

Rugosidade Superficial de Revestimentos Cerâmicos

Bruno Serafim Parra, Ronaldo Crosio Gennari, Fábio Gomes Melchhiades,

Anselmo Ortega Boschi*

*Laboratório de Revestimentos Cerâmicos – LaRC,
Departamento de Engenharia de Materiais – DEMa,
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar,
Rod. Washington Luiz, Km 235, 13565-905 São Carlos - SP
e-mail: daob@power.ufscar.br

Resumo: Atualmente, na fabricação de revestimentos cerâmicos de tipologia brilhante, almeja-se a obtenção de superfícies de texturas lisas, isentas de irregularidades e de brilho elevado. Este trabalho teve por objetivos quantificar a rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos e identificar os fatores responsáveis por essa propriedade. Neste sentido, foi desenvolvida uma metodologia de análise, capaz de quantificar a rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos, empregando-se um perfilômetro de contato mecânico. O estudo apresenta as diferenças de rugosidade encontradas entre revestimentos cerâmicos comerciais fabricados por via seca, por via úmida e com superfície polida. A seguir, foram determinadas as etapas da fabricação responsáveis pelo desenvolvimento da rugosidade superficial em um produto comercial fabricado por via seca. Os resultados obtidos comprovam a sensibilidade da metodologia desenvolvida e fornecem subsídios para o controle e o desenvolvimento de revestimentos cerâmicos com a rugosidade superficial almejada.

Palavras-chave: rugosidade, estiramento, revestimentos cerâmicos

1. Introdução

A rugosidade superficial^{1,2} pode ser definida como um conjunto de irregularidades, fundamentalmente saliências e reentrâncias, que caracteriza uma determinada superfície. No caso dos revestimentos cerâmicos, a rugosidade superficial afeta diretamente as seguintes propriedades de interesse do produto acabado:

- as propriedades óticas;
- a durabilidade química;
- a resistência ao desgaste por abrasão;
- a facilidade de limpeza e retenção de sujeira; e
- a resistência ao escorregamento.

As propriedades óticas³ da superfície de um revestimento cerâmico constituem atualmente objeto de grande interesse para os fabricantes, dada a influência das mesmas no aspecto visual do produto. Para os consumidores finais, muitas vezes a estética do produto acabado assume papel mais preponderante do que as propriedades técnicas que indicam o desempenho do mesmo frente às solicitações exigidas. A rugosidade superficial afeta diretamente a reflexão da luz incidente (Figura 1). Em função desse fenômeno ótico, o brilho e a nitidez da imagem refletida são alterados pelas reentrâncias e saliências presentes na superfície do produto cerâmico. Por essas razões, no desenvolvimento dos esmaltes e na liberação dos lotes dos mesmos, os colorificios e os fabricantes de revestimentos cerâmicos estão constantemente avaliando visualmente o estiramento dos esmaltes. Parte do apelo comercial dos produtos polidos está nas propriedades óticas de suas superfícies. O polimento reduz abruptamente a rugosidade e gera superfícies que apresentam elevada reflexão especular e nitidez da imagem refletida, conferindo o brilho e a textura que são características altamente valorizadas nesta tipologia de produto.

Além das propriedades óticas da superfície, outras propriedades dos revestimentos cerâmicos também são influenciadas pela rugosidade superficial, conforme mencionado anteriormente. Para superfícies de mesma composição química, porém com rugosidades diferentes, a resistência ao ataque químico será sempre menor na superfície de rugosidade mais elevada. A rugosidade superficial aumenta a área

de contato do revestimento cerâmico com as soluções de ataque ou mesmo com os agentes atmosféricos responsáveis pela agressão química, acelerando a deterioração⁴ que ocorre na superfície.

A resistência ao desgaste por abrasão superficial também é menor em superfícies de elevada rugosidade. As saliências formam “cantos vivos” que se desprendem com maior facilidade da superfície quando a mesma é submetida ao desgaste abrasivo. Por sua vez, as depressões atuam como centros de retenção de sujeira na superfície do revestimento cerâmico. Deste modo, superfícies de elevada rugosidade tendem a apresentar maior dificuldade à remoção de manchas, em virtude do acúmulo de partículas nas depressões presentes na superfície.

Por fim, a rugosidade superficial também exerce influência na resistência ao escorregamento dos produtos cerâmicos. Texturas extremamente lisas (de baixa rugosidade) reduzem o coeficiente de atrito superficial, em função da menor área de contato existente entre a superfície do revestimento cerâmico e a sola dos calçados. Assim, o mecanismo mais conhecido e utilizado para promover o aumento da resistência ao escorregamento consiste no incremento da rugosidade superficial.

2. Quantificação da Rugosidade Superficial

A rugosidade superficial é uma propriedade de grande interesse e conseqüentemente bastante estudada na área de engenharia mecânica^{1,2}. Apesar de sua importância para as propriedades dos revestimentos cerâmicos, os estudos existentes sobre o assunto são escassos nessa área. Os poucos trabalhos^{5,6} publicados sobre o assunto na área de revestimentos cerâmicos dizem respeito à quantificação da rugosidade em superfícies desgastadas por abrasão, onde se relaciona o estágio de abrasão com a magnitude da rugosidade produzida na superfície.

Neste estudo, procurou-se desenvolver uma metodologia rápida, simples e reprodutível para determinar a rugosidade superficial de

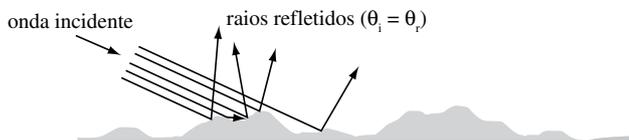


Figura 1. Efeitos da rugosidade superficial sobre a reflexão de luz.

revestimentos cerâmicos. A literatura cita diversas técnicas para a medição da rugosidade: a comparação visotátil, a perfilometria de contato mecânico, a perfilometria ótica e a microscopia de força atômica.

Dada a magnitude da rugosidade encontrada na superfície dos revestimentos cerâmicos, neste trabalho utilizou-se o perfilômetro de contato mecânico¹ (Figura 2) para a quantificação da rugosidade. Este equipamento utiliza um apalpador de ponta fina posicionado sobre a amostra e um motor elétrico gera o deslocamento horizontal deste apalpador sobre a superfície da amostra. Os movimentos verticais do apalpador são convertidos em sinais elétricos e utilizados posteriormente para a quantificação da rugosidade.

O procedimento adotado para a medição da rugosidade superficial nos revestimentos cerâmicos é descrito a seguir. Inicialmente são preparados por corte de peças industriais, corpos de prova de dimensões (13 x 9) cm. Tais corpos de prova são então posicionados sobre a mesa do equipamento e são traçados perfis de 48,8 mm de comprimento com velocidade de deslocamento do apalpador de 1 mm/s. Além da obtenção dos perfis de rugosidade, através das medidas podem ser determinados os parâmetros indicadores de rugosidade Ra, Ry, Rz e Sm.

A Figura 3 apresenta os parâmetros indicadores de rugosidade utilizados no trabalho. A rugosidade média (Ra) é calculada através da média aritmética dos valores absolutos das alturas dos pontos que compõem o perfil, em relação à linha média (LM). A linha média é uma linha de referência que divide o perfil de rugosidade, de forma que a soma das áreas superiores seja igual à soma das áreas inferiores. Trata-se do parâmetro mais utilizado como indicador da rugosidade superficial. Apresenta, no entanto, baixa sensibilidade para indicar a presença de picos e vales ao longo dos perfis rugosimétricos.

Os parâmetros Ry e Rz são indicadores de amplitude do perfil de rugosidade superficial, ou seja, da altura das reentrâncias e saliências. O Ry corresponde à diferença encontrada entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo ao longo do perfil de rugosidade traçado. O Rz é muito semelhante, porém para aumentar a representatividade da análise, considera a média dos cinco pontos mais altos e mais baixos do perfil antes de efetuar a diferença entre eles.

Por fim, o parâmetro Sm é utilizado para quantificar o espaçamento das irregularidades superficiais. Corresponde à distância média entre as saliências do perfil de rugosidade traçado em uma amostra (Figura 3).

3. Rugosidade dos Revestimentos Cerâmicos

Com o objetivo de quantificar a rugosidade superficial das diferentes tipologias de revestimentos cerâmicos existentes no mercado, foram selecionados diversos produtos comerciais (produtos brilhantes de textura lisa de diferentes fabricantes de diferentes regiões do país) para a avaliação da rugosidade, através da utilização do perfilômetro de contato mecânico. As Figuras 4, 5 e 6 indicam os perfis de rugosidade obtidos para os produtos fabricados por via seca, por via úmida e com polimento superficial, respectivamente.

Na Tabela 1, encontram-se os valores médios dos principais parâmetros indicadores da rugosidade superficial, obtidos a partir dos perfis de rugosidade apresentados nas Figuras 4, 5 e 6.



(a)



(b)

Figura 2. Perfilômetro de contato mecânico utilizado para a quantificação da rugosidade superficial.

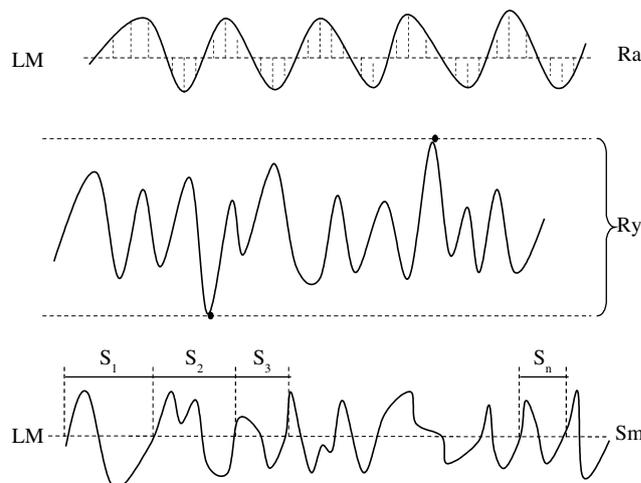


Figura 3. Parâmetros indicadores da rugosidade superficial utilizados no estudo.

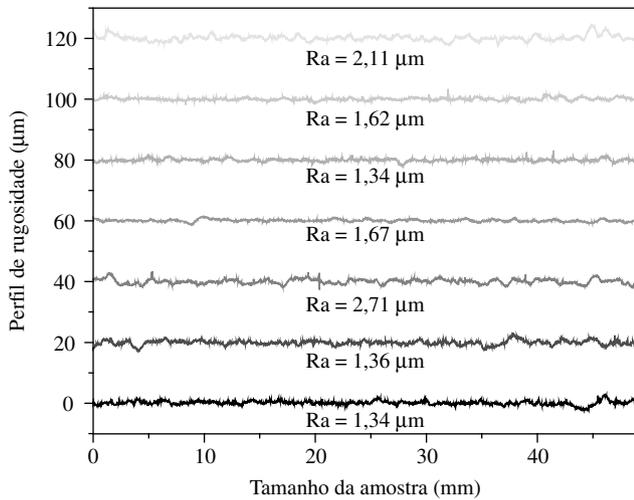


Figura 4. Perfis de rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos fabricados por via seca.

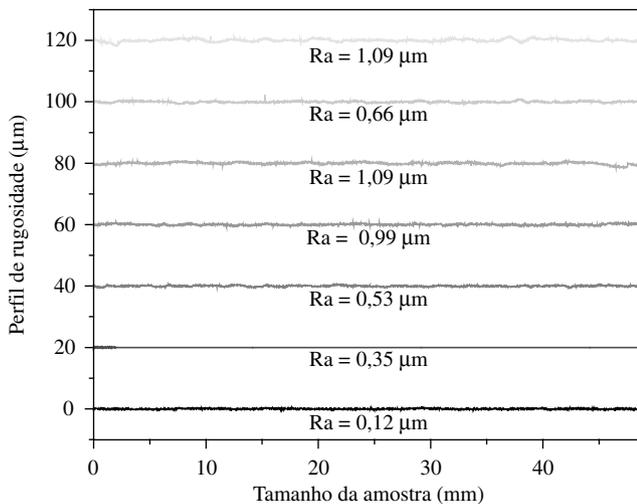


Figura 5. Perfis de rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos fabricados por via úmida.

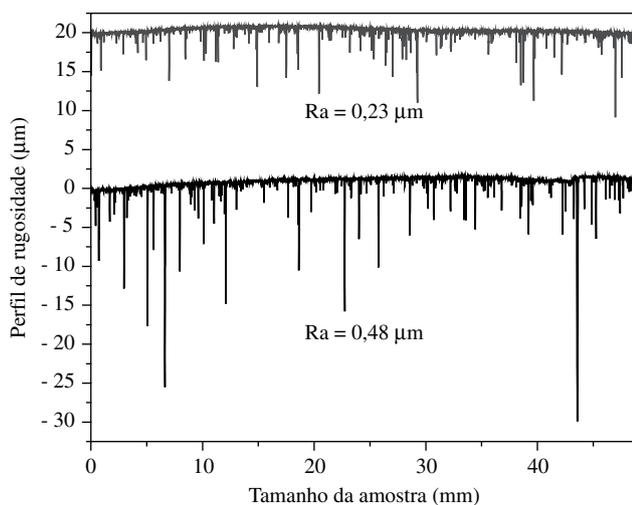


Figura 6. Perfis de rugosidade superficial de porcelanatos polidos.

Tabela 1. Médias dos parâmetros indicadores da rugosidade superficial para diferentes tipologias de revestimentos cerâmicos.

Produtos	Parâmetros			
	Ra (µm)	Ry (µm)	Rz (µm)	Sm (µm)
Via seca	1,74	9,43	6,05	2.730
Via úmida	0,69	3,12	1,71	1.080
Porcelanatos polidos	0,36	13,50	7,41	300

Os resultados obtidos indicam que os produtos fabricados por via seca apresentam, em média, rugosidade média (Ra) superior aos demais produtos avaliados. Os porcelanatos polidos, por sua vez apresentam as menores rugosidades superficiais dentre os produtos analisados, possivelmente em virtude da etapa de polimento, que elimina as saliências superficiais. Além disso, os porcelanatos polidos, apresentaram picos localizados ao longo dos perfis de rugosidade, que indicam a presença de poros abertos na superfície. O polimento expõe os poros fechados próximos à superfície, transformando-os em poros abertos, os quais podem atuar como fontes de retenção de sujeira⁷. Os parâmetros Ry e Rz das amostras de porcelanato são maiores do que aqueles apresentados pelos demais revestimentos cerâmicos avaliados, em virtude da presença da porosidade superficial mencionada.

Quando comparados, os produtos fabricados por via úmida e por via seca apresentam diferenças significativas entre si. A rugosidade média (Ra), a amplitude dos picos e vales (Ry e Rz), bem como o espaçamento entre as saliências (Sm), tende a ser menor nos produtos fabricados por via úmida.

4. Mecanismos de Desenvolvimento da Rugosidade

Em virtude das diferenças representativas encontradas entre a rugosidade superficial dos revestimentos cerâmicos comerciais avaliados no estudo, procurou-se na seqüência identificar as etapas da fabricação responsáveis pela geração da rugosidade na superfície dos produtos cerâmicos.

Neste sentido, foram efetuados testes em uma fábrica produtora de revestimentos cerâmicos por via seca, ao longo das distintas etapas do processo de fabricação. A Figura 7 ilustra os perfis de rugosidade de peças cruas antes e após a aplicação das camadas de engobe e esmalte. Observa-se que a simples aplicação do engobe e do esmalte reduz consideravelmente a rugosidade da superfície do revestimento cerâmico ainda antes da queima. A aplicação dos recobrimentos através da cortina contínua (campana) gera maior regularidade na superfície, ocultando as saliências e reentrâncias superficiais provenientes das peças recém extraídas da prensa.

Efetuando-se a queima das peças cruas esmaltadas, tem-se uma nova redução de rugosidade superficial, neste caso produzida pelo estiramento do esmalte durante a queima. A Figura 8 ilustra a variação da rugosidade média (Ra) encontrada em uma empresa fabricante de revestimentos cerâmicos por via seca, ao longo das distintas etapas da fabricação.

5. Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo inicial indicaram que a perfilometria de contato mecânico pode ser utilizada com sucesso para a determinação da rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos.

A metodologia de análise desenvolvida indicou diferenças consideráveis de rugosidade entre os produtos fabricados por via úmida e por via seca. Em geral, os revestimentos cerâmicos nacionais fabricados por via seca tendem a apresentar superfícies de rugosidade mais elevada do que os produtos fabricados por via úmida.

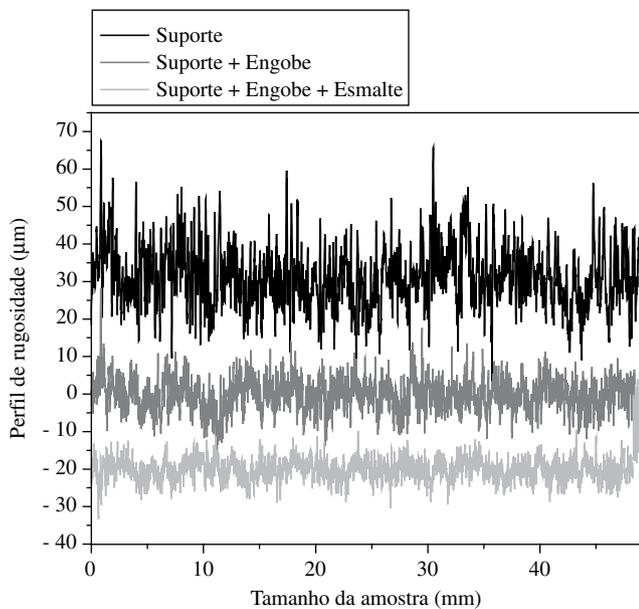


Figura 7. Perfis de rugosidade de peças cruas antes e após a aplicação do engobe e do esmalte.

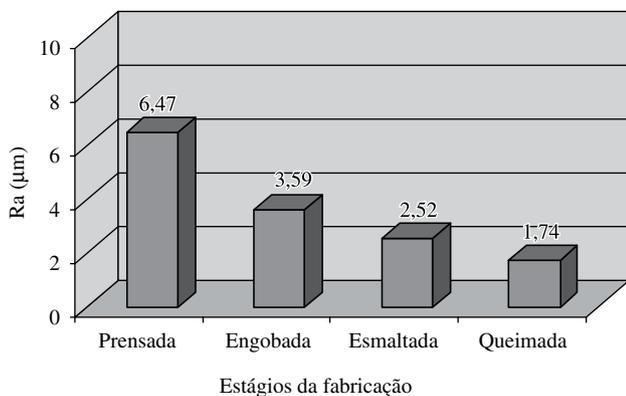


Figura 8. Evolução da rugosidade superficial ao longo das etapas da fabricação de revestimentos cerâmicos por via seca.

A evolução da rugosidade superficial através das etapas da fabricação indica que a mesma se desenvolve ao longo de distintos estágios do processo produtivo. A rugosidade superficial do produto acabado depende da rugosidade inicial da peça prensada, da redução de rugosidade promovida pela aplicação das camadas de engobe e esmalte e da redução de rugosidade promovida durante a queima, fundamentalmente através do estiramento do esmalte.

Os resultados obtidos, bem como a metodologia desenvolvida, podem orientar o desenvolvimento de produtos de menor rugosidade superficial, seja através do estiramento dos esmaltes ou da intervenção em alguma das demais etapas do processo de fabricação que exercem influência sobre a rugosidade final.

Agradecimentos

Ao Grupo de Cerâmicas Ferroelétricas, do Departamento de Física da UFSCar, especialmente nas pessoas do Prof. Dr. José A. Eiras e do Dr. Ricardo G. Mendes, pela colaboração com as determinações dos perfis de rugosidade das amostras avaliadas neste trabalho.

Referências

1. Carpinetti, L. C. R. et al. **Rugosidade Superficial.** Conceitos e princípios de medição. São Carlos: Serviço Gráfico USP – EESC. 2000. 51 p.
2. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. **Calidad Superficial:** Rugosidad, Tecnología Mecánica II, Zaragoza, 2003. Disponível em: <<http://www.unizar.es/euitiz/areas/areingpf/21206/desc/medrug.pdf>>.
3. Eppler, R. A.; Eppler, D. R. **Glazes and glass coatings.** Ohio: The American Ceramic Society. 2000. p. 271-276.
4. Clark, D. E.; Pantano JR., C. G.; Hench, L. L. **Corrosion of glass.** Books for Industry and The Glass Industry, New York, NY, 1979.
5. Escardino, A., et al. Empleo del rugosímetro para el estudio cuantitativo de la degradación, por abrasión, de vidriados cerámicos. In: CONGRESO MUNDIAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERAMICO, 2., 1992, Castellón. **Anais...** Castellón, 1992. p. 228-253.
6. Gonçalves, R. A. et al. Variação da refletividade e rugosidade de vidrados cerâmicos causada por ensaios abrasométricos. **Cerâmica Informação**, n.10, p.71-75, 2000.
7. Béltran, V., et al. Influencia de las características del polvo de prensas y de la temperatura de cocción sobre la microestructura porosa y resistencia a las manchas de baldosas de gres porcelánico. In: CONGRESO MUNDIAL DE LA CALIDAD DEL AZULEJO Y DEL PAVIMENTO CERAMICO, 4., 1996, Castellón. **Anais...** Castellón, 1996. p.137-152.