

Avaliação de Propriedades Mecânicas de Porcelanato Reforçados com Fibras Metálicas

Roslene de Almeida Garbelotto^{a,c*}, Agenor De Noni Júnior^{a,b},

Alexandre da Silva Rocha^c

^aInstituto Maximiliano Gaidzinski – IMG, Cocal do Sul, SC, Brasil

^bUniversidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil

^cUniversidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil

*e-mail: roslene.garbelotto@imgnet.org.br

Resumo: Neste artigo foi avaliado o comportamento de um compósito formado por massa cerâmica de porcelanato como matriz e reforço de fibras de aço. Com a inserção da fibra metálica, tem-se por objetivo aumentar a resistência ao impacto, proporcionando maior segurança em caso de ruptura acidental. O estudo laboratorial avaliou o comportamento mecânico de corpos-de-prova sem fibras e com a inserção de 5, 10 e 15 fibras de aço. A queima ocorreu em forno laboratorial. Foram realizados os ensaios padrões de caracterização de cerâmica acrescido da análise à resistência ao impacto através do ensaio de Charpy. Após interpretação dos resultados, verificou-se que o material compósito proporcionou melhores resultados quanto à deformação pirolástica e quanto à resistência ao impacto.

Palavras chaves: *fibras metálicas, resistência ao impacto, fratura.*

1. Introdução

Os revestimentos cerâmicos seguem a mesma tendência de outros produtos dos chamados setores industriais tradicionais buscando novos usos e aplicações, que permitam ampliar seus mercados¹. A aplicação em fachadas tradicionais ou fachadas ventiladas, por exemplo, requer um nível superior de desempenho, pois estão sujeitos a condições mais severas². A característica frágil da cerâmica é um dos inibidores, pois a queda de um fragmento da placa pode causar grandes problemas.

Nas fachadas tradicionais de revestimentos cerâmicos as peças são fixadas com argamassa colante sobre as paredes. O sistema de fachadas ventiladas consiste em um espaço entre a base suporte do edifício e a placa de revestimento que é fixada a estrutura por ancoragens mecânicas. Esse sistema amplia a eficiência energética dos edifícios que passam a ter característica de sistemas sustentáveis, com uso cada vez mais disseminado³. As peças de porcelanato especificadas para fachadas ventiladas possuem dimensões superiores a 60×60 cm². Placas cerâmicas formadas por multicamadas e materiais compósitos podem mudar o modo de propagação da fratura, deixando de ser puramente frágil.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a resistência ao impacto do porcelanato com adição de fibras metálicas e influência sobre algumas variáveis de processamento. As propriedades do metal deverão proporcionar à cerâmica ampliação em sua resistência ao impacto, gerando uma maior segurança em relação à fratura catastrófica. Os cermetos, de modo geral, são materiais compósitos formados pela união de duas classes distintas de materiais: cerâmica e metal. Normalmente é projetado tendo em vista as propriedades de um cerâmico, tais como a dureza, resistência a exposição a altas temperaturas e agentes químicos, e aquelas de um metal, como, por exemplo, a habilidade de submeter-se à deformação elástica^{4,5}.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

Para a realização do presente trabalho, foi utilizada uma massa industrial atomizada de porcelanato, composta por argilas, quartzo

e feldspato, proveniente do processo industrial de uma indústria de revestimentos cerâmicos de Santa Catarina. As fibras metálicas eram de aço com seção transversal uniforme com 0,25 mm de diâmetro e comprimento de 65 mm, conforme mostrado da Figura 1.

2.2. Preparação dos corpos de prova

Foram preparados corpos de prova com dimensões de 80×20×6 mm³, com adição de 5, 10 e 15 fibras distribuídas em uma, duas e três camadas respectivamente e corpos de prova sem a adição de fibras. A conformação ocorreu por prensagem a partir do pó com umidade de 5,5%. Todas as compactações foram realizadas sob pressão específica de 43MPa, com desaerações em 6,0MPa e 13,2MPa. A distribuição da fibra nos corpos de prova foi feita de forma longitudinal por camadas com 5 fibras. A aplicação foi realizada de forma manual com o auxílio de uma pinça conforme ilustrado na Figura 2. O esquema da distribuição das fibras nos corpos-de-prova está representado na Figura 3. Após conformados, os corpos eram levados a uma estufa laboratorial para retirar a umidade necessária na conformação com uma temperatura aproximada de 105 °C (±5 °C). A queima foi realizada em forno intermitente, com taxa de aquecimento de 10 °C/min até 1210 °C e 6 min de patamar. A temperatura de queima foi determinada previamente por diagrama de gresificação com os corpos-de-prova que continham fibras. Os corpos-de-prova sem e com aplicação de 5 fibras também foram submetidos a queima em forno laboratorial contínuo, a 1210 °C com tempo de frio-a-frio de 60 min.

2.3. Caracterização dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram caracterizados por medida de densidade aparente a cru por imersão em mercúrio. O índice de deformação pirolástica⁶ foi medido sob as mesmas condições de queima descritas anteriormente, mas com os corpos-de-prova apoiados apenas pelas extremidades longitudinais. Os corpos-de-prova após a queima foram caracterizados por absorção de água; resistência mecânica à flexão três pontos⁷ em Cromômetro Gabrielli;

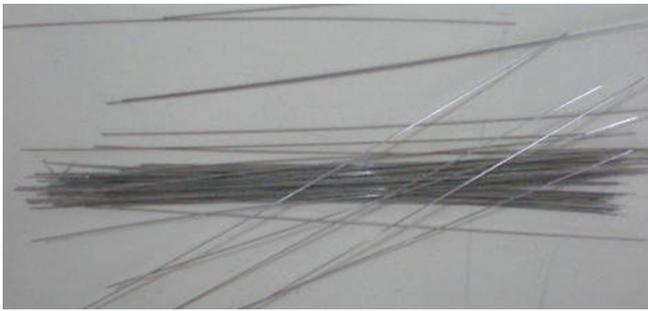


Figura 1. Fibras prontas para a utilização.



Figura 2. Aplicação das fibras na etapa de conformação.

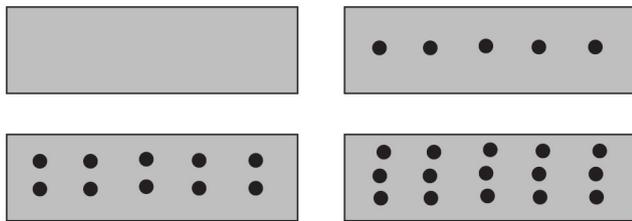


Figura 3. Representação esquemática da seção transversal dos corpos-de-prova com a distribuição das fibras metálicas.

resistência mecânica ao Impacto Charpy (NBR 9564^{8,9} – para plásticos rígidos utilizando o equipamento Charpy AIC – 3). As quantidades de corpos-de-prova (CP), de cada configuração, para cada experimento foram: 20 CP para densidade aparente a cru, 3 CP para o índice de Piroplasticidade, 9 CP para absorção de água, 7 CP para a resistência a flexão e 8 CP para a resistência ao Impacto.

3. Resultados e Discussões

3.1. Densidade aparente à seco

A Figura 4 apresenta os resultados de densidade aparente a seco em função do número de fibras. Pode-se observar aumento na densidade aparente com o aumento no número de fibras. Este comportamento é esperado, uma vez que a densidade das fibras é de 7847 kg/m³ enquanto a densidade do material cerâmico compactado foi de 1938 kg/m³. A linha de tendência mostrada no gráfico corresponde a estimativa teórica dos valores de densidade aparente. Observa-se que a presença das fibras não alterou a compactação da matriz cerâmica, caso contrário os resultados não se comportariam conforme a previsão.

3.2. Índice de deformação pirolástica

A Figura 5 apresenta os resultados de índice de deformação pirolástica em função do número de fibras. Pode-se observar

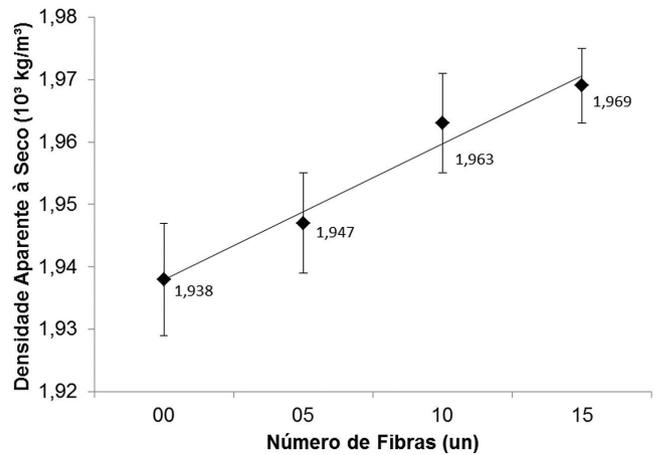


Figura 4. Densidade Aparente a Seco em função da quantidade de fibras.

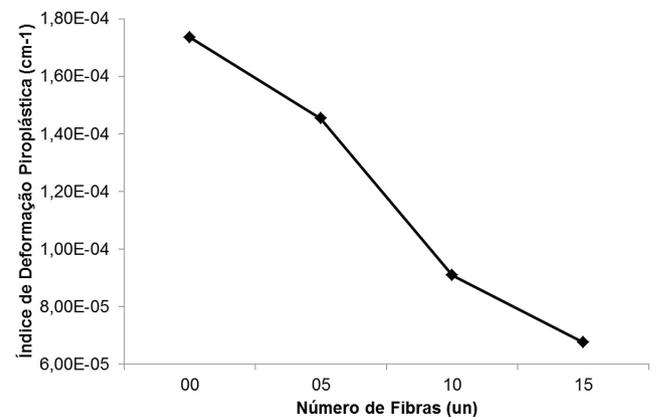


Figura 5. Índice de Deformação Piroplástica.

redução significativa na deformação pirolástica com o aumento no número de fibras no material. As fotografias dos corpos-de-prova na Figura 6 ilustram o resultado visual. O efeito mais significativo foi observado nas montagens onde as fibras não estavam posicionadas na linha neutra da flexão, corpos com 10 fibras. O ganho observado de 0 para 5 fibras foi semelhante ao observado de 10 para 15 fibras, provavelmente por que em ambos os casos as fibras adicionais estavam posicionadas na altura da linha neutra da flexão¹⁰. A seção transversal dos corpos-de-prova queimados está apresentada na Figura 7.

3.3. Absorção de água

Para todos os casos a absorção de água medida foi inferior a 0,5%, oscilando entre 0,1% e 0,4%, sem nenhuma tendência particular em função da quantidade de fibras.

3.4. Resistência mecânica flexão

A Figura 8 mostra os resultados de resistência mecânica à flexão em função do número de fibras. Para o caso dos corpos-de-prova queimados em forno intermitente não se observou variação significativa em função da presença das fibras. Este resultado era esperado¹¹ uma vez que durante o ensaio de flexão a carga máxima de tração ocorre na superfície do corpo-de-prova, local onde não há fibras para eventualmente interferir no resultado. Neste ensaio as fibras não se romperam, mantendo a peça unida. Os corpos-de-prova queimados em forno contínuo apresentaram maior valor de resistência mecânica. Provavelmente em função de ter sido submetido

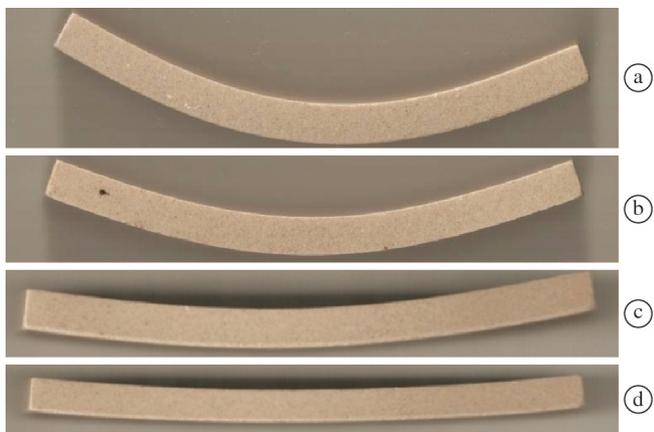


Figura 6. Corpos-de-prova após o ensaio de Deformação Piroplástica. (a) 0 fibras, (b) 5 fibras, (c) 10 fibras, (d) 15 fibras.

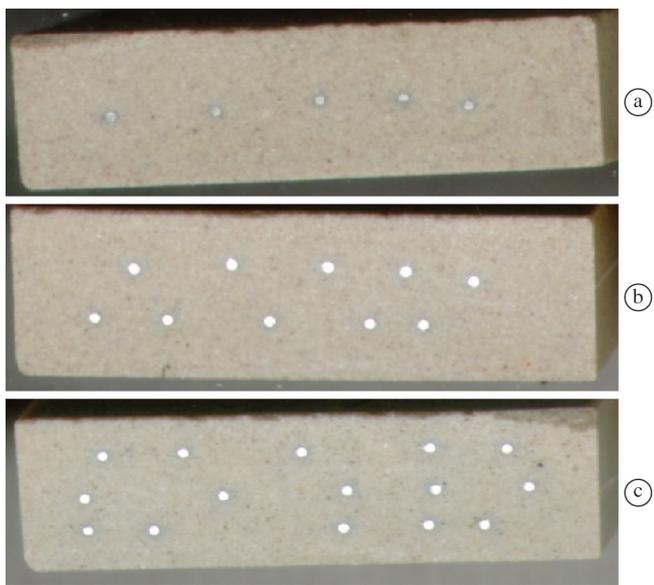


Figura 7. Superfície transversal dos corpos de prova de cermetos obtidas por corte. (a) 5 fibras, (b) 10 fibras, (c) 15 fibras.

a resfriamento rápido, o que pode contribuir para geração de tensões residuais de compressão da superfície¹².

3.5. Resistência mecânica ao impacto

Pode-se observar na Figura 9 que, conforme aumenta o número de fibras, há um aumento gradativo em sua resistência ao impacto. Por outro lado o incremento não é linear, conforme poderia ser esperado. A razão entre o incremento da resistência ao impacto pelo número de fibras diminui com o aumento no número de fibras. Este resultado é devido a oxidação das fibras durante a queima. Quanto maior o número de fibras, mais próximas da superfície elas se encontram, estando mais vulneráveis a oxidação. O resultado obtido para os corpos-de-prova com 5 fibras queimados em forno contínuo é superior ao resultado obtido com a queima lenta. Comparando os dois casos o incremento de resistência ao impacto por unidade de fibra foi de 3,8 J/m, para a queima lenta e 8,0 J/m para a queima rápida. Mesmo estando com certo grau de oxidação as fibras apresentaram fratura dúctil, conforme apresentado na Figura 10. A literatura¹¹ relata uma técnica de compactação contínua de porcelanato, enriquecido com fibras, variando de 1,5 J para 8,5 J na energia mecânica ao impacto, ou seja, um acréscimo de 5,7 vezes. Neste estudo os valores obtidos com a queima rápida, obtiveram um ganho de aproximadamente 8 vezes.

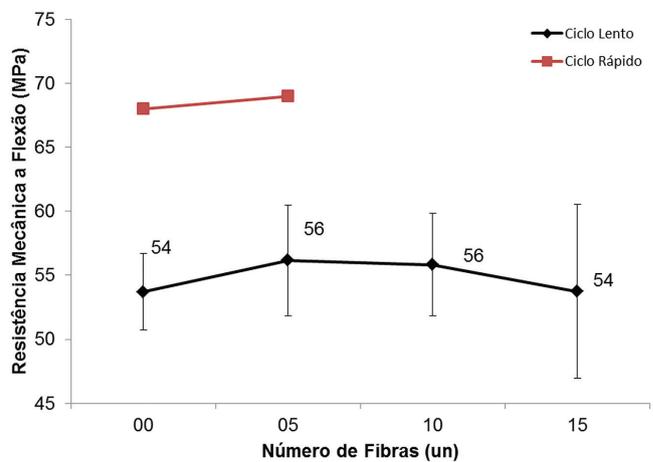


Figura 8. Resistência Mecânica à Flexão em função do número de fibras.

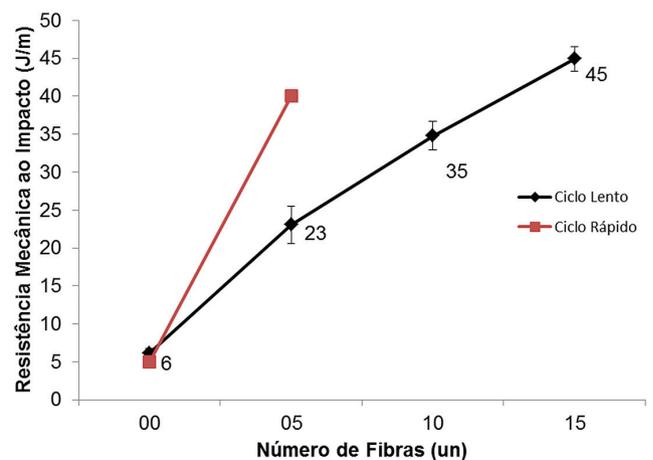


Figura 9. Resistência Mecânica ao Impacto.

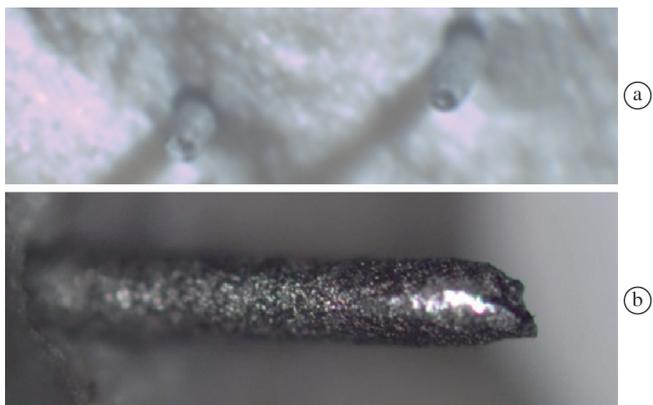


Figura 10. Imagem da superfície de fratura após ensaio de Charpy. (a) vista frontal da fibra, (b) vista longitudinal da fibra.

4. Conclusão

Analisou-se o comportamento das propriedades mecânicas dos corpos-de-prova de porcelanato sem fibras e com 5, 10 e 15 fibras de aço distribuídas em camadas. Com os resultados obtidos comprovou-se por meio de avaliação e comparação que as fibras metálicas são viáveis para incrementar algumas de suas propriedades físicas.

A presença das fibras manteve a característica do porcelanato quanto à absorção de água. A redução do índice de deformação

piroplástica proporciona uma melhora substancial no desempenho do produto inibindo a deformação na queima causada pela vitrificação do material cerâmico. Assim a distribuição das fibras acima e abaixo da linha neutra de flexão da peça é a que proporciona menor deformação. As fibras que ficaram mais internas ao corpo de prova sofreram menor oxidação, pois ficaram mais protegidas, pela camada de cerâmica, dos gases liberados durante a queima.

A existência das fibras modificou o comportamento da cerâmica analisada nos ensaios de flexão e impacto. No ensaio de flexão houve o rompimento da matriz do compósito, mas a fibra uniu os fragmentos mantendo a forma geométrica dos corpos de prova e o ensaio de impacto registrou a inibição da propagação da fratura. Esses dois fatos são importantes para a aplicação desse produto em fachadas e em outros locais expostos a fraturas acidentais que coloquem a uma situação de risco.

Com a queima realizada no ciclo rápido obteve-se melhores resultados quanto a resistência mecânica a flexão e a resistência mecânica ao impacto. A queima rápida oxidou menos as fibras metálicas, proporcionando menores danos as suas propriedades mecânicas originais, mantendo uma fratura mais dúctil. Condição desejada neste trabalho, pois numa produção industrial a queima num ciclo rápido é mais prática e econômica.

Referências

1. BERTO, A. M. Ceramic tiles: above and beyond tradicional. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 27, n. 2-3, p. 1607-1613.
2. PELLICELLI, G. et al. **Trayectorias de la trayectorias de la grieta y mecanismos de fortalecimiento em materiales compuestos de acero-matriz porcelánico**. Castellón: Qualicer, 2008.
3. CAMPOS, K. F. **Desenvolvimento de sistema de fixação de fachada ventilada com porcelanato fina espessura**. 2011. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
4. CALLISTER, J. R.; WILLIAN, D. **Ciência de engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 589 p.
5. VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência dos materiais**. 12. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. 427 p.
6. PRADO, A. C. A. et al. Redução da susceptibilidade à deformação piroplástica das argilas do pólo cerâmico de Santa Gertrudes através da adição de matérias primas. **Cerâmica**, v. 54, n. 329, p. 7-20, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132008000100003>
7. SOUZA, S. A. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos**. São Paulo: Edgard Bhucher, 1982.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13818**. Placas cerâmicas para revestimentos: especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997. 78 p.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9564**. Ensaio para plásticos rígidos. Rio de Janeiro, 1986.
10. BEER, F. P.; JOHNSTON JUNIOR, E. R. **Resistência dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1995. 1255 p.
11. BRESCIANI, A.; RICCI, C. **Compactación continua de placas cerâmicas reforzadas con fibras altamente resistentes**. Castellón: Qualicer, 2006. p. 347-362.
12. NONI JUNIOR, A. **Estudo das propriedades mecânicas de porcelanato através da avaliação de tensões residuais microscópicas e macroscópicas originadas durante a etapa de resfriamento do ciclo de Queima**. 2007. 125 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.