

Avaliação da Resistência ao Desgaste de Pisos Cerâmicos através da Resistência Equivalente aos Padrões de Dureza Mohs

**Rafael Ariza Gonçalves^{a*}, José Daniel Biasoli de Mello^a,
Kassiana Maldonado Aguiar^a, Francisco Guimarães da Rosa^b**

^a *Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica,
Santa Mônica s/n, 38400-902 Uberlândia - MG*

**e-mail: ltm-ariza@ufu.br*

^b *Maximiliano Gaidzinski S.A. - Eliane Revestimentos Cerâmicos*

Resumo: A classificação dos pisos cerâmicos, do ponto de vista da abrasão, é obtida pelo ensaio abrasométrico PEI. Este ensaio, no entanto, apresenta alguns problemas em virtude de ser dependente da acuidade visual de um observador e também pelo fato da visualização da região abrasada gerado pelo ensaio ser influenciada pela coloração e serigrafia aplicada aos produtos cerâmicos. Algumas tentativas de substituir o ensaio PEI tem sido feitas, mas sem lograr êxito. Neste trabalho é apresentada uma curva da resistência a abrasão, obtida por ensaio de microabrasão Calowear, dos minerais padrões de dureza Mohs. Através destes resultados se pode obter a resistência a abrasão equivalente aos minerais da escala de Mohs.

Palavras-chaves: *abrasão, microabrasão, cerâmica*

1. Introdução

ABNT classifica através da norma NBR 13818 (baseada na ISO 13006/ISO10545) as placas cerâmicas de acordo com sua absorção de água, fabricado com argila e outras matérias primas, com a face exposta vidrada ou não, e com determinadas propriedades físicas e características próprias compatíveis com sua finalidade (NBR 13818, 1997).

Os pisos cerâmicos atuais, do tipo vidrado, consistem de substratos cerâmicos inertizados, revestidos superficialmente por esmaltes. Os esmaltes apresentam características peculiares que os tornam interessantes para aplicações industriais. Todas as suas características indicam com clareza que esses materiais são adequados, em particular, para a preparação de vidrados para pisos e azulejos, uma vez que podem suportar a ação de agentes abrasivos e tensões mecânicas elevadas (Leonelli, C. e Manfredini, T., 1996).

Os vidrados cerâmicos utilizados para pisos em aplicações que requerem elevada resistência à abrasão são constituídos de uma microestrutura que os caracteriza como um material compósito (matriz vítrea e partículas de reforço).

A qualidade dos revestimentos cerâmicos também está intimamente ligada à satisfação do cliente, isto é, design e adequação desses materiais ao uso a que são destinados. Portanto, torna-se necessário, refletir sobre as características dos produtos cerâmicos que definem as expectativas do consumidor. O esmalte é responsável pelo fator estético, que um dos principais apelos das cerâmicas revestidas. O aspecto estético, embora subjetivo, é o responsável pela existência do produto, pois é ele que conduz a uma aceitação comercial, sem o qual sua produção se tornaria inviável (Doneca, C., 1993).

A avaliação da resistência ao desgaste das cerâmicas revestidas é feita pelo método PEI (NBR 13818, 1997), que é utilizado pelos laboratórios que certificam esses produtos. O método PEI consiste em submeter peças cerâmicas 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 ociosos revestidos por borracha. Através de alças, são fixados os ladrilhos cerâmicos com a superfície vidrada voltada para cima. Atra-

vés 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. O número de ciclos exigidos para cada estágio de abrasão é de 100, 150, 600, 750, 1500, 2100, 6000 e 12000. A avaliação é visual, onde um corpo-de-prova ensaiado é misturado a peças intactas, e um observador a 2 m de distância e de uma altura de 1,65 m sob um iluminamento de 300 lux. De um visor a 2 m de distância e de uma altura de 1,65 m, um observador tenta identificar qual foi submetida ao ensaio de abrasão. Os corpos-de-prova são classificados em grupos de acordo com a Tabela 1.

O método PEI apresenta uma forte subjetividade, sendo dependente da acuidade visual do observador e sofrer influência da coloração e da serigrafia das cerâmicas, fato este que é muito utilizado pela indústria para se obter produtos com classificação PEI elevada.

Algumas tentativas de substituir o ensaio PEI tem sido feitas, mas sem lograr êxito.

Barbera e colaboradores (1996) propõe um método baseado na quantificação do limite de variação admissível das propriedades superficiais além das quais o material começa mostrar sinais de degradação superficial como consequência da abrasão. Este método no entanto também esbarra numa questão subjetiva uma vez que o limite admissível é também subjetivo

Escardino e colaboradores (1996) por sua vez encontraram uma relação linear entre parâmetros das curvas de variação da refletividade e a rugosidade Ra em função dos ciclos do ensaio abrasométrico PEI. Os resultados foram obtidos em vidrados homogêneos. Gonçalves R.A. e colaboradores (2000) aplicando os mesmos procedimentos experimentais em cerâmicas comerciais, não encontraram nenhuma correlação entre os mesmos parâmetros.

O trabalho tem por objetivo apresentar uma curva dos

Tabela 1. Classificação por grupo após ensaio abrasométrico Método PEI.

Nº de Ciclos em que se Visualisa a Abrasão	Classificação PEI
100	0
150	I
600	II
750, 1500	III
2.100, 6.000, 12.000	IV
>12.000	V

coeficientes de desgaste Calowear dos minerais padrões de Mohs em função de suas durezas. Através desta curva pode-se obter a partir dos coeficientes de resistência ao desgaste calowear, obtidos para qualquer material, as resistências ao desgaste equivalentes aos minerais padrões de dureza Mohs e com isso um índice que possa contribuir na efetiva classificação das cerâmicas do ponto de vista do desgaste utilizando-se medidas não subjetivas.

2. Procedimentos Experimentais

Utilizando-se uma máquina de corte de precisão, foram cortadas lâminas de oito dos minerais padrões de dureza Mohs, gipsita, calcita, fluorita, apatita, ortoclásio, quartzo, topázio e corindom, de durezas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 respectivamente. Após os cortes, uma das faces de cada lâmina foi polida com pasta de diamante até a granulometria de 1µm e limpas utilizando-se ultrassom.

As lâminas foram então submetidas aos ensaios de microabrasão, utilizando-se um microabrasômetro Calowear.

O ensaio de microabrasão Calowear consiste em fazer rolar uma esfera, sob gotejamento de uma dispersão aquosa de um abrasivo, sobre a superfície objeto de estudo, como pode ser visto esquematicamente na Fig. 1.

Há a geração de uma calota na superfície da amostra, Fig. 2. O coeficiente de desgaste K_c pode ser obtido através da Eq. 1, onde b é o diâmetro da calota, L a distância deslizada, F_N a força normal aplicada e d o diâmetro da esfera (Calowear Tester: Directions For Use, 1997).

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

Para cada mineral padrão de Mohs foram preparadas duas laminas, que foram ensaiadas utilizando-se os

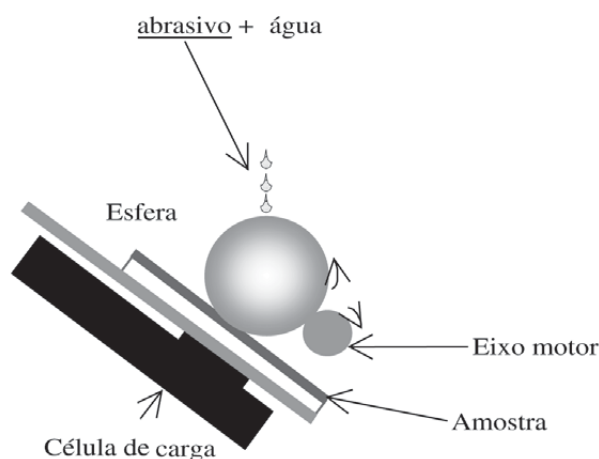


Figura 1. Representação esquemática do ensaio de microabrasão Calowear.

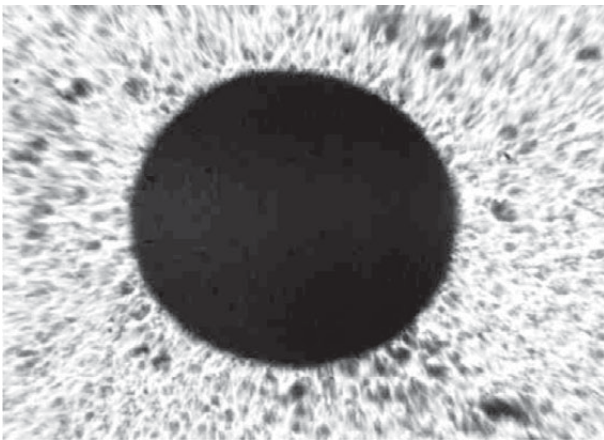
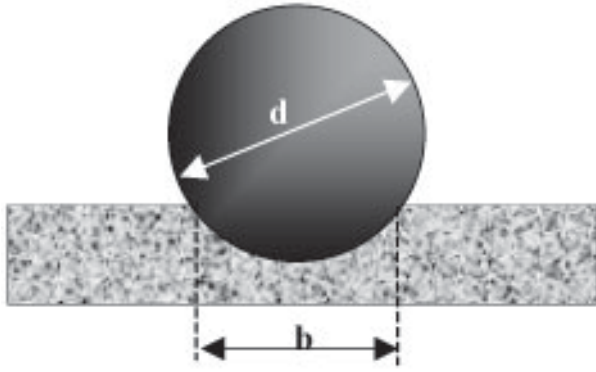


Figura 2. Calota de desgaste gerada pelo ensaio de microabrasão.

abrasivos carbeto de silício e alumina, granulometria de 5 μm e concentração de 0,75 g/ml (solução aquosa). A esfera utilizada é de aço ASTM 52100, com diâmetro de 20 mm nenhuma correlação entre os mesmos parâmetros.

A configuração foi ajustada para uma força normal de 0,16 N. Os ensaios foram realizados nos tempos de 1, 2 e 3 min, sendo três ensaios para cada tempo, perfazendo nove ensaios de microabrasão em cada lâmina por abrasivo.

As calotas de desgaste geradas foram medidas utilizando-se um analisador 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_C utilizando-se uma planilha Excell.

3. Resultados e Discussões

Com os valores obtidos dos coeficientes de desgaste dos minerais padrões de Mohs, foram construídos gráficos dos coeficientes de desgaste em função das durezas Mohs, para os abrasivos carbeto de silício e alumina, mostrados na Fig. 3.

Através da linearização das curvas obtidas, mostradas na Fig. 4 obteve-se as Eqs. 2 e 3 que possibilitam a obten-

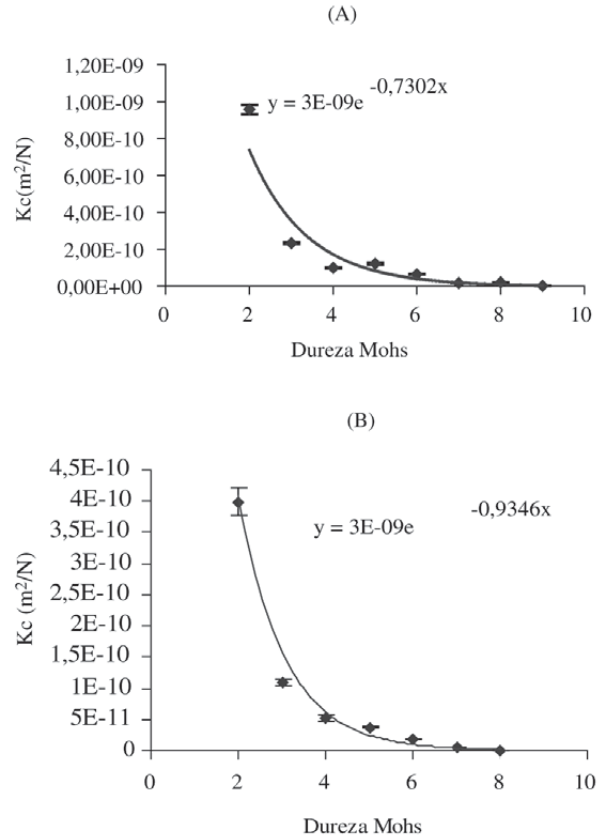


Figura 3. Curvas de variação dos coeficientes de desgaste em função da dureza dos minerais padrões de Mohs. Resultados obtidos para os abrasivos carbeto de silício (gráfico A) e alumina (gráfico B).

ção dos coeficientes de desgaste equivalentes aos padrões de Mohs (K_E) para qualquer material uma vez conhecidos os K_C .

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

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

As Eqs. 2 e 3 apresentam uma boa semelhança com a equação para a obtenção da dureza Mohs a partir da dureza ao risco obtida por esclerometria retilínea, como mostrado por Gonçalves, R.A. e colaboradores (2000).

Para demonstrar a aplicação do processo, são apresentados na Tabela 2 os coeficientes de desgaste equivalentes de quatro cerâmicas, obtidos a partir dos coeficientes de desgaste K_C . Cada resultado representa a média de nove valores. Na tabela, também são apresentadas as respectivas classificações PEI e durezas Mohs.

Podem ser vistos na Tabela 2 que os coeficientes de des-

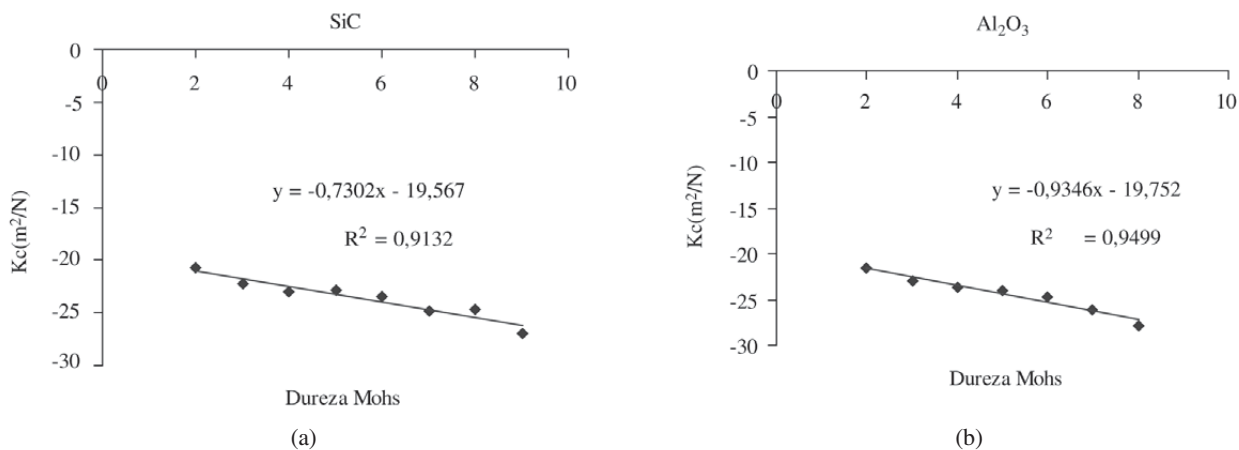


Figura 4. Correlação linear entre os coeficientes de desgaste e as dureza dos minerais padrões.

Tabela 2. Resistências ao desgaste equivalentes obtidas para o carbeta de silício e alumina.

Cerâmica	Classificação PEI	Dureza Mohs cerâmicas	$K_E(\text{SiC}) \text{ m}^2/\text{N}$	$K_E(\text{Al}_2\text{O}_3) \text{ m}^2/\text{N}$
A	III	5	$6,55 \pm 0,06$	$6,84 \pm 0,10$
B	III	6	$6,58 \pm 0,20$	$6,78 \pm 0,11$
C	III	5	$6,72 \pm 0,12$	$6,82 \pm 0,27$
D	III	4	$6,66 \pm 0,11$	$6,76 \pm 0,10$

gaste relativos obtidos através das Eqs. 2 e 3 indicam que as cerâmicas A, B, C e D apresentam comportamento em desgaste superiores aos minerais padrões com as mesmas durezas Mohs. Os valores numéricos mostram que estas cerâmicas tem comportamento em desgaste de microabrasão Calowear equivalentes a minerais de dureza mohs 6,55, 6,58, 6,72 e 6,66 quando ensaiados com carbeta de silício e equivalente a minerais de dureza 6,84, 6,78, 6,82 e 6,76 quando ensaiados com alumina.

A Tabela 2 mostra também que os coeficientes de desgaste equivalentes quando obtidos com a alumina são superiores, o que mostra que as cerâmicas resistem mais ao ataque deste abrasivo. Este resultado é coerente uma vez que o poder abrasivo da alumina é menor que o do carbeta de silício.

Observa-se também que os resultados não apresentam qualquer relação entre as respectivas classificação PEI e dureza Mohs.

4. Conclusões

O método de comparação dos coeficientes de desgaste obtidos pelo ensaio abrasométrico de microabrasão, Calowear, permite quantificar a resistência ao desgaste dos diversos materiais em relação aos minerais padrões da escala de dureza Mohs.

O coeficiente de desgaste relativo pode contribuir para

a caracterização de cerâmicas, de modo não subjetivo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Maximiliano Gaidzinsk Revestimentos Cerâmicos Eliane S.A. pelo fornecimento das cerâmicas, aos professores Luiz Nishiyama e Adriano Rodrigues dos Santos da Faculdade de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia pelo fornecimento de amostras dos minerais padrões de dureza Mohs e ao CNPq – PADCT III pelo financiamento.

Referências

1. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, norma NBR 13818, Placas Cerâmicas para Revestimento – Especificação e métodos de ensaio, ABR/1997, 78p Anexo D – Determinação da abrasão superficial, pp. 17 a 22.
2. Barbera, J., Usó, J., Enrique, J. E., Felú, C. and Silva, G., Durability Prediction of Ceramic Tile Subject to Abrasion Processes from Pedestrian Traffic, Qualicer '96, Castellón, Spain, pp 453 – 468.
3. Calowear Tester: Directions For Use”, Centre Suisse D’electronique Et De Microtechnique SA, Switzerland, 1997.
4. Doneda, C., Efeito de Aditivos Endurecedores em Fritas Cerâmicas de Monoqueima Rápida: Relação entre Vis-

- cosidade, Microestrutura e Resistência a Abrasão, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis – SC, 1993.
5. Escardino, A, Ibañez, M. J., de Lemus, R. and Mestre, S., Variation of Roughness and Gloss in Glazed Tile with the Intensity of the Wear Produced with a Standard Abrasion Tester, Qualicer '96, Castellón, Spain, pp 727 – 729.
 6. Gonçalves, R. A., De Mello, J. D. B., Dantas, N. O., Freire, S. L. S. e Alarcon, °E., “Variação Da Refletividade E Rugosidade De Vidrados Cerâmicos Causada Por Ensaio Abrasométricos”, Cerâmica Informação, nº 10, maio/junho 2000, pp. 71-75.
 7. Gonçalves, R. A, Dal-Pont, G, Werncke, A. S. W, Riella, H. G. and Mamede, W. F., Determination of Mohs Hardness of Glazed Tiles by Scratching Tests, Qualicer 2000, Castellon, Spain, 2000.
 8. Leonelli, C. e Manfredini, T., Vidrados Cerâmicos para Queima Rápida, Cerâmica Industrial, Vol. 1, nº 3, 1996.