; 3,0 g de óxido de alumínio fundido de grana 80 (tamanho de grão: 0,1 a 0,25 mm) e 20 ml de água destilada ou deionizada. A placa suporte gira a 300 rpm com uma excentricidade de 22,5 mm. A Figura 1 mostra esquematicamente a montagem.

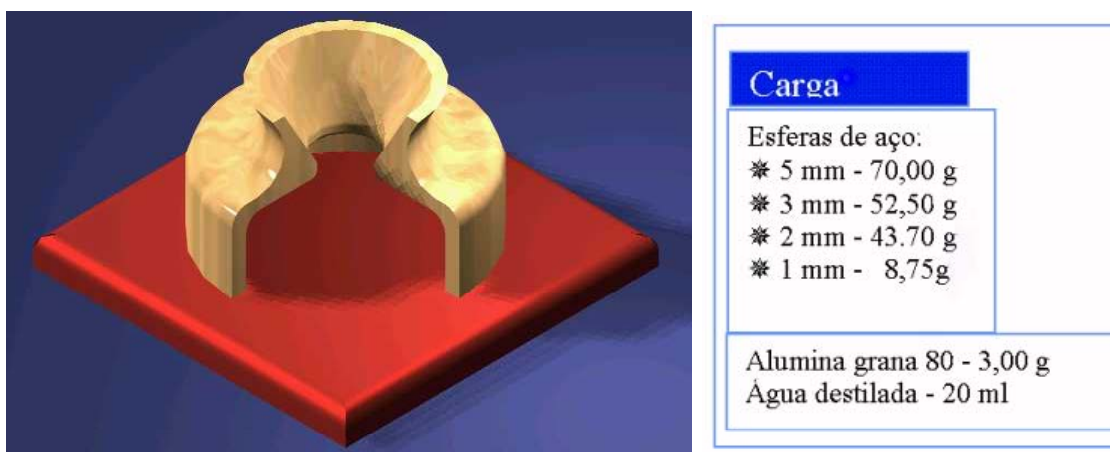


Figura 1. Representação esquemática de um corpo-de-prova fixado em uma câmara de desgaste do abrasômetro PEI e a composição da carga abrasiva

O número de ciclos exigidos para cada estágio de abrasão é de 100, 150, 600, 750, 1500, 2100, 6000 e 12000. Posteriormente ao ensaio, as amostras são lavadas e avaliadas. A avaliação é visual, onde um corpo-de-prova ensaiado é misturado a três não ensaiados, colocados numa caixa 61 x 61 x 61 cm com iluminamento de 300 lux com um lado aberto para observação. Um observador a 2m de distância e através de uma janela a uma altura de 1,65 m, tenta identificar qual peça cerâmica foi submetido ao ensaio de abrasão, como mostrado na Figura 2.

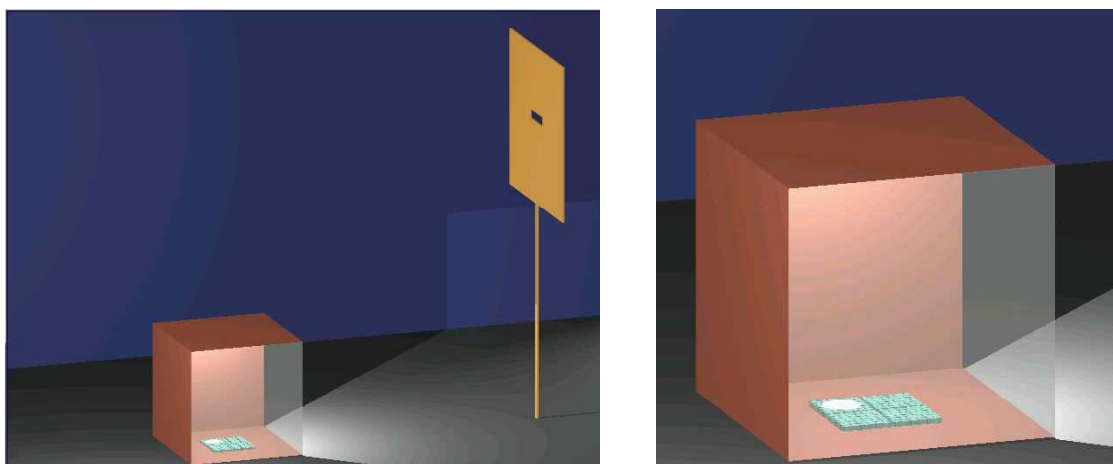


Figura 2. Representações esquemáticas de uma caixa de inspeção do ensaio abrasométrico PEI.

Uma vez identificado o corpo-de-prova que foi ensaiado, ele é classificado de acordo com a Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Classificação PEI em função da identificação da amostra abrasonada

N.º de Ciclos em que se Visualiza a Abrasão	Classificação PEI
100	0
150	I
600	II
750, 1500	III
2.100, 6.000, 12.000	IV
>12.000	V

A experiência tem mostrado que a classificação PEI de uma cerâmica pode mudar dependendo do avaliador, daí a importância de se procurar avaliar as propriedades das cerâmicas de piso através de ensaios não subjetivos.

Para a realização do ensaio abrasométrico PEI, as cerâmicas produzidas foram cortadas em quadrados de 10x10 cm, sendo oito amostras para cada combinação granulometria/fração volumétrica da fase de reforço, lavadas com água corrente, lavadas com álcool, secadas em estufa a 110 °C durante uma hora, esfriadas em dessecador por meia hora e submetidas ao ensaio como descrito acima, de acordo com os procedimentos preconizados pela ABNT através da Norma NBR 13818. Todas as combinações granulometria – fração volumétrica foram submetidas a 100, 150, 600, 750, 1500, 2100, 6000 e 12000 ciclos independentemente da sua resistência à abrasão.

Após os ensaios abrasométricos, as amostras foram lavadas em água corrente, e em seguida, com ácido clorídrico 10% (V/V), para eliminar manchas de óxido de ferro oriundas das esferas de aço da carga abrasiva, seguida de nova lavagem em água corrente, álcool e secadas como no procedimento pré ensaio.

2.2.2 Medidas de dureza Mohs

A Dureza Mohs, embora desenvolvida em 1822, continua sendo utilizada como fator de qualidade de revestimentos cerâmicos justamente por ter como princípio a resistência ao risco. Desenvolvida por Ferdinand Mohs, baseia-se na capacidade de um material riscar outro. A dureza Mohs é baseada numa escala de 1 a 10, com 1 para o talco, 2 para a gipsita, 3 para a calcita, 4 para a fluorita, 5 para a apatita, 6 para o ortoclásio, 7 para o quartzo, 8 para o topázio, 9 para o corindom e 10 para o diamante, que são os minerais padrões da escala. Deste modo, um material com um número de dureza maior é capaz de riscar outro com número de dureza menor. O método de medida consiste em deslizar o canto vivo dos minerais padrão, um a um em ordem crescente de dureza, até que se visualize o risco gerado. A dureza da amostra é a dureza do padrão anterior. A norma NBR 13818/97 anexo V , estabelece o procedimento de determinação da dureza Mohs, que é um dos métodos sugeridos para controle das características da superfície (esmalte) das cerâmicas revestidas.

2.2.3 Ensaio de Microabrasão

O ensaio de microabrasão Calowear (1997) consiste em fazer rolar uma esfera, sob gotejamento de uma dispersão aquosa de um abrasivo, sobre a superfície objeto de estudo, gerando uma calota de desgaste. A figura 3 mostra esquematicamente o ensaio.

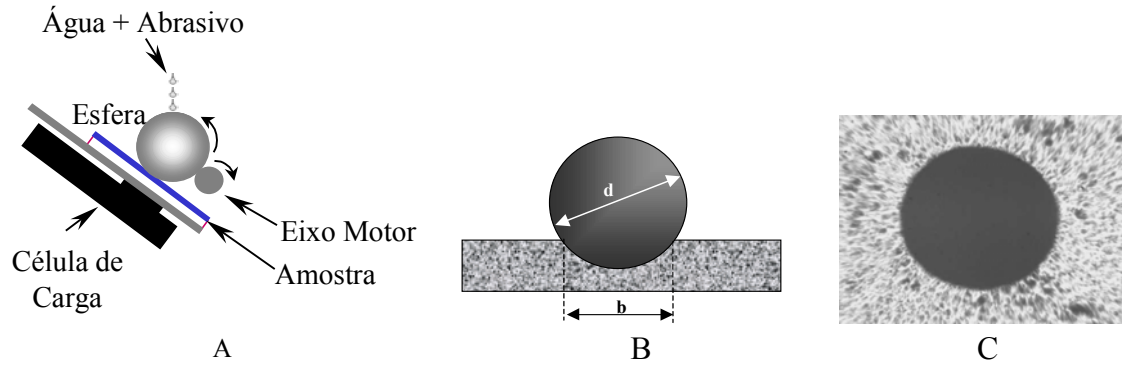


Figura 3. (A) Representação esquemática do ensaio de microabrasão Calowear, (B) Corte da esfera e calota gerada e (C) Exemplo de calota de desgaste.

A avaliação do desgaste é feita através do coeficiente K_S , obtido usando-se a equação 1, onde b é o diâmetro da calota, L a distância deslizada, F_N a força normal aplicada e d o diâmetro da esfera.

$$K_S = \frac{\pi \cdot b^4}{32 \cdot L \cdot F_N \cdot d} \quad (1)$$

O diâmetro da esfera e a força normal são impostos, a distancia deslizada e o diâmetro da calota de desgaste gerada, são parâmetros medidos e variam em função dos tempos de ensaio. Os diâmetros das calotas são medidos através de um sistema ótico próprio acoplado ao equipamento.

A esfera utilizada é de aço ASTM 52100, com diâmetro de 20 mm. A configuração foi ajustada para uma força normal de 0,16 N. Os ensaios foram realizados nos tempos de 1, 2 e 3 minutos, sendo três ensaios para cada tempo, perfazendo nove ensaios de microabrasão em cada amostra cerâmica. Os abrasivos utilizados foram alumina e o carbeto de silício dispersos em água na concentração de 0,75 g/ml

As calotas de desgaste geradas foram medidas utilizando-se um analizador de imagem Image-Pro Plus acoplado a um banco metalográfico Neophot 21 Carl Zeiss Jena. De posse dos valores medidos, foram calculados os coeficientes de desgaste K_S utilizando-se uma planilha Excel.

2.2.4. Coeficiente de desgaste equivalente

Para se obter uma referência da resistência ao desgaste das cerâmicas, foram calculados os coeficientes de desgaste equivalente K_E através das equações 2 e 3, obtidas por Gonçalves et al (2002), que correlacionam os coeficientes de desgaste K_S , obtidos por microabrasão de um material qualquer, aos coeficientes de desgaste dos padrões de dureza Mohs, também obtidos por microabrasão.

$$K_E = \frac{-[\ln(K_C) + 19,57]}{0,73} \quad (\text{Para o SiC}) \quad (2)$$

$$K_E = \frac{-[\ln(K_C) + 19,75]}{0,93} \quad (\text{Para o Al}_2\text{O}_3) \quad (3)$$

Os valores dos coeficiente de desgaste equivalente K_E foram calculados utilizando-se as equações 2 e 3 para os nove resultados dos coeficiente de desgaste K_S obtidos experimentalmente, para cada amostra cerâmica.

3 RESULTADOS e CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios abrasométrico PEI e de dureza Mohs são apresentados na Tabela 2 e os resultados dos ensaios de microabrasão (K_S) e os coeficientes de desgaste calculados (K_E) são apresentados na Tabela 3

Tabela 2. Resultados dos ensaios abrasométrico PEI e de dureza Mohs

Identificação	Granulometria (μm)	Fração Volumétrica (%)	Classificação PEI	Dureza Mohs
1205	1,2	05	III	5
1210	1,2	10	IV	5
7605	7,6	05	III	4
7610	7,6	10	III	4
7620	7,6	20	III	5
7630	7,6	30	III	8
2805	28	05	III	4
2810	28	10	III	4
2820	28	20	III	5
5305	53	5	III	4
5310	53	10	III	5
6905	69	5	III	5
6910	69	10	III	4
6920	69	20	III	6

Tabela 3. Coeficientes de desgaste obtidos por microabrasão e coeficientes de desgaste equivalentes.

Identificação	Coeficiente de desgaste K_S (N/m^2)		Coeficiente de desgaste Equivalente K_E	
	SiC	Al_2O_3	SiC	Al_2O_3
1205	$1,92\text{E-}11 \pm 1,69\text{E-}12$	$4,23\text{E-}12 \pm 3,04\text{E-}13$	$6,99 \pm 0,12$	$6,92 \pm 0,07$
1210	$1,80\text{E-}11 \pm 1,71\text{E-}12$	$3,35\text{E-}12 \pm 7,54\text{E-}13$	$7,07 \pm 1,28$	$7,19 \pm 0,22$
7605	$2,09\text{E-}11 \pm 1,27\text{E-}12$	$4,43\text{E-}12 \pm 6,95\text{E-}13$	$6,87 \pm 0,08$	$6,88 \pm 0,14$
7610	$1,85\text{E-}11 \pm 2,44\text{E-}12$	$4,76\text{E-}12 \pm 1,33\text{E-}12$	$7,04 \pm 0,18$	$6,83 \pm 0,31$
7620	$1,53\text{E-}11 \pm 3,65\text{E-}12$	$4,15\text{E-}12 \pm 2,25\text{E-}12$	$7,30 \pm 0,31$	$7,05 \pm 0,48$
7630	$2,19\text{E-}11 \pm 3,19\text{E-}12$	$6,15\text{E-}12 \pm 1,85\text{E-}12$	$6,81 \pm 0,20$	$6,56 \pm 0,33$
2805	$2,08\text{E-}11 \pm 1,28\text{E-}12$	$5,03\text{E-}12 \pm 8,45\text{E-}13$	$6,88 \pm 0,08$	$6,75 \pm 0,19$
2810	$1,95\text{E-}11 \pm 1,37\text{E-}12$	$2,89\text{E-}12 \pm 2,18\text{E-}12$	$6,97 \pm 0,09$	$6,85 \pm 0,23$
2820	$1,64\text{E-}11 \pm 2,54\text{E-}12$	$4,81\text{E-}12 \pm 1,44\text{E-}12$	$7,20 \pm 0,19$	$6,82 \pm 0,28$
5305	$2,46\text{E-}11 \pm 1,95\text{E-}12$	$4,95\text{E-}12 \pm 4,62\text{E-}13$	$6,65 \pm 0,10$	$6,75 \pm 0,09$
5310	$2,29\text{E-}11 \pm 2,31\text{E-}12$	$4,40\text{E-}12 \pm 4,80\text{E-}13$	$6,75 \pm 0,14$	$6,88 \pm 0,11$
6905	$2,22\text{E-}11 \pm 1,79\text{E-}12$	$5,22\text{E-}12 \pm 1,82\text{E-}13$	$6,79 \pm 0,12$	$6,69 \pm 0,03$
6910	$2,35\text{E-}11 \pm 2,12\text{E-}12$	$4,77\text{E-}12 \pm 9,42\text{E-}13$	$6,71 \pm 0,12$	$6,81 \pm 0,27$
6920	$2,61\text{E-}11 \pm 3,69\text{E-}12$	$4,85\text{E-}12 \pm 4,97\text{E-}13$	$6,57 \pm 0,20$	$6,77 \pm 0,11$

A análise da Tabela 2 mostra que os resultados dos ensaios abrasométricos PEI não conseguem distinguir as cerâmicas e não apresentam nenhuma correlação com as respectivas durezas Mohs. Os ensaios de microabrasão por outro lado mostram resultados bastante diversos para as cerâmicas estudadas como pode ser visto na Figura 4 obtida a partir da Tabela 3.

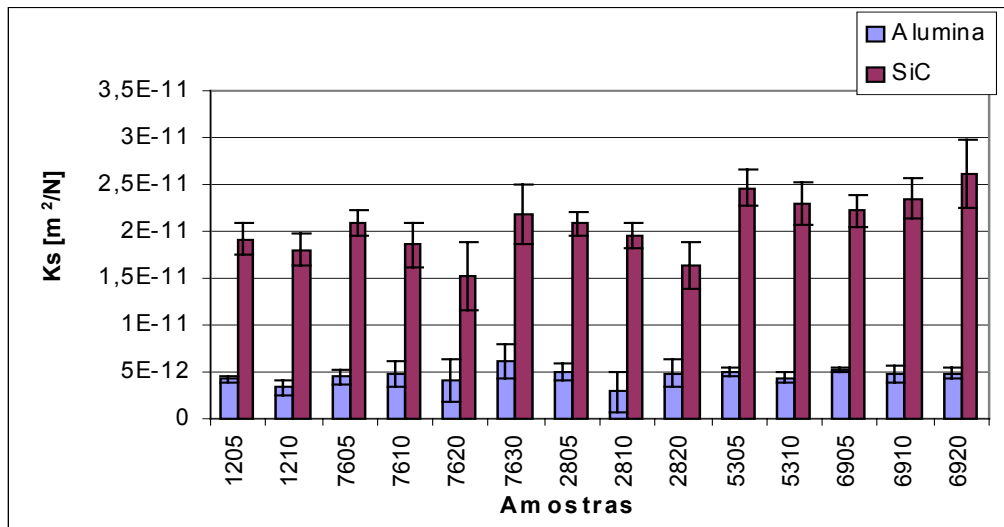


Figura 4. Coeficientes de desgaste obtidos por microabrasão.

A Figura 4 mostra que os coeficientes de desgaste K_s obtidos com o abrasivo SiC apresentam uma ordem de grandeza maior que os obtidos com o abrasivo Al_2O_3 . Isto se deve ao fato da maior dureza do SiC. Vê-se também que os coeficientes de desgaste obtidos com o SiC distinguem melhor as resistências ao desgaste das cerâmicas, podendo-se concluir disso que o ensaio de microabrasão é mais eficaz que o ensaio abrasométrico PEI para avaliar a resistência à abrasão das cerâmicas.

O coeficiente de desgaste equivalente K_E por outro lado, permite quantificar as resistências ao desgaste dos diversos materiais em relação aos minerais padrões da escala de dureza Mohs ou seja, o número obtido indica que a referida cerâmica se comporta na condição do ensaio como um mineral de dureza igual a esse número, para cada abrasivo utilizado.

O coeficiente de desgaste relativo pode portanto contribuir para a caracterização de cerâmicas, de modo não subjetivo.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Maximiliano Gaidzinsk Revestimentos Cerâmicos Eliane S.A. pelo fornecimento das cerâmicas e ao CNPq – PADCT III pelo financiamento.

5 REFERÊNCIAS

- Leonelli, C. e Manfredini, T., Vidrados cerâmicos para queima rápida, Cerâmica Industrial, Vol 1, n 3, 1996]
- Doneda, C., Efeito de Aditivos Endurecedores em Fritas Cerâmicas de Monoqueima Rápida: Relação entre Viscosidade, Microestrutura e Resistência a Abrasão, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis – SC, 1993.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma NBR 13818. Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Abril/1997, 78 p.]

Calowear Tester: Directions For Use”, Centre Suisse D’electronique Et De Microtechnique SA, Switzerland, 1997.

Gonçalves, R. A., de Mello J. D. B., Aguiar, K. M. and da Rosa F. G., “Equivalent Wear Resistance: A New Way to Assess Abrasive Wear Resistance of Ceramic Tiles”, Proceedings of the VII Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico, Qualicer 2002, Castellón, Spain, pp. 217-222.

5 DIREIROS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

Abstract. *The method of evaluation of the abrasion resistance of glassed type ceramic floors, carried through for the credential laboratories for IMETRO is PEI tests. However, PEI tests present some problems applying these tests mainly because the results depend on visual accuracy, beyond the result being influenced by the coloration applied to ceramics. In this paper, glassed type ceramics strengthened with zirconium silicate were tested, with variation of size and volumetric fraction of the reinforcement phase. The abrasion resistance was evaluated through PEI and microabrasion tests. Through the coefficients of wear gotten by microabrasion the relative coefficients of wear to the standards of Mohs hardness was calculated. Additionally, the Mohs hardness was measured. The presented results are that PEI test was not efficient to distinguish the studied ceramics but the microabrasion test obtained was able to distinguish then. Through the relative wear coefficients, it was possible to relatively compare the resistance wear to the standards of Mohs hardness.*

Keywords: *ceramic, abrasion, microabrasion and PEI.*