

Considerações sobre a Durabilidade de Placas Cerâmicas Esmaltadas Solicitadas por Abrasão

**Ana Luiza Raabe Abitante^{a*}, Carlos Pérez Bergmann^a,
José Luis Duarte Ribeiro^b**

^aUniversidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM

^bUniversidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Laboratório de Otimização de Produtos e de Processos - LOPP

e-mail: aabitante@cpgec.ufrgs.br

Resumo: Este trabalho analisa os aspectos envolvidos na durabilidade das placas cerâmicas esmaltadas utilizadas em revestimento de piso e os diferentes enfoques que a própria definição de durabilidade apresenta. É destacado o desgaste por abrasão em função do tráfego de pessoas. Para esta situação, são feitas considerações a respeito das características e propriedades que intervêm no desenvolvimento do fenômeno e sobre as características e propriedades que intervêm na percepção do fenômeno. Por fim, procura-se analisar as respostas fornecidas pelo método PEI como indicativas do comportamento do material em utilização.

Palavras-chaves: *abrasão, durabilidade, placas cerâmicas*

1. Introdução

Os materiais tendem a sofrer algum tipo de alteração na medida em que são expostos à ação do meio no qual se encontram, seja de origem mecânica, física, química ou biológica, o que vem a constituir os processos de deterioração ou envelhecimento. Do ponto de vista do usuário, a durabilidade de uma cerâmica para piso está essencialmente relacionada à alteração do seu aspecto visual original, pois este se constitui em um material de revestimento. A especificação inadequada pode conduzir a um comportamento deficiente na medida em que diversas propriedades manifestam-se como efeitos de superfície. Este é o caso da resistência química, resistência a manchas, risco, resistência à abrasão. Cabe ressaltar que a insuficiência de alguma das propriedades para fazer frente às solicitações das condições de serviço pode tornar o material mais susceptível a outras ações, reduzindo-lhe a vida útil de forma acelerada. Este é o caso, por exemplo, da facilidade de limpeza, que pode ser profundamente afetada pela ação abrasiva.

No caso de pisos cerâmicos esmaltados sujeitos ao tráfego de pessoas, a abrasão constitui-se no principal processo de deterioração. Como a durabilidade sempre está inserida em um contexto, conhecer o comportamento de

um material em utilização requer conhecer os seguintes elementos:

- os mecanismos de deterioração, ou seja, os fenômenos que geram mudanças nas características e propriedades dos materiais ao longo do tempo;
- o material, quanto a sua resistência aos diferentes agentes agressivos;
- os ambientes, quanto ao seu grau de agressividade, envolvendo agentes físicos, químicos ou biológicos.

Percebe-se que a partir da década de 90 alguns trabalhos^{6,10,15,26} passam a manifestar importante preocupação com a necessidade de adequar as placas cerâmicas às suas reais condições de uso, de forma a garantir um comportamento satisfatório ao longo do tempo. Conforme Addleson e Rice¹, razões econômicas exigem que os materiais sejam classificados com respeito à sua durabilidade, o que gera a necessidade de definir-se a vida útil. Os insucessos, no entanto são muitos e, de certa forma recentes, pois em sua maioria decorrem da ampliação dos ambientes em que se utilizam revestimentos cerâmicos, o que traz à tona a clara dissociação entre o uso e as especificações, conforme cita Navarro²⁶. Este autor alerta para a complexidade da situa-

ção na medida em que a durabilidade das placas depende da sua correta especificação. Entretanto, a ausência de dados adequados impede a sua viabilidade.

2. O desgaste dos materiais

O desgaste configura, segundo Schackelford²⁹, um dos quatro mecanismos de deterioração dos materiais, em paralelo ao químico, eletroquímico e provocado por radiação. Conforme a DIN 50320, o desgaste consiste na perda progressiva de material da superfície de um corpo sólido devido a uma ação mecânica proveniente do contato e movimento relativo contra um agente sólido, líquido ou gasoso²⁰. Esta definição abrange alguns aspectos, listados a seguir, muitas vezes mencionados independentemente por diferentes autores^{16,20,29}

- envolve a remoção de material;
- consiste em um processo mecânico;
- apresenta caráter progressivo;
- exige movimento relativo entre materiais ou superfícies.

Com base nestas premissas, fica claro que o processo de desgaste em revestimentos de piso tem início assim que o mesmo é concluído e não somente quando exposto ao uso, considerado como o trânsito de pessoas no sentido estrito de sua função. A ação ambiental, através do movimento de partículas devido ao vento e à água, eventualmente presente sobre o revestimento, inicia o processo. Normalmente, as ações ambientais configuram situações de menor importância comparativamente à presença de pessoas em movimento, que provocam a penetração e o arraste de partículas.

O caráter progressivo do desgaste evidencia a importância do tempo no processo de deterioração e permite compreender que, além de dependente das condições de agressividade do meio, sofre alterações sucessivas não necessariamente lineares.

Diversos são os mecanismos identificados na bibliografia através dos quais o desgaste se manifesta. Estes procuram descrever as condições através das quais ocorre a perda de material. No caso de placas cerâmicas esmaltadas submetidas ao tráfego de pessoas existe um aparente consenso^{9,14,20} de que, normalmente, a perda de material decorre de desgaste por abrasão. Dentre os mecanismos envolvidos em um processo abrasivo, o microlascamento é destacado no caso de materiais frágeis^{9,14}. Dessa forma, o desgaste resulta da iniciação, crescimento e propagação de trincas na superfície do material, como resultado de ações mecânicas, e tem como consequência a remoção do mesmo.

A principal dificuldade relacionada ao estudo do desgaste consiste na sua própria natureza uma vez que vai sempre estar condicionado à combinação de três aspectos independentes, os quais configuram o sistema tribológico, quais sejam:

- as características e propriedades do material solici-

tado ao desgaste;

- as características e propriedades do material em contato com o material que sofre o desgaste;
- a natureza e severidade da interação entre ambos.

Cabe distinguir, no sistema a três corpos, os aspectos relativos ao corpo em movimento sobre o piso, dos aspectos relacionados com o material intermediário. O primeiro envolve o tipo de material que realiza o contato (solados dos calçados), o carregamento (peso da pessoa), a dinâmica do movimento (velocidade, forma de andar, ângulo de arraste) e o tráfego (número de pessoas). O segundo envolve os diferentes tipos de materiais e as suas respectivas concentrações, por exemplo, areia, materiais argilosos, água.

3. Como a abrasão se manifesta

Para Simioli³¹, a abrasão se manifesta de duas formas diferentes: como mudança no aspecto superficial e como remoção de material. Naturalmente, a mudança de aspecto é decorrência de uma alteração na superfície, atribuída à perda de matéria. Apesar de serem manifestações dependentes, a relação entre ambas é difícil de ser estabelecida.

Justamente, verifica-se na bibliografia diferenças na forma de apropriação da abrasão. Alguns trabalhos estabelecem sua quantificação relacionando-a à perda de material, o que evidencia preocupação sob um ponto de vista tradicional na Engenharia. Outros buscam analisar o material a partir da visualização ou não do desgaste, ou seja, preocupados com a estética do revestimento, o que denota a apropriação da falha do ponto de vista do usuário.

Ao considerar-se o fenômeno da abrasão presente em várias áreas do conhecimento, percebe-se que os seus efeitos envolvem, muitas vezes, questões de segurança e grandes investimentos como, por exemplo, ao tratar de aeronaves, componentes de motores, concreto para barragens, moinhos. Sob esse ponto de vista, pode-se dizer que o enfoque de perda de material é o mais adequado. Efetivamente, por constituir-se em uma forma de deterioração, o desgaste diminui a resistência do material aos esforços atuantes, portanto lhe aproxima de uma possibilidade de falha.

Para os materiais cuja conotação estética é importante, entretanto, considera-se adequado os critérios de avaliação estabelecidos com base em parâmetros visuais. Em verdade, poder-se-ia considerar a avaliação em termos de perda de matéria caso fosse demonstrada sua relação com os aspectos visuais.

Os enfoques apresentados quanto aos efeitos da abrasão envolvem o estudo de propriedades diferentes e conduzem a maneiras distintas de trabalhar. Percebe-se nos trabalhos que enfocam a perda de matéria uma forte ênfase para o projeto e desenvolvimento de materiais mais resistentes. Os estudos de matérias-primas e do processo de sinterização resultam na modificação da microestrutura do material e assim, das suas propriedades. Por outro lado,

nos trabalhos em que a abrasão é interpretada através da variação do aspecto, há forte preocupação com a avaliação do fenômeno e como o desgaste se manifesta, sem obrigatoriamente buscar materiais de melhor desempenho. Certamente ambas as abordagens são complementares.

Do ponto de vista da alteração da aparência, as propriedades mais citadas na bibliografia são relativas ao comportamento óptico, à resistência à abrasão e à porosidade. Do ponto de vista da perda de material, as propriedades mais citadas são a tenacidade, a dureza e a resistência mecânica. Percebe-se que os pesquisadores priorizam estas três últimas ao estudarem o desgaste do ponto de vista da perda de material, independentemente do envolvimento de outras. Os resultados obtidos, entretanto, conduzem a opiniões variadas sobre a participação das mesmas na interpretação do fenômeno. A Tabela 1 procura estruturar as características e propriedades que intervêm no desenvolvimento do fenômeno e as características e propriedades relacionadas à percepção do fenômeno.

4. Características e propriedades que intervêm no desenvolvimento da abrasão

A interação entre os diferentes aspectos relacionados ao material cerâmico, agente intermediário, trânsito de pessoas e ambiente caracterizam o processo de abrasão. Estes, da mesma forma que devem ser considerados por ocasião da especificação de um material, adequando-o a determinado ambiente, são considerados no estudo do seu comportamento.

4.1. Aspectos relacionados ao material cerâmico

4.1.1. Resistência à abrasão

Simioli³¹ considera a resistência à abrasão como a resistência que uma superfície impõe à ação de desgaste causada pelo movimento de corpos que estejam em contato. Loric e Bresciani²⁴, por outro lado, definem resistência à abrasão como a capacidade de um material sofrer desgaste sob ações mecânicas sem que implique em variações apreciáveis no seu aspecto visual. Nesta mesma linha, Felú *et al.*¹⁵ colocam que a resistência à abrasão consiste na resistência que o material oferece a uma mudança de aspecto não desejada devido a uma perda de massa provocada por esforços mecânicos.

A norma ASTM D 16-96³ parece focar ambas as exigências ao referir-se a películas de caráter protetor ou decorativo. Coloca que a resistência à abrasão consiste na habilidade do material em manter sua estrutura e aparência originais sob a ação do desgaste. Possivelmente, conforme a função do material em análise, pode-se optar por enfatizar um ou outro aspecto.

Normalmente, os métodos de ensaio para determinar a resistência à abrasão consistem em provocar o desgaste de um material através da ação mecânica de determinada carga abrasiva e utilizar os resultados de forma comparativa. Pode-se citar o PEI, abrasão Los Angeles, abrasão Taber, *pin-on-disk* e outros. Cabe observar que os métodos de ensaio não são suficientes para avaliar a durabilidade dos materiais. Em condições reais, estão presentes condições agressivas que os conduzem a comportamentos diferenciados.

Tabela 1. Características e propriedades relacionadas ao processo abrasivo de placas cerâmicas esmaltadas sujeitas ao tráfego de pessoas.

Aspectos relacionados ao	Características e propriedades que intervêm	
	no desenvolvimento do fenômeno	na percepção do fenômeno
Material cerâmico	Microestrutura ³⁴ Tenacidade ³³ Dureza ³³ Resistência à abrasão	Cor ¹⁵ , Brilho ¹⁵ , Número de cores ¹⁵ Grau de disseminação das cores ¹⁵ Espessura do esmalte ¹⁵ , Geometria ³³ , topografia ³⁴ , textura ¹⁵ , Porosidade ³³
Agente intermediário	tipo de material ¹⁰ , forma das partículas ²³ , Natureza tamanho partículas ³⁴ , densidade ³³ , dureza ³³	
	Concentração ³³	
	Contato velocidade partículas ³⁴ , ângulo de incidência ²³	
Trânsito de pessoas	Tipo de solado dos calçados ¹⁰ , Carga transmitida ³³ , Dinâmica do movimento ³³	
Ambiente	Ar ¹⁰ , Água ¹⁰	

O método PEI, adotado na década de 50 pelo Comitê Europeu de Normalização (CEN) para a estimativa da resistência à abrasão de placas cerâmicas esmaltadas, e aprovado sob a forma da NBR 13818 em 1997, é amplamente utilizado pela indústria cerâmica. Especificar um material com base na classificação PEI consiste em estimar que a classe selecionada suporta a quantidade de pessoas prevista para transitar sobre o revestimento, associada à agressividade do local, por um período de tempo satisfatório. Não significa que uma placa PEI III, apta para o uso em cozinhas residenciais, não sofra desgaste nestas condições, mas sim que o trânsito neste ambiente ao longo de uma vida considerada adequada não vai ser suficiente para provocar um desgaste visível. Esta é a expectativa do especificador na medida em que o mesmo não dispõe de dados quanto ao volume de tráfego que determinada placa cerâmica suporta em determinado período de tempo sem apresentar sinais de desgaste.

4.1.2. Dureza

A dureza corresponde à propriedade com maior número de citações nas diferentes equações que procuram descrever o fenômeno do desgaste^{25,30}. Com efeito, parece coerente considerar a dureza no estudo do desgaste na medida em que consiste na resistência de um corpo à penetração de outro. Weinstein³³ apresenta claramente este ponto de vista ao colocar que cerâmicas mais duras apresentam maior resistência ao desgaste.

Parece haver, entretanto, certa dissociação entre o significado da dureza e os resultados apropriados fisicamente para representá-la. Ibáñez²⁰, por exemplo, conclui que, aparentemente, não há relação entre a microdureza Vickers e a resistência ao desgaste por abrasão, sendo esta afirmativa válida para todos os casos estudados em seu trabalho. Na mesma linha estão Alarcon e Rossini⁵ ao estudarem vários vidrados com diferentes aditivos, pois colocam que a resistência à abrasão, a porosidade e a dureza são propriedades independentes entre si, não sendo possível estabelecer uma relação satisfatória entre as mesmas. Atribuem este fato à heterogeneidade do vidrado após a queima. Com efeito, Zaro *et al.*³⁵ citam que a relação da dureza com a resistência à abrasão verificada para os metais e elastômeros não se aplica aos vidrados cerâmicos, pois estes últimos não são suficientemente homogêneos.

4.1.3. Tenacidade

Os modelos de desgaste com frequência expressam que maior resistência ao desgaste pode ser obtida através de alta dureza e alta resistência à fratura, sendo este último parâmetro o mais significativo⁷. Aparentemente, mesmo que a resistência ao desgaste seja afetada por outros fatores, incrementos na dureza e, principalmente, na resistência à fratura, são determinantes de um melhor comportamento.

Para Yamamoto *et al.*³⁴, no entanto, a adoção isolada de propriedades mecânicas, dentre as quais inclui a tenacidade, não pode ser usada para determinar o desgaste. Esposito e Tucci¹³ manifestam opinião semelhante e lembram do conceito de sistema tribológico.

A insuficiência de dados experimentais, que permitam compreender o processo de desgaste, e também a própria complexidade dos mecanismos envolvidos, dificultam o estudo da influência da microestrutura e das propriedades dos materiais sobre o comportamento à abrasão¹⁵. Com efeito, Costa *et al.*⁸ comentam que apesar de vários autores relacionarem alta resistência ao desgaste com alta tenacidade, existe pouca informação experimental que efetivamente fundamente tais expectativas. Ibáñez²⁰ é de opinião que deve existir entre a tenacidade e a dureza alguma relação ainda não determinada em função da complexidade do tema.

4.2. Aspectos relacionados ao material intermediário

Presume-se que o material presente sobre os pisos seja constituído essencialmente de uma mistura de terra vegetal oriunda de canteiros e áreas não ocupadas, de areia de construção, proveniente de obras e do transporte da mesma; e ainda, do solo existente nas vias sem revestimento, ou que aflora através de calçadas abertas ou então, proveniente de terrenos não ocupados com edificações. A proporção entre estes constituintes é, provavelmente, variável conforme as condições particulares de cada região: se no centro da cidade, se próximo de construções, se próximo de praças e parques, se em bairros de menor infraestrutura viária. Em se tratando especificamente do local de assentamento do piso, o material encontrado sobre o mesmo vai estar associado ainda à proximidade da rua.

Além das características mineralógicas, o material pode também ser descrito enquanto sua morfologia, densidade, dureza, granulometria e concentração, como mostra a Tabela 1. Os fatores mencionados caracterizam as condições de entorno de um revestimento e representam diferentes níveis de agressividade, o que permite classificar os ambientes em tantos grupos quanto se considere adequado com relação a este aspecto. Portanto, as condições particulares de determinado material é que irá defini-lo como mais ou menos agressivo. A estimativa da importância, todavia, de uma característica ou propriedade sobre outra, a fim de comparar múltiplas variações, deve ser feita experimentalmente. As indicações extraídas da bibliografia, comentadas a seguir, não dispõem de comprovação experimental ou indicação quanto ao grau de influência que cada variável exerce sobre o desgaste em relação às demais.

Quanto à forma das partículas abrasivas, Larsen-Basse²³ coloca que abrasivos angulosos apresentam superfícies cujo efeito de corte é superior às partículas arredondadas. No mesmo sentido, Weinstein³ comenta que o desgaste pro-

vocado por partículas angulosas é duas vezes superior em relação ao provocado por partículas arredondadas. Esta indicação parece um tanto genérica, no entanto, serve como indicativo.

Weinstein³ faz ainda outras observações. Com relação ao tamanho, menciona que partículas maiores aumentam a severidade do desgaste. Quanto à densidade, o aumento da mesma eleva a energia cinética das partículas e assim, provoca um contato mais severo. Quanto à dureza das partículas, sua influência está condicionada à dureza da superfície: quando a primeira é maior do que a segunda, o desgaste é intensificado.

Com relação à concentração do material intermediário, um aumento da concentração aumenta a severidade do desgaste³. Acredita-se, todavia, que deva existir uma concentração acima da qual o desgaste deve manter-se praticamente constante, pois tende a formar um filme contínuo sobre a superfície.

A natureza do contato é descrita através da velocidade das partículas e do ângulo com que as mesmas atingem o material. Quanto maior a velocidade, maior a severidade do desgaste³⁴. Com relação ao ângulo de incidência, Weinstein³ ressalta que existem configurações mais cortantes do que outras.

4.3. Aspectos relacionados ao trânsito de pessoas

Os aspectos relativos ao trânsito das pessoas, que atuam sobre o desenvolvimento da abrasão, referem-se basicamente ao tipo de solado dos calçados, à carga e à dinâmica do movimento, conforme mostrado na Tabela 1.

Nenhum comentário foi encontrado na bibliografia quanto à influência exercida pelo tipo de solado sobre o desgaste de pisos. Certamente, existem solados mais e menos agressivos, e um rigorismo experimental deveria considerar como tais solados se distribuem entre a população.

A carga, relacionada ao peso das pessoas, corresponde à pressão de contato. Quanto maior a carga, maior o esforço de abrasão gerado sobre o revestimento. Cabe ressaltar que a intensidade do esforço causado por uma pessoa de maior peso não é linear ao esforço de uma pessoa de menor peso. Ou seja, o desgaste provocado por uma pessoa duas vezes mais pesada do que outra é maior do que o dobro.

Paralelamente à carga, exerce importante influência sobre o desgaste, a quantidade de pessoas que vem a transitar sobre o piso. Certamente, quanto maior o número, maior o desgaste.

A dinâmica do movimento é referida no sentido de que certas configurações geram esforços abrasivos mais importantes do que outras. Pode-se mencionar as rampas e escadas, cujo efeito de arraste pode ser bem mais significativo relativamente ao que ocorre no plano. Em condições de laboratório, a dinâmica do movimento está associada ao equipamento utilizado. Enrique *et al.*¹⁰, ao proporem um equipamento para o estudo da abrasão, estudaram o

caminhar humano e identificaram a presença de dois picos de força: um de impacto, quando o calcanhar é colocado no chão, e outro de deslizamento, quando o movimento alcança a ponta do pé. Esta configuração não necessariamente deve ser reproduzida em um equipamento que se propõe a simular o desgaste, desde que o mecanismo através do qual o desgaste real se desenvolve seja mantido.

4.4. Aspectos relacionados ao ambiente

A exposição ao ar representa a situação típica que compõe o sistema tribológico de uma placa cerâmica para revestimento. A presença de água, todavia, é considerada como o principal aspecto responsável pela redução da resistência à fratura com o tempo de materiais submetidos a cargas constantes. Em vista disso, pode-se supor que a frequência de lavagem do piso, assim como a localização do revestimento, em ambientes externos, tendem acelerar o processo de desgaste.

5. Características e propriedades que intervêm na percepção da abrasão

O brilho, a cor e a textura são atributos que permitem caracterizar a aparência de um objeto. A complexidade da análise do aspecto superficial poderá variar de forma significativa devido aos inúmeros efeitos estéticos, com as mais variadas decorações, que as superfícies esmaltadas podem apresentar.

A porosidade do esmalte é, com frequência, apontada nos trabalhos que estudam a percepção da abrasão, a partir de dois enfoques diferenciados. O primeiro em termos de microestrutura, onde maior compacidade representa maior resistência à fratura e, portanto, redução no desgaste.¹³ O segundo, motivo pelo qual é citado por Felú *et al.*¹⁵, refere-se a possibilidade de retenção de sujeira na superfície da placa cerâmica. Cabe observar que a impregnação de sujeira pode estar relacionada tanto à porosidade quanto à textura superficial, seja esta original ou resultante do processo de desgaste.

5.1. Brilho

Na medida em que se desenvolve o processo de desgaste, espera-se variações na superfície devido ao surgimento de trincas e cavidades que passam a compor uma nova textura e ainda, variações de espessura de esmalte já que a mesma é consumida ao longo do processo. Se a superfície desgastada apresentar densidade diferente da original, resultam mudanças no índice de refração e conseqüentemente no brilho percebido. Ainda, como o desgaste dificilmente ocorre igualmente sobre toda a placa cerâmica e ainda, sobre todo um piso que está sendo analisado, é provável que ocorram mudanças no caminho óptico percorrido pela luz e assim, sobre a aparência superficial. Além disso, a matriz vítrea poderá conter cristais como resultado da adição de fases cristalinas insolúveis

ou pela formação das mesmas por ocasião do resfriamento. Se a distribuição desta não é homogênea, poderá influir na medida em que a espessura do material é consumida.

É necessário avaliar a partir de qual magnitude os fatores mencionados apresentam variação suficiente para serem efetivamente significativos e dessa forma, justificar a perda ou ganho de brilho em relação ao estado original. Neste sentido, a textura da superfície parece diferenciar-se. Os poucos trabalhos que estudam a variação do brilho de superfícies esmaltadas costumam justificá-la em função da variação de rugosidade sofrida pelo material como efeito da abrasão. Schackelford²⁹ é claro neste sentido ao atribuir o brilho de cerâmicas esmaltadas brilhantes ao seu alto índice de refração e ao acabamento liso da superfície. Mesmo na situação de produção, Kingery *et al.*²² colocam que a principal dificuldade de obtenção de vidrados brilhantes resulta das variações no acabamento superficial, geradas pela formação de cristais, pela ondulação ou cavidades resultantes da eclosão de poros.

Hiorns e Priese¹⁷ encontraram que a fração de luz refletida diminui na medida em que aumenta a magnitude da rugosidade, mas que a rugosidade capaz de afetar o comportamento óptico de uma superfície tem ordem de grandeza bem menor do que os comprimentos de onda da região visível do espectro. Esta informação é importante, pois a relação entre brilho e rugosidade não envolve qualquer dimensão desta última. Estes pesquisadores afirmam que rugosidades macroscópicas, que causam efeito do tipo “casca de laranja”, não geram mudanças importantes nas medidas de brilho, embora certamente afetem o aspecto do vidrado.

O desgaste, além de atuar sobre a rugosidade em si, acaba por expor poros originalmente fechados. Se a densidade de poros aumentar em relação à superfície original, poderá resultar em diminuição do brilho, pois nestes ocorre o espalhamento da luz incidente e não a reflexão. Ainda, conforme Hiorns e Priese¹⁸, quanto menor o diâmetro dos poros, maior o espalhamento e assim, menor o brilho resultante. Portanto, se os poros revelados forem menores que os originais, aumenta a tendência de perda de brilho.

Felú *et al.*¹⁵ apontam que as placas menos brilhantes acusam menor variação visual em relação ao estado original. A influência do aspecto original na maior ou menor evidência do desgaste também é relatada por Walters e Harrison³² ao comentarem que as placas monocromáticas e brilhantes evidenciam a abrasão em menor prazo do que as decoradas, com algum tipo de textura ou ainda com menor brilho.

5.2. Cor

A sensibilidade de um observador em perceber as cores e as conseqüentes diferenças de cor, varia de acordo com o comprimento de onda. A região de maior sensibilidade situa-se no centro do espectro visível e diminui na

medida em que se afasta para os extremos. Cabe distinguir que, à noite, a curva de sensibilidade desloca-se para a esquerda, do verde para o azul²⁷.

Dessa forma, em condições reais de utilização, determinado nível de desgaste poderá facilmente passar de não percebido para perceptível de acordo com o tipo de iluminação, que enfatizem determinados comprimentos de onda, e ainda pelas características visuais do observador, gerando eventualmente conflitos no relacionamento fabricante/cliente.

Assim, conforme a cor inicial da cerâmica, maior ou menor é a percepção do desgaste. O entendimento geral é de que as tonalidades claras tendem a disfarçar melhor o efeito da abrasão em relação às tonalidades escuras. Cabe considerar, todavia, que as placas de tonalidades claras tendem a denotar mais facilmente a sujeira retida na porosidade aberta e, por outro lado, as placas escuras poderão ser favorecidas pela retenção de sujeira, pois permitem disfarçar o desgaste dentro de certos limites¹¹.

5.3. Número de cores e grau de disseminação das cores

O número e o grau de disseminação das cores são mencionados por Felú *et al.*¹⁵ como artifícios para disfarçar o efeito da abrasão. Com relação ao uso de várias cores, tende a diminuir a percepção do comprometimento do aspecto, no entanto depende do grau de dispersão sobre a peça. Se as cores estão localizadas em áreas independentes, este efeito não se aplica, pois são percebidas como se fossem únicas¹⁵.

Esta evidência representa um complicador no estudo da aparência já que o mercado disponibiliza as mais diversas tipologias de materiais cerâmicos para revestimento. As placas podem ser classificadas em dois grupos básicos: lisas e decoradas, sendo que o segundo tipo compreende uma infinidade de alternativas, desde a disposição de duas cores, segundo uma forma geométrica definida, até o uso de várias cores distribuídas aleatoriamente.

5.4. Rugosidade superficial

A rugosidade superficial constitui, juntamente com a ondulação e forma, as irregularidades que caracterizam a textura de uma superfície. A rugosidade e a ondulação distinguem-se conforme indicado a seguir²⁸:

- a rugosidade compreende os desvios cuja relação entre distância e profundidade varia de 150:1 a 5:1, com frequências periódicas ou aperiódicas;
- a ondulação compreende desvios cuja relação entre distância e profundidade varia de 1000:1 a 100:1, com frequências predominantemente periódicas.

Com o mesmo propósito, Ibáñez²⁰ refere-se à altura das irregularidades como segue:

- a rugosidade apresenta magnitude de frações de milímetros até abaixo do micrômetro;

- as ondulações compreendem centenas de micrômetros até vários milímetros e;
- os desvios da forma original, denominam-se as irregularidades maiores.

Partindo-se do pressuposto que o desgaste representa uma perda de material superficial, parece óbvio que a rugosidade inicial é de alguma forma alterada. Portanto, a variação da rugosidade consiste em um efeito da abrasão. O caso mais típico representa situações de aumento da rugosidade como consequência do desgaste^{15,20}. No caso de placas originalmente rugosas, todavia, poderá ocorrer uma diminuição nos picos superficiais que lhes caracterizam. Com efeito, Enrique *et al.*¹⁰ encontraram redução no coeficiente de atrito como consequência do desgaste. Da mesma forma, materiais concebidos como resistentes ao deslizamento podem sofrer perda da rugosidade sob condições de abrasividade e expor uma superfície gradativamente mais lisa, comprometendo a segurança dos usuários.

Por outro lado, a rugosidade apresenta-se como um quesito que, dentro de certos limites, permite disfarçar a percepção da abrasão. Conforme Walters e Harrison³², placas lisas evidenciam mais facilmente o desgaste. Do ponto de vista óptico, talvez a perda de alguns picos em uma placa rugosa tenha efeito menor sobre a percepção do que as mudanças provocadas pelo desgaste em uma placa lisa.

5.5. Limpabilidade

Para designar a eficiência e a facilidade com que a sujeira é removida de uma superfície esmaltada, emprega-se o termo limpabilidade. A retenção de sujeira pode estar relacionada tanto aos riscos e trincas decorrentes do processo de desgaste, os quais favorecem a impregnação de material nas suas cavidades e sulcos, quanto à exposição de poros superficiais. Estes poros, anteriormente internos, na medida em que se desenvolve o desgaste, passam a aflorar na superfície, facilitando a retenção de sujeira²⁰. Felú *et al.*¹⁵ lembram que o tamanho dos poros e a distância dos mesmos à superfície é tão importante quanto a sua quantidade. Dessa forma, um aumento na porosidade, não necessariamente representa um aumento da impregnação de sujeira.

Interessante observar que baixos níveis de desgaste, não perceptíveis visualmente, poderão ser revelados em função da menor limpabilidade que as placas passam a apresentar. Mesmo que se trate de material removível, conforme a facilidade com que a retenção de sujeira ocorre, o aspecto visual poderá resultar constantemente prejudicado.

Conforme Ibáñez²⁰, os poros abertos tendem a reter sujeira de modo irreversível enquanto que as trincas e sulcos, de modo reversível. Certamente, a primeira é substancialmente mais grave, todavia, do ponto de vista do usuário, a segunda representa importante fonte de insatisfação. Cabe destacar que não se trata de areia ou material equiva-

lente, solto sobre o revestimento, mas efetivamente impregnado, acarretando o conhecido “encardimento”.

Para o usuário, o comprometimento da limpabilidade representa a perda de uma das vantagens associadas ao uso dos revestimentos cerâmicos. Em condições de utilização, a impregnação de sujeira reversível pode iniciar transcorrido pequeno período de tempo. Na medida em que o período entre a impregnação de sujeira e a necessidade de intervenções de limpeza torna-se cada vez menor, o usuário percebe que o piso já não apresenta as condições originais de superfície. Como o comprometimento do aspecto é transitório, não representa o término da vida útil, permite entretanto visualizar um desgaste antes não identificável.

O aprisionamento de sujeira em caráter irreversível foi encontrado por Ibáñez²⁰ em amostras cujos poros apresentavam diâmetro entre 50 e 80 μm . Arantes *et al.*⁴, referindo-se ao porcelanato, também mencionam esta ordem de grandeza e indicam que a presença de poros grandes, de 50 a 100 μm , é significativamente mais relevante do que o volume total de poros em se tratando de manchamento. Estes autores destacam, todavia, a profundidade dos poros como o fator mais influente sobre a facilidade de limpeza, ocorre que, em geral, profundidade e diâmetro estão relacionados. Escardino *et al.*¹² colocam que a porosidade aumenta a partir da superfície original até um valor máximo próximo a 50% da espessura. Na superfície, os poros são menores e em menor número. A Fig. 1 representa esquematicamente a variação da porosidade em função dos cortes *a*, *b*, *c* e *d* ao longo da espessura da camada do esmalte. Em seu experimento, os pesquisadores encontraram para os poros maiores, dimensões de 40 a 50 μm .

6. Durabilidade e vida útil

A durabilidade consiste na capacidade de um produto, componente ou construção em manter o desempenho das funções para as quais foi projetado acima de determinado período de tempo². Interessante observar a menção explícita que relaciona o comportamento em uso com o cumprimento de funções. Quando da especificação de placas cerâmicas para revestimentos, o entendimento de que a



Figura 1. variação da porosidade em função dos cortes *a*, *b*, *c* e *d* ao longo da espessura da camada do vidro¹²

cerâmica deve satisfazer a determinadas funções e a definição de quais seriam estas funções é essencial, pois permite selecionar dentre as diferentes propriedades, aquelas importantes para determinada situação.

No caso de pisos cerâmicos submetidos ao trânsito de pessoas, pode-se dizer que a durabilidade está relacionada a aspectos estéticos e de uso. Dessa forma, sobressai a questão da segurança de utilização, em função do escorregamento, e o aspecto visual. Com efeito, os revestimentos constituem, juntamente com outros itens, o acabamento das construções. Portanto, têm grande importância na definição do padrão do edifício, na valorização econômica do imóvel e nas características estéticas do conjunto. Os aspectos estéticos formam a imagem da edificação, constituem aquilo que os clientes vêem. Os revestimentos, juntamente com o tamanho dos ambientes, a localização do imóvel, a presença de elevador, o número de vagas na garagem entre outros, são usados pelos clientes subjetivamente para apropriar o valor do imóvel. Os mesmos tendem a estabelecer uma relação de aceitação ou rejeição quanto à compra a partir do equilíbrio entre o valor atribuído por ele e o valor cobrado.

Com frequência, a especificação do material cerâmico para revestimentos reduz-se a decisões relativas à tipologia como padronagem, formato e dimensões. A durabilidade é considerada de forma implícita, como se fosse a cerâmica um material intrinsecamente durável. Normalmente, o único parâmetro utilizado para a especificação do material, no sentido de adequá-lo às condições de utilização, consiste na resistência à abrasão, sendo, em geral, esta conduta adotada tanto por especificadores quanto por consumidores. Em verdade, a própria indústria cerâmica trata o processo de especificação dessa maneira na medida em que difunde amplamente a resistência à abrasão, apropriada através do método PEI, e pouco divulga outras propriedades. A relação entre as classes PEI e os ambientes de utilização constam na maioria dos informativos técnicos. Estes exemplificam diversas situações de uso, onde os ambientes domésticos correspondem, basicamente, às classes I, II e III e os ambientes comerciais e de serviços, às classes IV e V. Naturalmente, a classificação dos ambientes comerciais e de serviços permite um detalhamento bem superior comparativamente às duas classes disponíveis de resistência à abrasão. Os ambientes podem ser relacionados a diversas intensidades de tráfegos e associados aos mais variados tipos e níveis de agentes agressivos. Dessa forma, ilustra-se o quão pobre é o processo de especificação na prática.

Os conceitos de vida útil e durabilidade se distinguem, fundamentalmente, na maneira de considerar o tempo. De acordo com a ASTM E 632-82², a vida útil de um material ou componente consiste no período de tempo após a instalação durante o qual todas as propriedades excedem valores mínimos aceitáveis quando mantidos de maneira roti-

neira. Portanto, pode-se dizer que a vida útil consiste na quantificação da durabilidade.

A relação da vida útil com o aspecto superficial é mencionada por Walters e Harrison³² ao comentarem que a mudança na aparência normalmente define a vida da placa cerâmica. Da mesma forma, Lorici e Bresciani²⁴ colocam que algumas cerâmicas podem desgastar-se mais e demonstrá-lo menos, porém o que importa é justamente a evidência deste desgaste.

A definição de um período mínimo de tempo no qual os materiais e as construções devem mostrar-se satisfatórios não é explicitada na maioria dos códigos e normas. Desta forma, vigoram os prazos estabelecidos pelo Código de Defesa do Consumidor e Código Civil. Isso não impede, todavia, que problemas aconteçam, pois os fabricantes, em geral, não dispõem de dados seguros para desenvolver seus produtos e disponibilizar informações relativas à durabilidade. Neste sentido, Enrique *et al.*¹⁰ registram a ausência de conhecimento quanto à durabilidade das placas cerâmicas quando expostas a reais condições de utilização.

Paralelamente a isso, o período de 5 anos mostra-se insuficiente para uma parcela significativa de usuários, especialmente aqueles cujas obras são de maior responsabilidade. A situação se agrava por tratar-se de revestimentos cuja forma de fixação envolve aderência mecânica, onde a substituição, em caso de manifestações patológicas, gera transtornos significativos em termos de sujeira e paralisação de atividades. De forma a oferecer maior segurança aos especificadores, alguns fabricantes têm oferecido garantia por períodos de 20 ou 25 anos. No entanto, esta baseia-se em decisões comerciais, sem apoio técnico.

A estimativa de vida útil constitui-se em um estudo complexo, que deve incluir os diferentes fatores de deterioração presentes nas situações reais de utilização. Os aspectos particulares de cada ambiente estabelecem diferentes níveis de agressividade, os quais, associados à resistência do material às diversas ações, determinarão a durabilidade deste. A durabilidade, e por conseqüência, a vida útil, não correspondem a propriedades intrínsecas dos materiais, mas dependentes do ambiente em que se encontram.

Um fator de deterioração consiste em um agente externo que afeta desfavoravelmente o desempenho dos materiais e componentes, incluindo o intemperismo, fatores biológicos, cargas, incompatibilidades e fatores de uso, conforme a Tabela 2. Cabe lembrar que o efeito da sobreposição destes fatores pode ser mais significativo do que o somatório dos efeitos individuais.

O método PEI não permite incorporar as diferentes condições de agressividade a que o material está exposto em condições reais de utilização, fatores estes que constituem o sistema tribológico. Dessa forma, os resultados de resistência à abrasão permitem classificar os materiais de forma comparativa, mas não permitem inferir sobre a durabilidade dos mesmos.

Tabela 2. Fatores de deterioração que afetam a vida útil dos componentes e materiais de construção².

Fatores de deterioração	Detalhamento dos fatores de deterioração
Intemperismo	Radiação solar, térmica, nuclear, Temperatura elevada, cíclica, Água no estado sólido, líquido ou, gasoso, Constituintes do ar, Contaminantes (gases, particulados), Vento
Biológicos	Microorganismos, Fungos, Bactérias
Tensão	Carregamentos, ação cíclica da água, ação cíclica dos ventos, movimento de veículos, etc
Incompatibilidades	Químicas, físicas
Uso	Abuso do usuário, desgaste normal

Sem dúvida, na ausência de metodologias que levem em consideração o sistema tribológico, análises comparativas entre resultados, quando os materiais são expostos a condições idênticas de ensaio, consistem em uma alternativa. Com efeito, observa-se a existência de muitos ensaios cuja interpretação dos resultados ocorre dessa forma e a durabilidade é estimada subjetivamente. Ocorre, todavia, que o método PEI tem sido alvo de inúmeras críticas, relacionadas tanto ao processo de desgaste, ou seja, ao equipamento, quanto ao sistema de avaliação dos resultados, o que indica que as classes atribuídas aos materiais podem conter grandes distorções em relação ao comportamento observado em condições reais.

À parte o equipamento, a condição de observação proposta no método PEI não se mostra eficiente para reproduzir a observação do fenômeno em situações de utilização, por parte dos usuários. As condições de observação geram críticas tanto por basearem-se na identificação de alterações de aspecto de forma qualitativa, dependente da capacidade visual do observador²¹, quanto por focar a cor do material e não os aspectos geométricos associados à avaliação do brilho.

Conforme Felú *et al.*¹⁵, é de amplo conhecimento que esmaltes de características técnicas muito parecidas, e em particular de semelhante resistência à abrasão e porosidade, apresentam comportamento radicalmente diferente durante sua utilização. Neste caso, deixam clara a precariedade dos parâmetros de análise atualmente utilizados para a especificação dos materiais quando comparados com o que ocorre ao longo do tempo, em situações reais.

No método PEI, a câmara-padrão de observação conta com iluminação difusa e o observador, posicionado conforme recomenda a norma, forma um ângulo de visão de

39,5° com a horizontal. Esta condição de observação não permite a avaliação do brilho, pois não propicia a reflexão especular. Para a observação do brilho, o observador deve posicionar-se em sentido contrário à luz incidente, formando ângulos iguais com a vertical. Além disso, os ângulos de observação e incidência devem variar conforme o brilho do objeto: quando baixo, a melhor configuração consiste em grandes ângulos a partir da vertical; quando alto, a partir de baixos ângulos, mais próximo da condição perpendicular.¹⁹

As condições geométricas estabelecidas no método PEI permitem que placas identificadas como sem variação decorrente da abrasão, se observadas em condições que permitam a identificação do brilho, efetivamente demonstrem diferenças.

Com efeito, Walters e Harrison³² consideram que a observação da cor é insuficiente para identificar a abrasão. Salientam que o brilho deveria ser considerado, pois se mostra sensível à rugosidade produzida pelo desgaste. Felú *et al.*¹⁵ concordam com este ponto de vista e reiteram que o PEI não identifica perda de aspecto relacionada à perda de brilho, porém esta é observada em condições reais de abrasão.

De fato, a indústria cerâmica parece ciente da insuficiente resposta que os métodos de ensaio oferecem, e dispõe de conhecimentos empíricos que lhes permitem contornar, em alguns casos, o problema do desgaste prematuro. Neste sentido, Felú *et al.*¹⁵ comentam que os fabricantes costumam adotar duas condutas para aumentar a resistência à perda de aspecto. Uma delas consiste no estudo de configurações adequadas para disfarçar a perda de brilho, a mudança de cor e a retenção de sujeira que decorrem do desgaste. A outra se baseia na diminuição da porosidade e no aumento da resistência à abrasão. Neste último caso, uma das formas consiste em submeter o material a um número de rotações superior ao máximo indicado na respectiva norma para determinada classe PEI.

7. Considerações Finais

A durabilidade das placas cerâmicas esmaltadas para revestimento de pisos está relacionada com ações que comprometam a aparência do material. Dentre os diferentes processos de deterioração, o desgaste, através da ação abrasiva provocada pelo tráfego de pessoas, apresenta fundamental importância.

A necessidade de informações relativas à vida útil dos materiais e componentes empregados na construção civil é emergente, de forma a permitir prever o comportamento nas mais variadas situações de uso, dadas pelas condições de agressividade.

O método PEI, além de não ser suficiente ao estudo da durabilidade, trabalha com condições de observação para a análise dos resultados relativas à percepção da cor e não do brilho da superfície. Resulta que variações de aspecto

facilmente identificáveis na condição que permite observar o brilho, não são percebidas na condição geométrica relacionada à percepção da cor. Deve-se deixar claro, todavia, que o enfoque do método PEI, ao apropriar a abrasão a partir de parâmetros visuais, mostra-se adequado. O problema consiste na definição das condições de observação. Outras formas de avaliação, previstas em alguns métodos de ensaio, baseiam-se em medidas de perda de massa ou de volume, o que não é satisfatório para o caso de revestimentos.

8. Referências

1. Addleson, L.; Rice, C. *Performance of materials in buildings*. Oxford. ed.: Butterworth-Heinemann. p. 641, 1994.
2. American Society for Testing And Materials. *ASTM E 632-82*: Standard practice for developing accelerated teste to aid prediction of the service life of buildinh components and materials (Reapproved 1996). In: Annual book of ASTM standards. Philadelphia, p. 298-303, 1998.
3. _____. *ASTM D 16-96*: Standard terminology relating to paint, varnish, lacquer, and related products. In: Annual book of ASTM standards. Philadelphia, 1998.
4. Arantes, F. J. S.; Galesi, D. F.; Quinteiro, E.; Boschi, A. O. Manchamento do grês porcelanato. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 3, p. 18-25, mai/jun. 2001.
5. Alarcon, O.E.; Rossini, M.A.A. *Resistência à abrasão de vidrados utilizados para revestimento de pisos cerâmicos*. 36º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 7 a 10 de junho de 1992, Caxambu, MG, p. 838-845.
6. Barbera, J. *et al.* Durability prediction of ceramic tile subject abrasion processes from pedestrian traffic. In: Qualicer 96, Castellón (Espanha), *Proceedings IV Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*, p. 453-468, 1996.
7. Briscoe, B. J.; Adams, M. J. *Tribology in particulate technology*. Adam Hilger, Bristol and Philadelphia, p. 320-334, 198-.
8. Costa, H. L.; Pandolfelli, V. C.; Mello, J. D. B. Efeito da carga abrasiva e do grau de transformabilidade no comportamento em abrasão a dois corpos de Zircônias Tetragonais policristalinas. In: *III Seminário Brasileiro de Materiais Resistentes ao Desgaste*. Fortaleza, p. 41-60, out. 1994.
9. Dias, L. L.; Quinteiro, E.; Boschi, A. O. Efecto de la presencia de cristales sobre la resistencia al desgaste de vidriados. In: Qualicer 2000, Castellón (Espanha), *Proceedings VI Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*, p. 17-25, 2000.
10. Enrique, J. E.; Felú, C.; Llorens, D. Simulación de la abrasión de pavimentos cerâmicos debida al tránsito peatonal. *Técnica Cerámica*, n. 230, p. 34-43, 1995.
11. Escardino, A. *et al.* Empleo del rugosímetro para el estudio de la degradación, por abrasión, de vidrados cerâmicos. In: Qualicer 92, Castellón (Espanha), *Proceedings II Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*, p. 229-253, 1992.
12. Escardino, A. *et al.* Porosidade superficial de vidrados polidos: influência de algumas variáveis. (Qualicer 2002), *Cerâmica Industrial*, v. 7, n.2, p.14-24, mar/abr. 2002.
13. Esposito, L. E Tucci, A. Abrasión de superficies de azulejos cerâmicos esmaltados. *Bol. Soc. Esp. Cerámica y Vidrio*. v. 39, n. 1, p. 163-171, 2000.
14. Feijão, J. F. M. *et al.* Estudo do mecanismo a abrasão de pavimentos cerâmicos utilizando a técnica esclerométrica. *Cerâmica*, v. 42, n. 275, p. 205-208, 1996.
15. Felú, C.; Ibáñez, M. J.; Moreno, A.; Carceller, J. V. Analisis de algunos factores relacionados con la degradación por abrasión de baldosas cerâmicas esmaltadas. In: Qualicer 1990, Castellón (Espanha), *Proceedings I Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*, p. 345-356, 1990.
16. Groover, M. *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. New Jersey, 1061p., 1996.
17. Hiorns, T.; Priese, A. Gloss measurements on porcelain glazes. *Ceramic News*, n. 3, p. E32-E34, 2003a.
18. _____. Gloss measurements on porcelain glazes. Part2: Information retrieved from light intensity curves. *Ceramic News*, n. 6-7, p. E21-E24, 2003b.
19. Hunter, R.; Harold, R.W. *The measurement of appearance*. Wiley Interscience. 2 ed., p. 391, 1987.
20. Ibáñez, M. J. G. *Estudio de las propiedades mecánicas y superficiales de recubrimientos vidriados de piezas cerâmicas: Puesta a punto de nuevas técnicas de medida*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales. Departamento de Ingeniería Química da Universitat Jaume I, Castellón, Espanha, p. 243, 1998.
21. Instituto de Tecnología Ceramica (AICE) *Colocacion de Pavimentos y Revestimientos Ceramicos*, Barcelona, p. 317, 199-.
22. Kingery, W. D. *et al.* *Introduction to ceramics*. John Wiley & Sons, Inc. 2 ed., p. 1032, 1976.
23. Larsen-Basse. Role of microstructure and mechanical properties in abrasion. *Metallurgica et materialia*, v. 24, n. 5, p. 821-826, 1990.
24. Lorici, L.; Bresciani, A. Analisis practica de la influencia de la resistencia al desgaste de los materiales cerâmicos en relación a su destinación de uso. In: Qualicer 90, Castellón (Espanha). *Proceedings of I Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*. Não Paginado. 1990.
25. Meng, H. C.; Ludema, K. C. Wear models and predictive equations: their form and content. *Wear*, v.181-183, p. 443-457, 1995.
26. Navarro, J. E. Requisitos técnicos de baldosas cerâmicas para usos concretos. *Cerâmica Informação*, n. 232, p. 3-13, jul/ago. 1997
27. Petter, C. O.; Gliese, R. Fundamentos de colorimetria. *Apostila*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre. 95p., 2002.
28. Saldanha, A. *et al.* Estudo da rugosidade na laminação a frio de chapas de aço. *Anais do II Workshop PECOPE*, Qualificação de chapas para a indústria automobilística. Org. por A. Sinatora e G.F. Batalha, São Paulo, 250p., il., 1999.
29. Schackelford, J. F. *Introduction to materials science for engineers*. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, 5 ed., 877p., 1999.
30. Shigley, J. E.; Mischke, C. R. *Corrosion and wear mechanical designers workbook*. McGraw-Hill Publishing Company, p. 243, 1989.
31. Simioli, M. L. Il metodo PEI si allarga. *Ceramic World Review*, n. 3, p. 46-51, 1992.
32. Walters, P.A.; Harrison, R. The PEI abrasion test and the classification of glazed floor tiles. *Ceram Research RP 741*, p. 16, 1986.
33. Weinstein, J. Mineral Processing. In: ASM International. *Engineered Materials Hanbook: ceramic and glasses*. v. 4, p. 961-965, 1991.
34. Yamamoto, T; Olsson, M.; Hogmark, S. Three-body abrasive wear of ceramic materials. *Wear*, v. 174, p. 21-31, 1994.
35. Zaro, M. A. *et al.* Projeto e desenvolvimento de transdutor óptico para avaliação da abrasão em pisos cerâmicos esmaltados. In: 38º Congresso Brasileiro de Cerâmica, jun. 1994, *Anais...* Rio de Janeiro, Não Paginado.