

## Influência da Variação do pH do Fluido de Corte no Processo de Polimento de Porcelanatos

**Rafael S. F. Pereira<sup>a\*</sup>, Ramom A. Mezari<sup>a</sup>, Fernando Luiz Peixoto<sup>a</sup>,  
Fábio J. P. Sousa<sup>b</sup>, Márcio Celso Fredel<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*Núcleo de Pesquisa em Materiais Cerâmicos & Compósitos - CERMAT,  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, Brasil*

<sup>b</sup>*Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation – FBK,  
Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, Alemanha*

*\*e-mail: rsfpereira@gmail.com*

**Resumo:** Mesmo com os avanços tecnológicos e mercadológicos nos processos produtivos de placas de porcelanato, os fenômenos físico-químicos que ocorrem durante a etapa responsável pelo ganho de brilho deste produto ainda necessitam maiores investigações (Hutchings et al., 2005; Orts et al., 2001). O presente trabalho tem como objetivo investigar a influência de alterações físico-químicas no processo de brunimento plano rotativo de placas de porcelanato. Inicialmente verificou-se a influência de detritos oriundos do desgaste da ferramenta abrasiva e da placa cerâmica no pH do fluido de corte utilizado. Em uma segunda etapa, foram investigadas possíveis mudanças tanto no coeficiente de atrito atuante no processamento, quanto no brilho final deste produto em função da alteração no pH do fluido de corte utilizando soluções-tampão, com diferentes pH's. Os ensaios foram conduzidos em um equipamento desenvolvido para simular as condições de contato e cinemáticas, em escala laboratorial, do processo industrial (Olenburg et al., 2013), que apresenta um cabeçote giratório e liberdade de movimento em três eixos. Os testes mostraram que os produtos provenientes do desgaste da ferramenta de corte alteram o pH da água utilizada no processo, até aproximadamente 10,5. Por sua vez, a alteração intencional do pH do fluido provoca mudanças no coeficiente de atrito envolvido no sistema, mensurado através da potência consumida pelo motor elétrico responsável pelo movimento de rotação do equipamento, assim como no brilho resultante do processamento, que pode chegar a até cinco unidades de brilho.

**Palavras-chave:** brunimento, polimento, porcelanato, pH, brilho.

### 1. Introdução

Após o desenvolvimento da queima rápida (biqueima e monoqueima), ocorrida ao final dos anos 1970 e em boa parte dos anos 1980, a segunda grande revolução no setor cerâmico deu-se com a concepção do porcelanato<sup>1</sup>. Este revestimento foi introduzido ao mercado no fim dos anos 1980 por Fiandre, uma das principais fabricantes italianas do setor<sup>2</sup>.

Atualmente o porcelanato é um dos produtos brasileiros de maior destaque no mercado de cerâmicas de revestimento, o qual, seguindo a tendência do setor, vem crescendo em produção ano após ano<sup>3</sup>. Este crescimento, aliado à possibilidade de incorporação de novas tecnologias e maior valor agregado do produto, torna a sua produção ainda mais atraente para o setor ceramista.

Por ser uma das principais características do porcelanato, o brilho recebe atenção especial durante seu processo de fabricação<sup>4</sup>. O brunimento plano rotativo, equivocadamente chamado de polimento<sup>5</sup>, é a etapa produtiva dedicada à obtenção desta propriedade, a qual por vezes é responsável por causar defeitos que culminam no descarte do produto na fase final de sua fabricação.

Segundo Hutchings et al. (2005)<sup>6</sup>, são gastos, por metro quadrado, de 20 a 40 litros de água e de 0,5 a 0,6 kg de ferramental durante este processo, fatos que contribuem para que esta etapa de manufatura corresponda a até 40% do custo final do produto.

Parte destes gastos é inerente ao processo, porém uma grande contribuição também é dada pela falta de conhecimento técnico do mesmo, facilmente perceptível pelo empirismo empregado na indústria e a escassez de publicações sobre o assunto<sup>6,7</sup>.

Em um dos estudos para melhor compreensão da energia consumida na etapa de acabamento, Cantavella et al. (2004)<sup>8</sup> mostraram que o coeficiente de atrito possui uma influência direta na potência consumida durante o processo, evidenciando uma oportunidade para aumento de sua eficiência.

Bittencourt e Benincá (2002)<sup>9</sup> mostraram que existe, até certo ponto, uma influência benéfica do aumento da vazão de água, utilizada como fluido lubrificante, durante o processamento de placas de porcelanato. No mesmo trabalho, realizado na indústria, resultados mostraram que a renovação da água utilizada no brunimento plano rotativo tem efeito benéfico na superfície final do porcelanato. Com base nisto foram realizados estudos buscando correlacionar a dureza da água (quantidade de íons de carbono e magnésio em solução aquosa) com a qualidade final da superfície do produto, porém os resultados não foram conclusivos.

No entanto, McColm (1990)<sup>10</sup>, demonstrou haver relação entre o pH de um fluido adsorvido na superfície de dado material cerâmico e a sua dureza.

Hutchings (1992)<sup>11</sup> e Hsu e Shen (1996)<sup>12</sup> mostraram que o estado de lubrificação tem influência direta nos mecanismos de desgaste envolvidos, pois o atrito da partícula abrasiva com a superfície gera esforços tangenciais que mudam completamente o estado de tensões sub- superficiais, facilitando a formação de fratura frágil em detrimento do deslocamento plástico. Este fato se torna fundamental quando levado em consideração que o aumento do brilho se dá principalmente no momento em que o mecanismo

de microsulcamento passa a ser predominante<sup>5,13</sup>. Com isto fica evidente a necessidade de estudos que abordem a influência de fatores mecânicos e físico-químicos no desenvolvimento das características de superfície da placa cerâmica.

O presente trabalho tem como objetivo observar a influência da variação do pH de fluidos lubri-refrigerantes no brilho e coeficiente de atrito atuante, durante o processo de brunimento plano rotativo de porcelanatos.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Testes iniciais

Foram realizados ensaios a fim de verificar a variação do pH da água utilizada como fluido de corte durante o brunimento plano rotativo de porcelanatos. Para tal, foi efetuada a moagem de blocos abrasivos utilizados no processo, bem como da placa cerâmica. Depois de cominuidos, os dois materiais foram adicionados, separadamente, em porções de um grama, em Beckers contendo 100 ml de água com pH 6,5. Este teste evidencia a variação do pH em função da quantidade de material adicionado (bloco de partículas abrasivas ou porcelanato moído).

### 2.2. Reprodução do processo

Após comprovada a alteração do pH, foram realizados testes em um equipamento capaz de reproduzir a cinemática do “cabeçote de polimento” durante o processo de brunimento de porcelanatos (Olenburg et al., 2013). Tal dispositivo pode ser visto na Figura 1.

Foi realizado um ensaio variando o pH do fluido de corte nos valores 3, 5, 7, 9 e 11, com três replicações cada, o qual teve o objetivo de verificar a existência da variação da potência consumida pelo equipamento. Em testes subsequentes foram estabelecidas sete condições diferentes de fluido de corte, além de três tempos de processamento, a fim de reproduzir a evolução do brilho com o tempo de processamento.

Como fluido de corte foram utilizadas soluções tampão com valores de pH's de 3, 5, 7, 9 e 11, e água destilada em um (i) sistema aberto de alimentação e (ii) sistema fechado contendo partículas suspensas oriundas do próprio processo de brunimento.

Por possuir liberdade de movimento em três eixos, além do eixo de rotação, o equipamento utilizado permitiu a reprodução da cinemática empregada nas primeiras linhas de brunimento aplicadas à indústria de revestimentos (sem movimento perpendicular ao fluxo do processo), sendo executados os movimentos de rotação do cabeçote, contendo a ferramenta abrasiva (Figura 2), e de deslocamento linear da ferramenta, reproduzindo o deslocamento das peças durante o processo. Assim, implementou-se uma trajetória cíclica da ferramenta na amostra, possibilitando simular a alteração do tempo de processamento através da variação da quantidade de ciclos empregados. A cinemática utilizada pode ser visualizada nas Figuras 3 e 4.

Os resultados foram registrados em forma de brilho e potência média consumida pelo motor elétrico, sendo que a segunda é um indicador direto do comportamento do coeficiente de atrito durante os ensaios.

Esta relação direta pode ser facilmente compreendida assumindo-se que a força de atrito atua como um carregamento distribuído em sentido oposto ao movimento de rotação da ferramenta, como mostra a Figura 5, onde  $\omega$  é a velocidade tangencial aplicada e  $q_{at}$  é o carregamento de atrito resultante.

O motor elétrico dispense potência para que o sistema realize o movimento de rotação; assim, quanto maior  $q_{at}$ , maior será a potência necessária para que a velocidade “ $\omega$ ” seja mantida para o mesmo sistema. O carregamento linear causado pelo atrito,  $q_{at}$ , é resultado



Figura 1. Máquina universal para ensaios de desgaste.

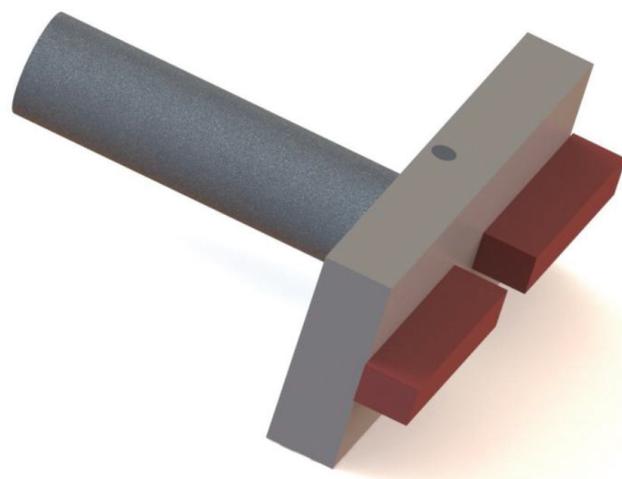


Figura 2. Ferramenta abrasiva utilizada.

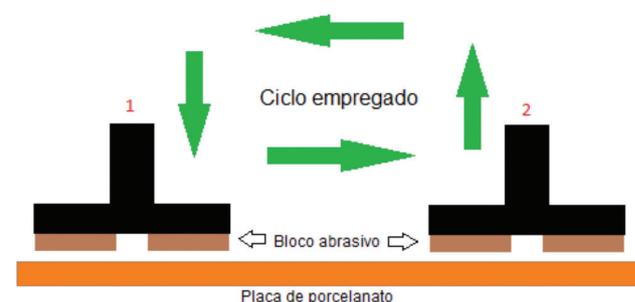


Figura 3. Cinemática (vista lateral).

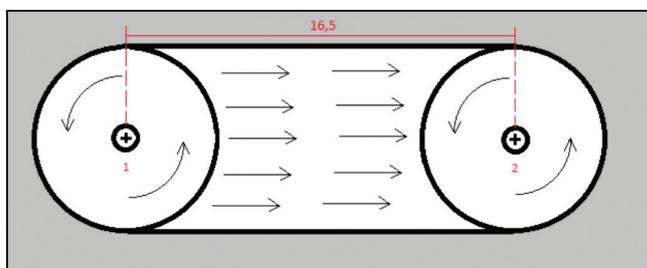


Figura 4. Cinemática (vista superior).

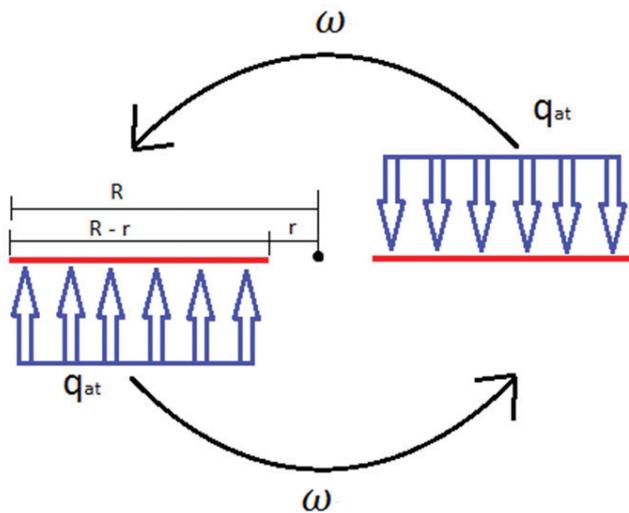


Figura 5. Carregamento de atrito resultante.

da seguinte relação entre o coeficiente de atrito ( $\mu$ ) e o carregamento normal atuante ( $q_n$ ):

$$q_{at} = q_n \cdot \mu$$

Com isto e possuindo as variáveis do sistema, é possível correlacionar o coeficiente de atrito com a potência utilizada, segundo a equação:

$$\frac{\mu}{A} = \frac{60 \cdot P}{q_n \cdot 2 \cdot \pi \cdot \omega}$$

onde, A é a área de contato entre o bloco abrasivo e a placa de porcelanato e P é a potência consumida.

### 3. Resultados

Os primeiros testes realizados durante o trabalho, confirmaram que o pH da água utilizada como fluido de corte tende a formar um meio com considerável alcalinidade, próxima ao pH 10,5, como mostrado na Figura 6, contrastando com o pH próximo a 8, avaliado antes do início do experimento.

Separando os componentes constituintes do processo em pó de porcelanato, carvão de silício e bloco abrasivo moído em béqueres com água, foi observado que apenas no último ocorreu mudança de pH, sugerindo que esta ocorra devido à dissolução do cimento de magnésio utilizado na composição da ferramenta abrasiva.

Testes utilizando solução tampão como fluido de corte em sistema aberto foram realizados a fim de mensurar a potência consumida pelo sistema e analisar a ocorrência de variação no coeficiente de atrito durante o brunimento.

Em um primeiro ensaio foram testados três corpos-de-prova para cada pH, porém a cinemática contou apenas com o movimento de rotação da ferramenta sobre a placa de porcelanato, sem o movimento que visa reproduzir o avanço das placas de porcelanato na linha de produção. Os resultados são apresentados na Figura 7.

Segundo os resultados obtidos no gráfico da Figura 7 pode ser observado que no pH 7, encontra-se o ponto de maior potência consumida e conseqüentemente o maior coeficiente de atrito do sistema.

Posteriormente, foram realizados testes com a cinemática modificada descrita anteriormente (rotação do cabeçote + deslocamento linear do porcelanato). Os resultados exibiram o mesmo comportamento

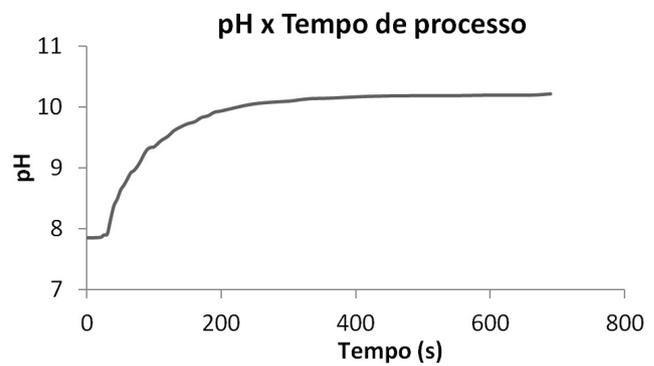


Figura 6. Variação do pH da água utilizada como fluido de corte no processo.

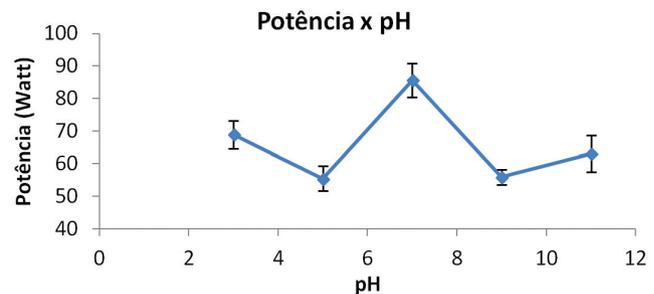


Figura 7. Variação da potência consumida para diferentes valores de pH.

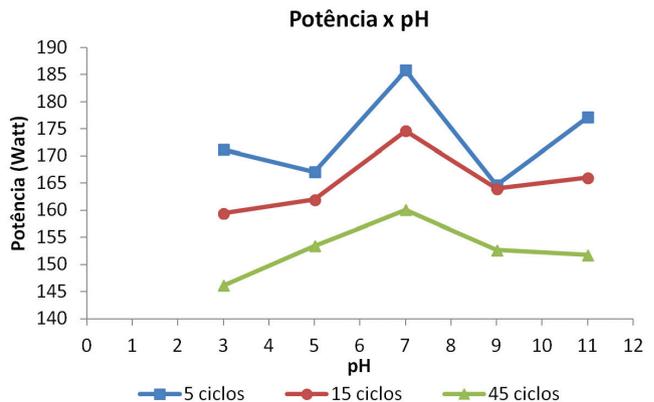
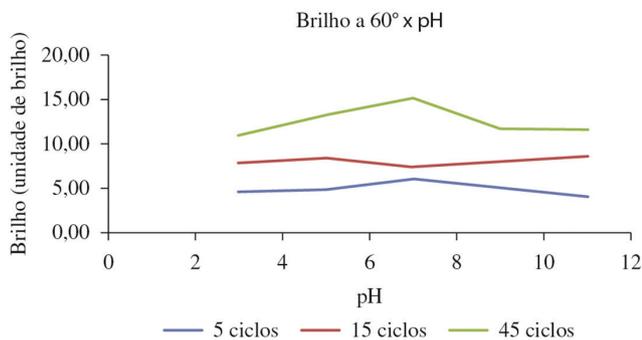


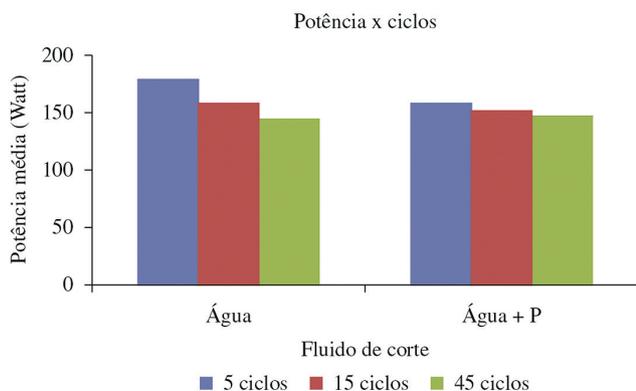
Figura 8. Variação da potência consumida em função do pH para diferentes tempos de processamento.

anterior, ou seja, quando o fluido de corte está com o pH por volta de 7, a potência e, por conseguinte, o coeficiente de atrito, atinge seu valor máximo, como observado na Figura 8.

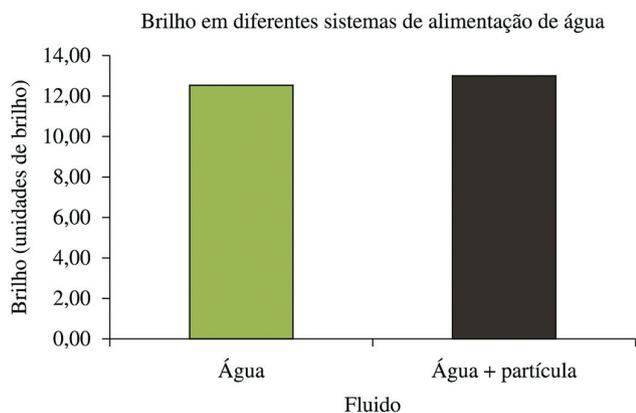
Observa-se também que ao aumentar o número de ciclos a potência média consumida pelo sistema tende a diminuir. Este efeito pode ser associado à redução da rugosidade inicial da peça, uma vez que no início do processo a presença de asperidades acentuadas pode causar o ancoramento das partículas abrasivas, aumentando o atrito. No decorrer do processo, a rugosidade é reduzida, assim como este efeito, pois para ciclos maiores a superfície tende a ficar com a rugosidade na ordem do tamanho do abrasivo utilizado, fazendo com que, a cada ciclo, a média dos resultados seja inferior até que, em uma situação ótima, esta média aproxime-se do valor final para o tamanho de partícula utilizado. Aqui vale salientar que por ter sido utilizado apenas um tamanho médio de abrasivo, a superfície precisa ser adequada a este para que então possa ser obtido um valor constante de potência média consumida. Como visto este valor não



**Figura 9.** Variação do brilho em função do pH para diferentes tempos de processamento.



**Figura 10.** Variação da potência consumida com sistema aberto (Água) e fechado de alimentação (Água + Partícula) do fluido de corte em diferentes tempos de processamento.



**Figura 11.** Variação de brilho nos sistemas aberto e fechado de fluido de corte.

foi alcançado na quantidade de ciclos propostas para o presente trabalho, uma vez que não houve a estagnação dos valores médios de potência por pH.

Foram realizadas também, medições de brilho nas amostras, sendo os resultados relacionados com o pH e o tipo de fluido de corte utilizado. A Figura 9 apresenta os resultados para medidas realizadas em 60° de reflexão em função do pH do fluido de corte. É possível observar que de modo similar ao consumo de potência, ocorre um máximo para o valor de pH igual a 7. Isto indica que nesta condição existe uma maior reflexão da luz incidida, isto é, um maior valor de brilho.

Correlacionando-se as Figuras 8 e 9 é possível concluir que o maior valor de brilho (pH 7) coincide com o valor onde a potência consumida (e assim, o coeficiente de atrito) atinge seu valor máximo.

Com o intuito de avaliar o efeito de detritos, também foram geradas curvas para o processamento com água destilada em sistema fechado e aberto, ou seja, com e sem a presença de resíduos provenientes do desgaste ferramental e do próprio porcelanato, que modificam o pH da água.

Os resultados mostrados na Figura 10 relacionam a potência média consumida com o tipo de água utilizada como fluido de corte (sistema aberto ou fechado). É possível observar que a potência média consumida varia pouco quando comparados os ensaios em quarenta e cinco ciclos. Também é observada a redução desta medida com o aumento do número de ciclos empregados, fenômeno que pode ser associado à redução das asperezidades durante o processamento, causando a diminuição do coeficiente de atrito atuante no sistema, como já citado anteriormente.

Também foi verificada a diferença do brilho a 60° para a água destilada e para a água com a presença de partículas oriundas do processo de desgaste da ferramenta.

A Figura 11 mostra o brilho medido nas condições acima citadas. É possível perceber um pequeno aumento do brilho neste ensaio, na ordem de 0,6 unidades de brilho (alteração que não é perceptível ao olho humano). Assim como a potência média, o brilho não apresentou alteração significativa em seu comportamento devido à presença de íons provenientes da matriz cimentícia utilizada.

#### 4. Conclusões

Foi possível verificar a existência de variação do pH da água utilizada como fluido de corte no processo de brunimento plano rotativo de placas de porcelanato.

Os experimentos realizados utilizando a água em diferentes sistemas de alimentação (aberto e fechado) não apresentaram grande variação de resultados, não comprovando alterações significativas no processo quando comparando água corrente e sistema retroalimentado, tanto para os resultados de potência média consumida, quanto para os resultados do brilho final obtido, tendo este aumentado apenas 0,6 UB, valor não perceptível aos olhos humanos.

Quando utilizadas soluções tampão como fluido de corte, a relação entre o brilho da placa ensaiada e o pH das soluções empregadas apresentou uma tendência não linear, tendo o pH 7 como maior valor para essa propriedade, mesma tendência observada quando avaliado o consumo médio de potência durante os experimentos, revelando que para a solução referida existe um maior coeficiente de atrito atuante no sistema tribológico em questão.

#### Referências

- HECK, C. Grés porcelanato. *Cerâmica Industrial*, v. 1, n. 4-5, p. 21-24, 1996.
- ABADIR, M. F.; SALLAM, E. H.; BAKR, I. M. Preparation of porcelain tiles from Egyptian raw materials. *Ceramics International*, v. 28, n. 3, p. 303-310, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-8842\(01\)00095-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-8842(01)00095-5)
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES - ANFACER. Disponível em: <[www.anfacer.org.br](http://www.anfacer.org.br)>. Acesso em: 1 out. 2013.
- WANG, C. Y. How abrasive machining affects surface characteristics of vitreous ceramic tile. *American Ceramic Society Bulletin*, v. 82, n. 10, p. 9201-9208, 2003.
- SOUSA, F. J. P. Polishing. In: LAPERRIÈRE, L.; REINHART, G. (Eds.). *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20617-7>
- HUTCHINGS, I. M. et al. Analysis and laboratory simulation of an industrial polishing process for porcelain ceramic tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 25, n. 13, p. 3151-3156, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2004.07.005>
- ORTS, M. J. et al. Comportamiento del gres porcelánico durante la

- operación de pulido. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, v. 40, n. 6, p. 447-455, 2001. <http://dx.doi.org/10.3989/cyv.2001.v40.i6.729>
8. CANTAVELLA, V. et al. Grinding work simulation in industrial porcelain tile polishing. **Key Engineering Materials**, v. 264-268, p. 1467-1470, 2004. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.264-268.1467>
  9. BITTENCOURT, E. L.; BENINCÁ, E. Aspectos superficiais do produto grês polido. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 4, p. 40-46, 2002.
  10. MCCOLM, I. J. **Ceramic hardness**. New York: Plenum, 1990. 324 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4757-4732-4>
  11. HUTCHINGS, I. M. **Tribology**: friction and wear of engineering materials. Oxford: Elsevier Science, 1992. 272 p.
  12. HSU, S. M.; SHEN, M. C. Ceramic wear maps. **Wear**, v. 200, n. 1-2, p. 154-175, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648\(96\)07326-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1648(96)07326-7)
  13. SÁNCHEZ, E. et al. Polishing porcelain tile. Part 1: wear mechanism. **American Ceramic Society Bulletin**, v. 81, n. 9, p. 50-54, 2002.
  14. OLENBURG, A. et al. Polishing of porcelain tiles in industrial- and laboratory-scale. **Ceramic Forum International**, v. 90, n. 3, p. E39-E43, 2013.