

Evolução da Superfície do Porcelanato ao Longo do Processo de Polimento

William S. Wiggers^{a*}, Ricardo A. Santos^{b,c*}, Dachamir Hotza^{a*}

^aCurso de Graduação em Engenharia de Materiais,
Departamento de Engenharia Mecânica – EMC, BLOCO A,
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Campus Universitário, CP 476,
Bairro Trindade, 88040-900 Florianópolis - SC

^bCerâmica Portobello S.A., BR 101, KM-163, 88200-000 Tijucas - SC, Brasil

^cPrograma de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PGMAT,
Departamento de Engenharia Mecânica – EMC, BLOCO A,
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Campus Universitário, CP 476,
Bairro Trindade, 88040-900 Florianópolis - SC

*e-mail: williamwiggers@yahoo.com.br, ricardoas@portobello.com.br, dhotza@gmail.com

Resumo: O processo de polimento é atualmente muito importante na fabricação do grês porcelanato e representa uma parte considerável no custo total do produto. Neste processo a superfície do porcelanato natural sofre transformações até chegar ao seu estado polido. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a evolução da superfície do porcelanato no processo de polimento industrial, analisando aspectos como a redução da espessura, a perda de massa, evolução do brilho, rugosidade superficial e sua microestrutura.

Palavras-chave: grês porcelanato, polimento, brilho, microestrutura, rugosidade superficial.

1. Introdução

O porcelanato técnico é um revestimento cerâmico que se caracteriza principalmente por possuir uma porosidade baixa em relação a outros produtos cerâmicos, apresentando uma absorção de água inferior a 0,5% conforme a NBR 138181.

Ele pode ser considerado um material no qual a sinergia entre a tecnologia de produção e as propriedades físico-mecânicas como densidade, resistência à flexão, dureza e resistência ao desgaste, é excelente. Estas características permitem a sua utilização em ambientes externos e internos garantindo uma alta confiabilidade e resistência a vários tipos de condições adversas.

Para melhorar suas características estéticas e sua posição competitiva em relação às pedras naturais, estes produtos são submetidos a um processo de polimento, que atualmente é amplamente difundido nas indústrias cerâmicas em todo o mundo.

Segundo Ibáñez², ao longo do processo de polimento ocorrem três principais transformações na peça: a perda de massa, o aumento do brilho e diminuição da rugosidade do porcelanato.

O polimento de um porcelanato é um processo específico e muito custoso. Nele ocorre a eliminação do material devido principalmente a processos de fratura frágil que são provocados por esforços sofridos na superfície da peça. Esta eliminação provoca um decréscimo em torno de 10% da espessura da peça produzindo uma superfície lisa e de alto brilho.

O processo de polimento atualmente é composto por duas etapas. A primeira etapa é chamada de etapa de aplainamento ou de calibração, onde uma grande quantidade de material é removida quando comparada com as etapas subsequentes. A calibração ocorre mediante a ação tangencial e descontinua gerada por uma série de rolos abrasivos diamantados, dispostos transversalmente à direção de avanço do material. A eliminação das deformações das placas cerâmicas, que apresentam uma superfície vitrificada dura, ocorre progressivamente, de modo a não comprometer a integridade das mesmas. Os rolos diamantados devem ter uma boa capacidade de corte com a intenção de trabalhar com uma pressão mínima sobre

a placa cerâmica para evitar perigos de quebra devido à fragilidade intrínseca do material.

As peças que saem do aplainador possuem uma superfície irregular, constituída por gretas ou sulcos profundos, que devem ser totalmente eliminados durante a etapa seguinte. Esta etapa utiliza cabeçotes que rotacionam e transladam transversalmente à peça. Estes cabeçotes são constituídos de agentes abrasivos com tamanhos de partículas progressivamente decrescentes. O principal abrasivo empregado é o SiC, embutido em uma matriz de composição variável. Durante esta etapa, é muito importante que o tamanho de partícula dos abrasivos siga uma seqüência determinada, pois a erosão provocada pelo abrasivo de tamanho maior difere da provocada por um abrasivo de tamanho de partícula menor, podendo produzir defeitos que não serão eliminados pela ação de abrasivos subsequentes. O objetivo principal desta etapa é produzir uma superfície lisa e especular, na saída da última cabeça polidora, caracterizando o produto final do processo de polimento²⁻⁴.

Este trabalho tem o objetivo de analisar as variações do processo de polimento do porcelanato técnico através da avaliação de algumas de suas propriedades ao decorrer da operação, como brilho, perda de massa e redução de espessura.

2. Materiais e Métodos

2.1. Amostragem

Foram selecionadas placas de porcelanato técnico, produzidas na unidade fabril da Portobello S/A (Tijucas, SC), com as dimensões 30 x 60 cm, pertencentes a um mesmo lote de produto, garantindo que suas condições de processamento tenham sido as mesmas.

2.2. Planaridade

Avaliou-se o desvio de planaridade e ortogonalidade das peças, fator que influenciará na variação da camada retirada quando as peças

passarem pelo processo de polimento. Esta medição foi executada nas quatro arestas das peças, conforme a Figura 1.

2.3. Espessura

As medidas de espessura das amostras foram feitas, tomando o cuidado para marcar exatamente o local onde o dado foi coletado para uma posterior medição. Para obter uma maior precisão, a medição foi efetuada utilizando-se um paquímetro digital Mitutoyo modelo 500-147B. Para as arestas maiores da peça foram feitas quatro medidas, e para as arestas menores foram feitas duas medidas, identificando cada aresta para uma análise posterior, conforme Figura 2.

A quantidade de camada removida foi obtida, através da equação:

$$e_r = e_a - e_d \quad (1)$$

onde: e_r = espessura removida (mm); e_a = espessura anterior (mm); e_d = espessura após etapa de polimento (mm).

2.4. Polimento

O processo de polimento foi executado por uma polidora Ancora (sem movimento transversal, instalada em 1996), com 2 rolos diamantados e uma testa radial responsáveis pela calibração das placas, e 26 cabeças polidoras distribuídas em 2 máquinas. Para todos os ensaios, foi definida uma velocidade de polimento padrão de 4,5 m/min com pressão das cabeças polidoras variando entre 2 e 3 psi. As máquinas polidoras utilizaram uma série sucessivamente decrescente de tamanho de partículas dos abrasivos, variando de 36 a 1500 mesh (530 μm a partículas menores que 3 μm), sendo 36 a 100 na primeira máquina, e 120 a 1500 na segunda máquina, conforme Tabela 1.

As amostras foram encaminhadas ao primeiro estágio do polimento, onde é executado o desgaste acentuado das peças, gerando um nivelamento da superfície a ser polida.

Passadas pela máquina de calibração, as peças são retiradas da linha para a execução de uma nova bateria de medições. Deve-se ressaltar que as medições de espessura são executadas com um cuidado para se determinar exatamente o mesmo local medido anteriormente, evitando os erros causados pela diferença de espessura ao longo da amostra.

Em seguida, as amostras foram encaminhadas para a entrada da primeira máquina polidora, onde se procedeu à eliminação da superfície sulcada, retirando-se os riscos gerados pela máquina de calibração.

Após passar pela primeira máquina, as peças continuaram na linha de polimento passando pela segunda máquina, que foi responsável pelo acabamento final do porcelanato polido, gerando uma superfície especular que possui um alto valor de brilho.

As amostras foram retiradas somente no final da segunda máquina, pois a camada removida na primeira e principalmente na segunda máquina é relativamente pequena, por consequência difícil de detectar, então se optou por analisar a quantidade total removida na primeira e na segunda máquina.

A terceira bateria de medições foi realizada conforme a primeira e a segunda, obtendo-se os dados finais de camada removida (camada removida apenas na última etapa e a camada removida pelo processo inteiro de polimento).

2.5. Brilho e massa

As medições de brilho e massa foram executadas em quatro baterias que correspondem respectivamente a: estado natural, após a calibração, na saída da primeira máquina e no estado polido.

Todas as medidas foram obtidas após as peças passarem por um processo de lavagem, que incluía a lavagem sob água corrente e

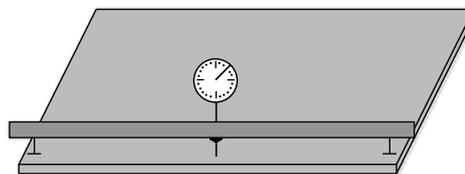


Figura 1. Medição de planaridade.

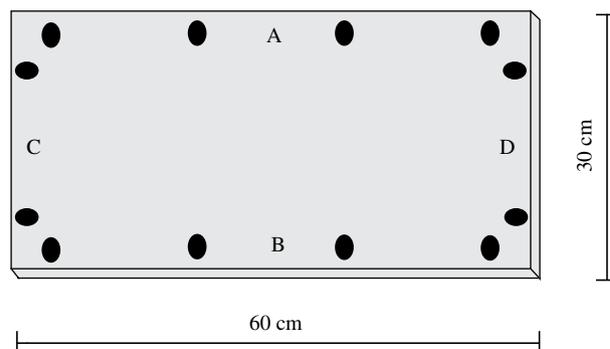


Figura 2. Medição da espessura.

Tabela 1. Tamanho médio do abrasivo.

Grana	Tamanho médio (μm)
1ª Máquina Polidora	
36	530
46	390
60	270
80	190
100	130
2ª Máquina Polidora	
120	110
180	75
220	63
280	36,5
320	29,2
360	22,8
400	17,3
600	9,3
800	6,5
1000	4,5
1200	3,0
1500	-

secagem em estufa a 120 °C. Este procedimento foi executado para retirar a sujeira que pode influenciar nos valores de brilho e massa.

O brilho de cada amostra foi medido com o auxílio de um refletômetro *Horiba* modelo *IG-320* possuindo um ângulo de incidência de 60°. Para uma varredura mais completa e precisa nas medidas de brilho, as placas foram mapeadas por 12 campos de análise igualmente distribuídos pela peça conforme mostrado na Figura 3.

As peças foram pesadas com a ajuda de uma balança eletrônica de laboratório *Ohaus* modelo *TS 4KS* com resolução de $\pm 0,1$ g.

2.6. Rugosidade superficial

Foi selecionada uma peça de cada etapa do processo de polimento para uma análise superficial com o objetivo de se obter o perfil das superfícies, e o parâmetro de rugosidade R_a .

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12

Figura 3. Mapeamento para medição do brilho.

O parâmetro R_a indica a rugosidade média da superfície, ou seja, a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas dos afastamentos dos pontos do perfil de rugosidade, em relação à linha média, dentro do percurso de medição l_m . R_a pode ser calculada pela equação²:

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y| dx \quad (2)$$

onde: l_m = distância percorrida pelo sensor; x = eixo horizontal; y = eixo vertical.

Para o ensaio de rugosidade, no laboratório USICON/EMC/UFSC, foi utilizado um rugosímetro Perthometer S8P 4.51 que consiste de um sensor de ponta de diamante com um ângulo de 60° e raio de 3 μ m. Também foi definido um l_m padrão de 17,5 mm.

3. Resultados e Discussão

3.1. Camada removida

A Figura 4 apresenta as médias de camada retirada em seus respectivos lados na etapa de calibração, na etapa de polimento (1ª e 2ª máquinas polidoras) e a camada total removida durante todo o processo. A seta indica a direção de polimento das peças.

Observando os dados de camada removida na etapa de calibração, nota-se uma diferença considerável entre as arestas da peça. Na aresta B, o valor de camada removida é menor em relação à aresta A. Este fato pode ser explicado considerando que os rolos calibradores não estavam exatamente alinhados, causando esta diferença de remoção.

Já nas máquinas polidoras, ouve uma inversão da tendência, ou seja, no lado B ouve uma remoção maior da espessura em relação ao lado A. Isto ocorreu como uma tentativa de estabilização da espessura das peças, pois a regulagem das máquinas polidoras é feita considerando que as peças entram planas, possibilitando uma remoção homogênea em todas as peças ao longo do processo. Com esta regulagem, e considerando que havia uma diferença de espessura entre as arestas das peças, houve uma remoção maior no lado mais “alto” da peça, mas não o suficiente para compensar a diferença gerada na etapa de calibração, pois a quantidade de material removido é provocada principalmente pela ação dos abrasivos com granulometria maior (exemplo, 36 a 220) no processo de polimento²⁻⁸, fato que também pode ser comprovado analisando os dados obtidos de perda de massa.

Observando o resultado final do processo de polimento em relação à espessura, nota-se que devido à diferença entre as arestas de 0,47 mm provocada na etapa de calibração, não houve um balanceamento total desta diferença nas máquinas polidoras, pois a remoção total do processo ainda ficou com uma diferença de 0,34 mm.

3.2. Brilho

A Figura 5 mostra a evolução do brilho nas peças ao longo do processo de polimento. As barras verticais indicam o desvio padrão

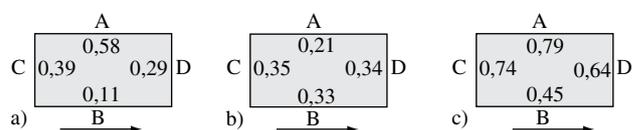


Figura 4. a) Médias de camada removida na etapa de calibração (mm). b) Médias de camada removida na etapa de polimento (mm). c) Médias de camada removida total do processo (mm).

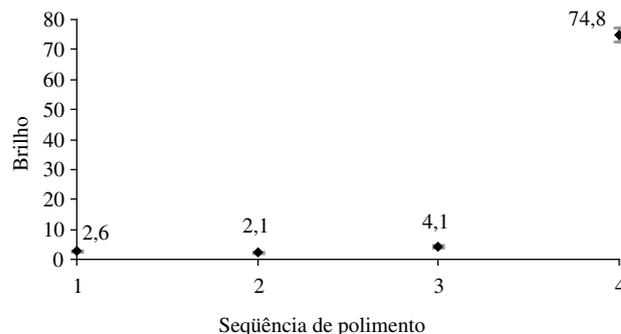


Figura 5. Evolução do brilho ao longo do processo de polimento.

encontrado nas medições. Os números no eixo horizontal, 1, 2, 3 e 4, correspondem respectivamente às peças: natural, aplainada, coletada na saída da primeira polidora e polida. Pode-se observar que os abrasivos mais finos (tipicamente acima dos 400 mesh²⁻⁸) influem muito mais no brilho quando comparados com abrasivos mais grossos.

Em relação às peças no seu estado natural, este produto apresenta valores de brilho relativamente baixos, pois o mesmo é produzido sempre no estado polido. Com o intuito principal de diminuir o custo do processo de prensagem, utiliza-se um punção de resina, que diferente do punção de aço deixando a superfície mais rugosa, aspecto que não influenciará no produto final, pois todos serão polidos, mas que causou esses valores relativamente baixos de brilho no produto natural.

Na etapa de calibração, ocorreu uma pequena redução do brilho quando se comparam os valores com o produto natural. Pode-se considerar que esta redução foi causada pelos sulcos formados a partir dos rolos abrasivos.

Na primeira máquina polidora, iniciou-se a retirada dos sulcos preparando a superfície para os abrasivos de menor granulometria que provocarão o aumento substancial no brilho das peças. Observando os dados, nota-se que da etapa de calibração para a primeira polidora, os valores de brilho praticamente dobraram, mas ainda foram muito baixos quando comparados com o brilho do produto final.

3.3. Perda de massa

A Figura 6 mostra a perda de massa das peças em decorrência do processo de polimento. Nota-se que a quantidade de massa removida em média por peça é em torno de 9%.

Comparando o processo inteiro de polimento, analisando o aspecto de perda de massa, nota-se que em torno de 55% do material removido foi causado pela etapa de calibração, 32% devido à ação dos abrasivos da primeira polidora e 13% na segunda polidora.

Quando esses dados são comparados com dados de produção de 100000 m² de porcelanato polido por mês, a quantidade de rejeito gerada pelo processo de polimento chega a 170 toneladas. Este rejeito não pode ser descartado na natureza devido a fatores ambientais. O mesmo pode ser utilizado em outros ramos da indústria como, por exemplo, na cerâmica vermelha ou reaproveitado, na formulação de outras massas cerâmicas.

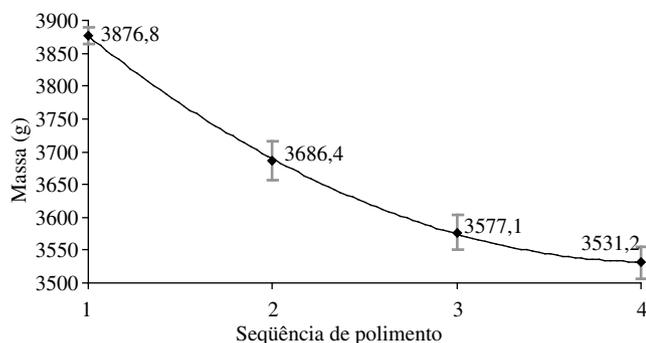


Figura 6. Perda de massa ao longo do processo de polimento.

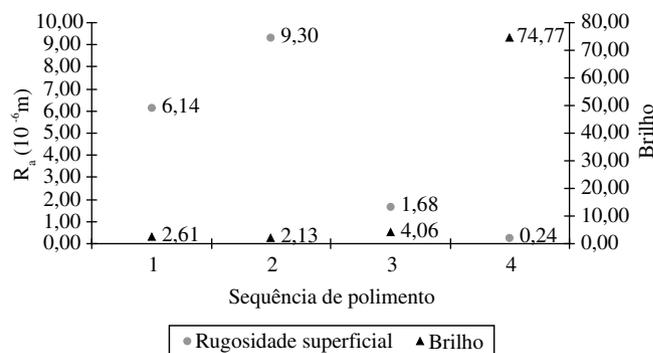


Figura 7. Rugosidade superficial vs. brilho.

3.4. Rugosidade superficial

A Figura 7 mostra um comparativo entre a rugosidade superficial obtida e o brilho das peças. Observa-se que a etapa de calibração causou um aumento significativo da rugosidade comparando com a peça em seu estado natural.

A primeira polidora, que possui tamanho médio de abrasivo na sua última cabeça de 130 μm , causou uma diminuição de rugosidade em torno de 7,6 μm quando se comparam os valores de R_a da etapa de calibração. Esta diminuição de rugosidade provocou um aumento em torno de dois pontos nos valores de refletividade, mas não o suficiente para alterar significativamente a reflexão da luz, dando o brilho desejável a peça.

A última etapa de polimento reduziu em 1,4 μm a rugosidade em relação à etapa anterior. Mesmo havendo esta mudança relativamente pequena na rugosidade, ocorreu um aumento brusco no brilho das peças, que de 4 passou para 74 de refletividade.

Analisando de modo geral, os abrasivos que possuem grãos maiores foram responsáveis pela diminuição da rugosidade da superfície causada pela etapa de calibração, e abrasivos de tamanho médio menor inseriram o brilho final das peças interferindo pouco na rugosidade da superficial das peças.

4. Conclusão

As características superficiais do porcelanato polido têm sido alvo de constantes pesquisas para melhor compreensão do processo de polimento. A partir deste estudo, podem ser destacadas algumas informações importantes observadas em cada etapa desta operação:

- A primeira fase do polimento, correspondente ao aplainamento da peça, possui como característica principal o arrancamento de material da superfície do porcelanato gerando numerosos sulcos que interferem nos valores de rugosidade e brilho. É nesta etapa que ocorre a maior redução do material, gerando a maior parte do resíduo resultante do processo;
- Na primeira polidora, o brilho sofre uma mudança pequena na sua intensidade e a rugosidade é reduzida consideravelmente, ambas devido à eliminação dos sulcos gerados pelo processo anterior de calibração; e
- Ao final do processo de polimento, observa-se que os abrasivos mais finos causam uma pequena diminuição da rugosidade, já que os sulcos tendem a ser eliminados e grande parte da rugo-

sidade do material, a partir desta fase, passa a ser regida pelos poros. O brilho aumenta consideravelmente, pois os abrasivos desta etapa final influem muito mais nesta característica do que os abrasivos mais grossos.

Assim, devido à capacidade de agregar valor à peça de grés porcelanato, no processo de polimento é fundamental obter-se um controle da rugosidade e do brilho. O conhecimento e a compreensão do estudo possibilitam um melhor aproveitamento do processo e futuros aprimoramentos, o que geralmente possibilita ao fabricante a garantia de um produto de qualidade e conseqüente satisfação do seu cliente.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Usinagem (USICON) do Departamento de Engenharia Mecânica (EMC) da UFSC, pelas medições de rugosidade.

Referências

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**: Placas Cerâmicas para Revestimento - Especificação e Métodos de Ensaio. Anexo B: Determinação da Absorção de Água. 1997.
2. Orts, M. J. et al. Comportamiento del Gres Porcelánico Durante la Operación de Pulido. **Boletim de la Sociedade Española de Cerámica y Vidro**, v. 40, n. 6, p. 447-455, 2001.
3. Esposito, L. et al. Stain Resistance of Porcelain Stoneware Tile. **American Ceramic Society Bulletin**, v. 81, n. 10, p. 38-42, 2002.
4. Esposito, L.; Tucci, A., Pulimentación de Baldosas de Gres Porcelánico: Aspectos Superficiales. **Técnica Cerámica**, v. 2000, n. 288, p. 1268-1275, 2000.
5. Sánchez, E. et al. Polishing Porcelain Tile, Part 1: Wear Mechanism. **American Ceramic Society Bulletin**, v. 81, n. 9, p. 50-54, 2002.
6. Hutchings, I. M. et al. Optimización del Proceso de Pulido para Piezas de Gres Porcelánico. IX Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y Pavimento Cerámico. **Proceedings...** Castellón, España, v. 3, p. BC 405-413, 2006.
7. Biffi, G. **O Grés Porcelanato**, 3ª ed., São Paulo: Faenza Editrice do Brasil, 2002.
8. Rosso, J.; Cunha, E. S.; Rojas-Ramírez, R. A. Características Técnicas e Polimento de Porcelanatos. **Cerâmica Industrial**, v. 10, n. 4, p. 11-14, 2005.