



ANÁLISE DE CARBETO DE SILÍCIO E ALUMINA PARA BLINDAGEM BALÍSTICA POR MEIO DE BACKFACE SIGNATURE

Shanely da Silva Ribeiro¹ – silva.shanely@ime.eb.br
Jeremias Ismael Nunes Fortini¹ – fortini@ime.eb.br
André Bittencourt Cabral² – andre.cabral@ufsc.br
Altair Sória Pereira³ – altair@if.ufrgs.br
Marcio Celso Fredel² – m.fredel@ufsc.br
Eduardo de Sousa Lima¹ – sousalima@ime.eb.br

¹ Instituto Militar de Engenharia, Materiais – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Universidade Federal de Santa Catarina, Mecânica – Santa Catarina, SC, Brasil

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Materiais, Rio Grande do Sul, RS, Brasil

Resumo. *O carbeto de silício emerge como uma cerâmica composta fascinante e versátil, ampliando seu interesse tanto na comunidade científica quanto industrial. A alumina, conhecida como óxido de alumínio (Al_2O_3), também se destaca como uma cerâmica notável, sendo amplamente explorada na ciência e na indústria. Os dois compostos tem características semelhantes como alta resistência mecânica, boa condutividade térmica e estabilidade em altas temperaturas. O presente estudo tem como objetivo demonstrar o desempenho de cada um dos compostos nos ensaios de tiro e assim analisar seu comportamento como proteção balística. Foram confeccionados seis corpos de prova, três deles contendo carbeto de silício e três contendo alumina. A microscopia eletrônica de varredura foi empregada para caracterizar os pó de carbeto de silício, enquanto a caracterização da alumina foi realizada na área de fratura após o processo de sinterização. Foi simulado um sistema de blindagem multicada, usando uma placa de aço e os corpos cerâmicos colados, fixados com fita silver tape e fixados na plastilina para a realização dos testes balísticos, segundo norma NIJ 0101.04. Os corpos de prova foram fixados a 15m de distância do cano da arma e usado assim o calibre 7.62mm, ocorrendo a perfuração parcial, pode-se então produzir o teste de backface signature. O CP I teve perfuração completa com dissipação excessiva de energia, assim não sendo possível a realização no CP II. Os CP's III e VI, tiveram perfuração completa, sendo assim impossibilitando a realização do teste. Os demais corpos de prova IV e V, tiveram perfuração parcial, com os valores de 18,3 mm e 32,8 mm, respectivamente.*

Palavras chave: *Carbeto de silício, Alumina, Backface Signature.*

1. INTRODUÇÃO

O carbeto de silício (SiC), é uma e versátil cerâmica composta, que tem conquistado crescente interesse na comunidade científica e industrial. Suas notáveis características, como alta resistência, excelente condutividade térmica e estabilidade em altas temperaturas, conferem-lhe um papel crucial em diversas aplicações tecnológicas e industriais (Silva, 2019), (Zhang *et al.*,

2021), (Kim *et al.*, 2022), além de uma estrutura cristalina estável e durável (Lauterbach *et al.* 2018), (Lee, *et al.*, 2020).

No entanto, sua sinterização, sem adição de aditivos ou aplicação de pressão, apresenta-se como um desafio intrincado devido à natureza das ligações covalentes (Lauterbach *et al.* 2018), (Lee, *et al.*, 2020), (Xu, *et al.*, 2020). Contudo, pesquisas tem explorado a incorporação de óxidos como aditivos para auxiliar no processo de sinterização, criando assim uma fase líquida que facilita a densificação do material (Xu *et al.*, 2020).

A aplicabilidade e versatilidade do SiC são amplamente evidentes em sua presença nos mais diversos setores industriais, como engenharia aeroespacial, eletrônica, metalurgia e energia, entre outros (Wu *et al.*, 2021), (Park *et al.* 2020).

O SiC é utilizado em aplicações que exigem alta resistência ao choque térmico e corrosão, como em revestimento refratários e componentes estruturais para turbinas a gás e reatores nucleares (Singh *et al.*, 2020), (Rambhia *et al.*, 2021). Tendo seu uso difundido na indústria automotiva, em componentes de sistemas de freios de alta performance, devido à sua elevada condutividade térmica, estabilidade em altas temperaturas e baixa taxa de desgaste (Sever *et al.*, 2019), (Som *et al.*, 2020).

Dentro do campo científico, pesquisadores têm explorado novas formulações de CMCs (compósitos de matriz cerâmica) à base de SiC. O reforço de outros materiais cerâmicos à matriz de SiC, como alumina e ítria, para a melhoria na sinterização em fase líquida, tem demonstrado vantagens promissoras, permitindo uma sinergia de propriedades que resulta em compósitos de elevado potencial para aplicações técnicas e estruturais (Pujari *et al.*, 2019), (Jiang *et al.*, 2022) (Kumar; Kumar; Seetharam; Singh, 2023).

Em síntese, o carbetto de silício apresenta-se como uma substância singular e de grande interesse para a ciência e indústria, demonstrando um vasto leque de aplicações em diversos setores. Seu potencial como um material de destaque em ambientes hostis e de alta demanda técnica impulsiona continuamente pesquisas e desenvolvimento, tornando-o um componente valioso no panorama dos materiais avançados (Castro *et al.*, 2018), (Gonçalves *et al.*, 2017), (Izhevskiy; Genova; Bressiani; Bressiani, 2000).

A alumina, também conhecida como óxido de alumínio (Al_2O_3), é uma notável cerâmica amplamente explorada na ciência e na indústria (Roberge, 2015), (Schwartz *et al.*, 2020), (Gupta, 2005). Sua formação resulta em uma formação altamente estável e resistente. Tal característica confere à alumina alta resistência mecânica, bem como propriedades dielétricas notáveis, tornando-a uma escolha ideal para aplicações em ambientes extremos (Ahmad *et al.*, 2017), (Zhang *et al.*, 2018).

O processo de sinterização da alumina, embora considerado mais acessível quando comparado ao carbetto de silício (SiC), ainda apresenta desafios significativos. Sua densificação é influenciada por diversos fatores, como tamanho de partícula e aditivos, os quais são cuidadosamente otimizados para obter uma microestrutura altamente densa e homogênea (Castro *et al.*, 2021), (Monteverde *et al.*, 2019), (She; Ueno, 1999).

Sua ampla presença na indústria de cerâmicas técnicas, dá-se devido a sua aplicabilidade e versatilidade, empregada em componentes de alta resistência, como rolamentos, guia de deslizamento (Shyan *et al.*, 2022), (Kirchner *et al.*, 2021); usada no setor energético, como isolante elétricos de alta tensão e peças refratárias para fornos industriais (Hidalgo *et al.*, 2021), (Veith *et al.*, 2020) ; indústria médica, como em implantes ortopédicos, dentários e cerâmicas biomédicas (Shyan *et al.*, 2022), (Kirchner *et al.*, 2021) e no setor eletrônico, na forma de substratos e componentes elétricos (Hidalgo *et al.*, 2021), (Veith *et al.*, 2020), (Wachtman; Cannon; Matthewson, 2009).

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento do carbetto de silício (SiC) e da alumina (Al_2O_3), por meio do teste de backface signature (BFS), para uso em proteção balística.

2. DESENVOLVIMENTO

No presente estudo foram usados dois pós comerciais: o de carvão de silício e o de alumina.

2.1 Materiais e Métodos

O pó de SiC foi obtido pelo método de *spray dryer*, cedido pela empresa Fiven. Sua formulação contém alumina (Al_2O_3) e ítria (Y_2O_3), nas proporções de 5,5% e 3,5% em peso, respectivamente (Fiven, 2020).

O pó de Al_2O_3 , é comercial com teor superior à 95%, com massa específica aparente em torno de $3,8\text{g}/\text{cm}^3$. Tal cerâmica tem excelente resistência a ataques químicos e elétricos, conforme informações fornecidas pelo fabricante (Cetarch, 2023). O material utilizado foi submetido a processos de prensagem e sinterização.

Obtiveram-se seis placas hexagonais, sinterizadas, sendo três delas de SiC e três de Al_2O_3 .

As amostras de carvão de silício (SiC) foram submetidas a prensagem, auxiliada por matriz rígida e prensa uniaxial, a uma pressão de 80 MPa. Esse processo resultou na obtenção de três corpos verdes de cada grupo, SiC e alumina (Al_2O_3), totalizando seis corpos de prova, conforme ilustrado na Figura 1.

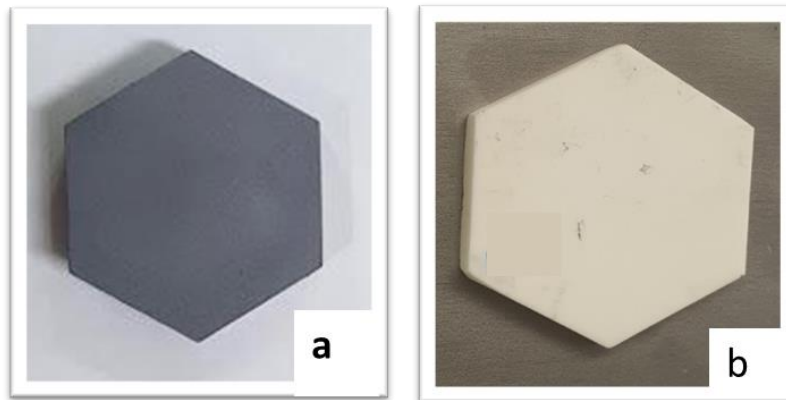


Figura 1. Placas balísticas sinterizadas a) carvão de silício (SiC); b) alumina (Al_2O_3)

Antes do processo de sinterização, foi realizado um procedimento preliminar para a remoção dos ligantes, com o objetivo de evitar qualquer contaminação do elemento aquecedor de grafite. A sinterização propriamente dita foi conduzida em um forno com elemento aquecedor de grafite, fornecido pela Thermal Technology Inc., sob uma atmosfera controlada de argônio (Ar) com 99% de pureza. Durante esse processo, a taxa de aquecimento utilizada foi de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, alcançando a temperatura de 1800°C , onde as amostras foram mantidas por 1 hora. Posteriormente, ocorreu o resfriamento das amostras até atingirem a temperatura de 850°C , utilizando também uma taxa de resfriamento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$. Após esse estágio, o material foi levado à temperatura ambiente, devido à sua inércia térmica. Esse rigoroso protocolo de sinterização em atmosfera controlada, com controle preciso de temperatura e taxa de aquecimento, visa garantir a obtenção de corpos cerâmicos densos e homogêneos, com propriedades físicas e mecânicas consistentes e confiáveis para análises posteriores.

Para a realização dos testes, foi simulado um sistema balístico multicamada (SBM). Uma placa de aço inox 316L, de dimensões 100×100 mm como base para a aplicação dos corpos hexagonais cerâmicos, sendo colados com cola PU e após esse procedimento fixados com cola *silver tape*, como observado na Figura 2.

O SiC e a Al_2O_3 foram obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), no Laboratório do Instituto Militar de Engenharia (IME).

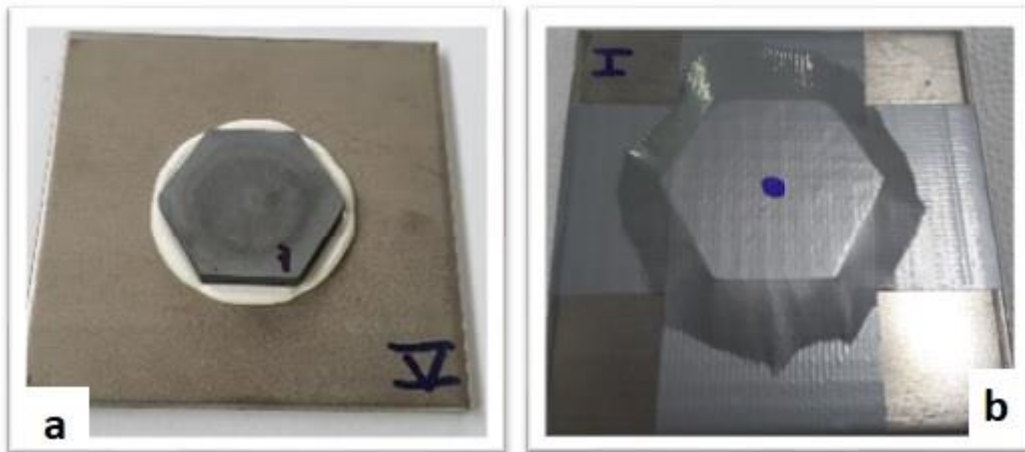


Figura 2. Corpos de prova a) carbeto de silício (SiC); b) alumina (Al_2O_3).

Os ensaios balísticos foram realizados no Centro de Avaliações do Exército (CAEx) e os demais ensaios foram realizados no laboratório de ensaio mecânicos do Instituto Militar de Engenharia (IME), certificado pelo INMETRO de acordo com a ABNT NBR ISO 17025 (ASTM, 2018).

A Figura 3 mostra as simulações de SBM fixadas na plastilina, e dimensionados conforme a NIJ (National Institute of Justice). Os seis CPs utilizados, sendo três com carbeto de silício e três com alumina, foram dispostos a 15 m de distância e assim feito um disparo para cada corpo de prova (CP). Para a NIJ 0101.04, foi utilizado o calibre 7,62 mm (National Institute of Justice, 2023), (ASTM, 2018).

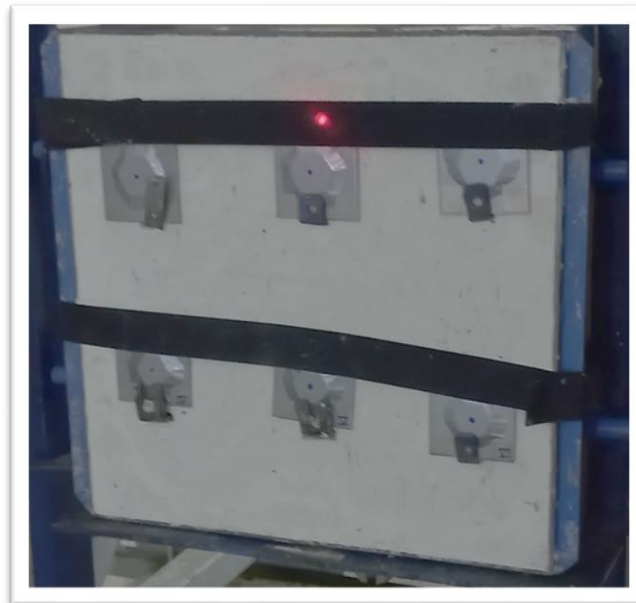


Figura 3. Corpos de prova fixados na plastilina.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra a morfologia esférica do pó de SiC, o processo de esferoidização usado no carbeto de silício e seus aditivos, essa técnica busca a melhoria na compactação e a resistência do corpo verde, além do aumento da molhabilidade entre as partículas durante a sinterização em presença de fase líquida, sendo assim havendo a redução da porosidade e um aumento significativo na densificação do material.

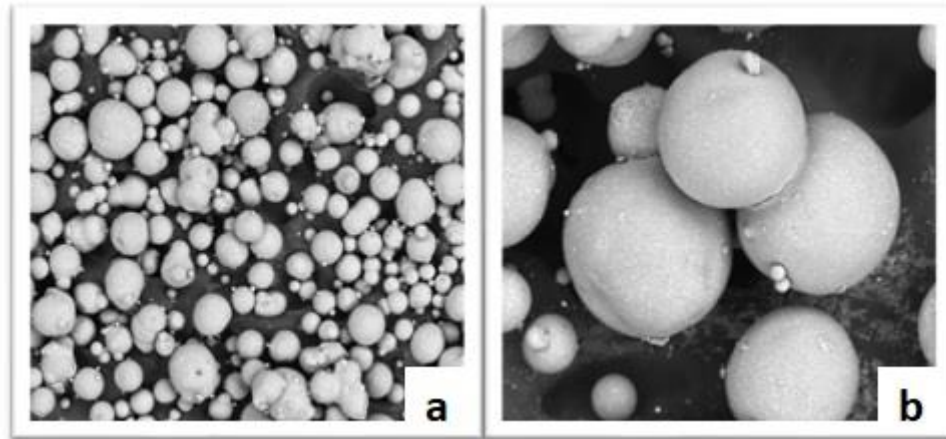


Figura 4. Amostra de SiC observada em MEV. a) 100x b)500x

A Figura 5 mostra a morfologia da alumina, sendo homogênea e irregular e sendo assim realizada o EDS para a confirmação dos componentes químicos existentes nessa amostra.

O EDS, Figura 6, confirma a existência dos principais componentes do pó comercial utilizado que são alumínio e oxigênio.

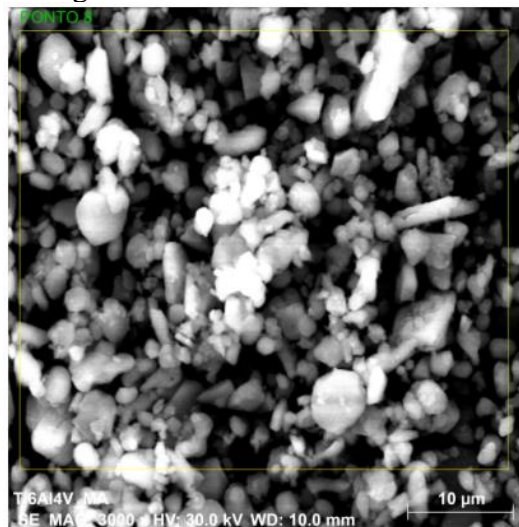


Figura 5. Micrografia da amostra de alumina, em forma de pó, observada em MEV 20000x.

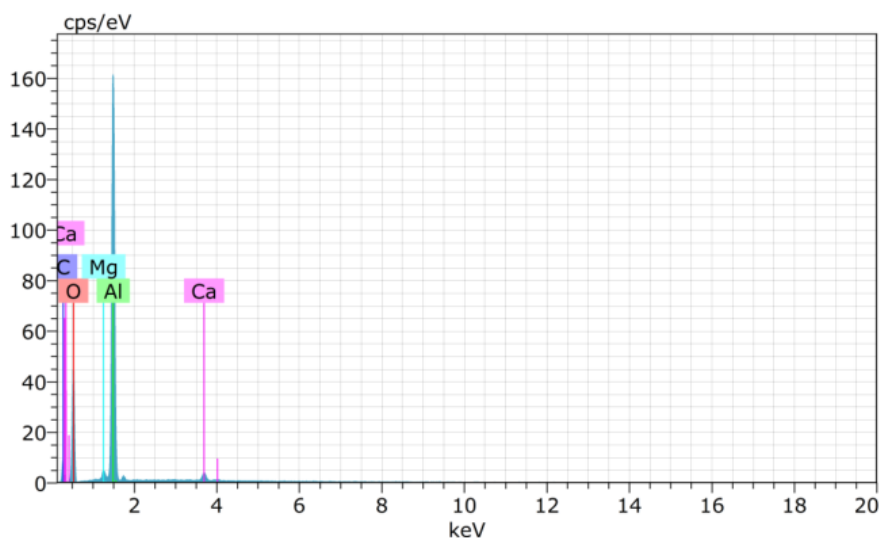


Figura 6. EDS da amostra de alumina, em forma de pó.

As imagens obtidas após a prensagem e sinterização da alumina, como ilustrado na figura 5, revelam a superfície de fratura. Durante o processo de sinterização, foi evidenciado o crescimento de grãos e a formação de poros, que se distribuem de maneira heterogênea, fenômeno atribuído à elevada pureza da alumina (Shyan et al., 2022), (Wachtman; Cannon; Matthewson, 2009). Observam-se grãos relativamente equiaxiais com facetas angulares e pequenos poros intergranulares. A presença dessa distribuição volumétrica de poros, no contexto do comportamento dinâmico da cerâmica, contribui para a nucleação inicial e a propagação das trincas, seguida de absorção da energia de fratura (ASTM, 2018).

Adicionalmente, a análise revelou a presença de trincas e porosidades dispersas pela amostra, os quais apresentam uma distribuição não homogênea. Essas características observadas na microestrutura da alumina têm influência direta no seu comportamento mecânico, afetando sua resistência e propriedades de absorção de energia em situações de fratura (Sasseron; Marchi; Bressiani; Bressiani, 2006), (Santos, 2016).

Essas descobertas são fundamentais para compreender as propriedades mecânicas e o desempenho da alumina em aplicações técnicas e estruturais. O conhecimento detalhado da microestrutura permite uma análise mais abrangente de como os poros e trincas contribuem para a resistência e a capacidade de absorção de energia do material, fornecendo subsídios importantes para o desenvolvimento de novos compósitos e aprimoramento de tecnologias existentes (Omori; Takei, 1988), (Khodaei; Yaghoobzadeh; Ehsani; Baharvandi; Dashti, 2018).

Essas observações também incentivam investigações futuras sobre métodos de controle de porosidade e trincas em cerâmicas de alta pureza, buscando melhorias em suas características mecânicas e, assim, expandindo ainda mais seu potencial de aplicação em diversas áreas industriais e tecnológicas. Essa compreensão profunda da microestrutura da alumina pode pavimentar o caminho para o desenvolvimento de materiais cerâmicos mais resilientes, confiáveis e adaptáveis aos desafios contemporâneos (Justi; Kammer; Neckel; Ióh; Trindade; Silva; Montedo; De Noni, 2017).

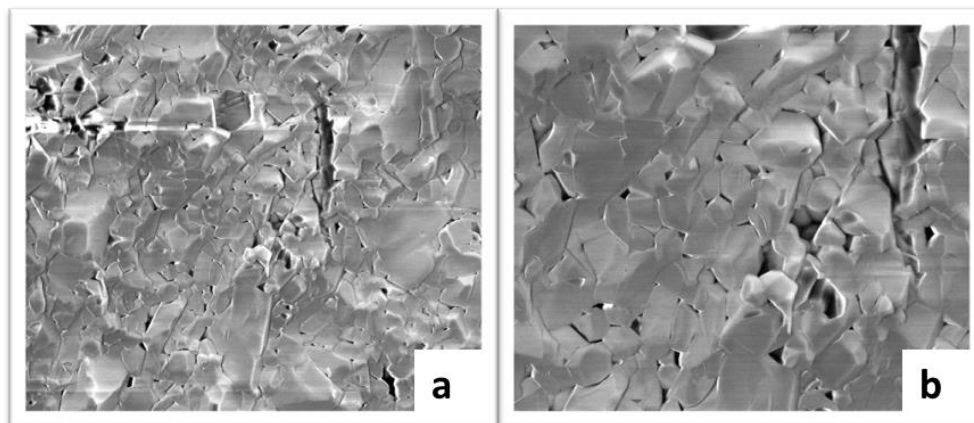


Figura 5. Micrografia da amostra de alumina, após sinterização, observada em MEV. a) 5000x b)10000x.

Os ensaios balísticos objetivaram investigar o desempenho balístico. O ensaio foi realizado no Centro de Avaliações do Exército (CAEx). Referente à realização dos testes balísticos, a tabela 3 revela os dados referentes às velocidades de disparo, às perfurações e à medição do *backface signature*. A velocidade do disparo foi de aproximadamente 900 m/s, para todas as amostras analisadas. A tabela 3 também comprova que o CP VI, por ter menor peso cerâmico e por conseqüente menor espessura, tabela 1, esperava-se uma perfuração completa, assim como os outros CPs de menores espessuras.

Tabela 3. Dados dos testes de impacto dos CP

CP	Perfuração	BFS (mm)
I	Completa	-
II	Não realizado	-
III	Completa	-
IV	Parcial	18,3
V	Parcial	32,8
VI	Completa	-

A figura 6 (b), demonstra que a plastilina onde continha o CP I ficou danificada devido a energia dissipada no disparo, tal amostra continha alumina, sendo assim impossibilitando o teste no CP II, para evitar maiores danos na plastilina. Os CPs I e III, que continham alumina e o CP VI, com carbetto de silício, tiveram perfuração completa, logo a medição de *backface signature* (BFS) não foi possível (Santos, 2016), (Sun et al., 2014).

Em referência aos CPs IV e V, figura 7, com inserto de SiC, tiveram perfuração parcial, podendo assim ser realizado o ensaio de *backface signature*.



Figura 6. Corpos de prova inseridos na plastilina

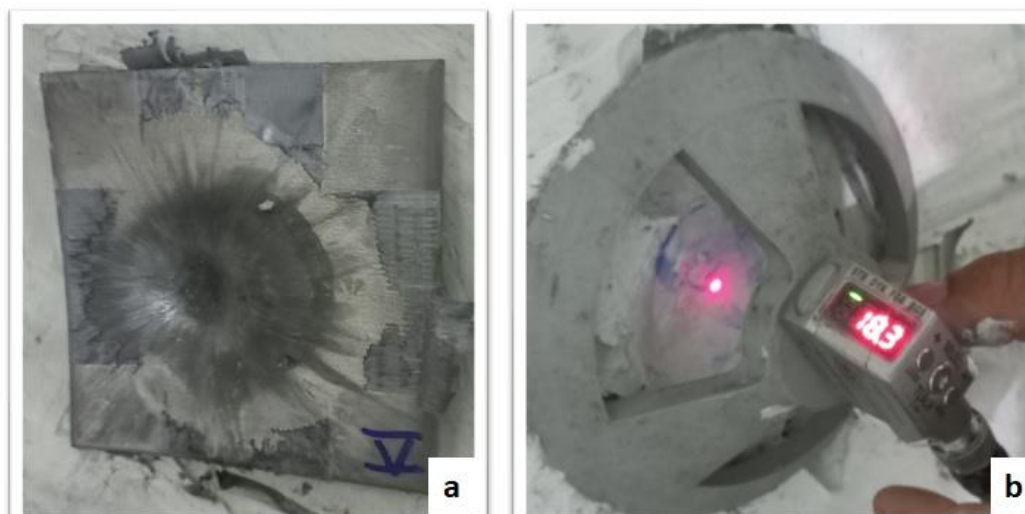


Figura 7. a) Medição do ensaio de *Backface signature* realizado no CP IV; b) CP IV após disparo balístico

4. CONCLUSÃO

A análise micrográfica do carbetto de silício revelou, de maneira qualitativa, que as esferas estão dentro dos parâmetros previstos e fornecidos. Em contraste, a micrografia da alumina, após o processo de sinterização, revelou um aglomerado de grãos (Shyan et al., 2022), indicando uma maior fragilidade, conforme verificado nos ensaios de perfuração total dos corpos de prova I e III, que são compostos de alumina, e do CP VI, composto de carbetto de silício. Essa observação denota uma diferença notável entre os materiais e pode ser considerada significativa no contexto do estudo.

A investigação para medição do backface signature se mostrou altamente esclarecedora, uma vez que, em sistemas balísticos multicamadas, é fundamental obter penetração parcial e não total. Nesse sentido, o carbetto de silício emerge como uma opção mais favorável e promissora para o sistema de blindagem multicamada utilizado na proteção balística individual. Essa descoberta sugere que o uso do carbetto de silício pode ser estendido para outras aplicações de proteção, proporcionando soluções inovadoras e eficientes.

Com uma história rica de aplicações industriais e um contínuo avanço tecnológico, a alumina e o carbetto de silício, permanecem como um material de destaque, desempenhando um papel essencial no panorama dos materiais avançados. Seu potencial para impulsionar novos desenvolvimentos e proporcionar soluções inovadoras em diversas áreas ressalta seu valor como um recurso valioso na busca de soluções tecnológicas e científicas de ponta.

Agradecimentos

Shanely da Silva Ribeiro e Eduardo de Sousa Lima agradecem, respectivamente, à CAPES e ao CNPq (processo 312161/2020-4) pelo suporte recebido. Os autores agradecem às empresas Fiven Brazil e CETARCH – Cerâmica Técnica e Arquitetural pelo fornecimento dos materiais.

REFERÊNCIAS

1. Ahmad, S., et al. (2017). Mechanical Behavior of Alumina Ceramics. *Materials Science and Engineering: A*, 696, 363-383.
2. ASTM.ASTM D3878-20: Standard Terminology for Composite Materials. [página da internet] [S.l.],2018. 39 p. [acesso em 21 de junho de 2023]. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D3878.htm>.
3. Bahaaddini, Mostafa; Baharvandi, Hamid Reza; Ehsani, Naser; Khajehzadeh, Mina; Tamadon, Abbas (2019). Pressureless sintering of LPS-SiC (SiC-Al₂O₃-Y₂O₃) composite in presence of the B4C additive. *Ceramics International*, S0272884219308818-. [acesso em 26 de junho de 2023]. Disponível em: doi:10.1016/j.ceramint.2019.04.060.
4. Castro, R. H. R., et al. (2021). Mechanical Behavior and Microstructure of Sintered Alumina Ceramics Using Different Additives. *Ceramics International*, 47(10), 13724-13731.
5. CETARCH – Cerâmica Técnica e Arquitetural [página de internet]. [acesso em 18 de maio de 2023]. Disponível em: <http://www.cetarch.com.br/produtos>.
6. Deepak Kumar, Santosh Kumar Rajak, R. Seetharam, Harpreet Singh, Effect of Y2O3 Additive on Mechanical and Wear Behaviour of hBN Reinforced SiC Ceramic matrix

- composite, *Materials Today: Proceedings*, Volume 87, Part 1, 2023, Pages 193-196, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.234>.
7. FIVEN. Informações técnicas - Pó Densitec L. Fiven, 2020. [página da internet] Dez. de 2020. [acesso em 18 de maio de 2023]. Disponível em: <https://www.fiven.com/products/sikar-technical/>
 8. Gonçalves, D. C.; Saleiro, G. T.; Matias, P. C.; Gomes, A. V.; Ramos, V.; Campos, J. B. B. D.; Melo, F. C. L. D.; Lima, E. S. Microstructural characterization and influence of ceramography method on the microhardness of sintering agents added silicon carbide. *Materials Research, SciELO Brasil*, v. 20, p. 92–96, 2017. [acesso em 18 de abril de 2023]. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-0958>.
 9. Gupta, C. K., & Krishnamurthy, N. (2005). *Extractive Metallurgy of Aluminum*. CRC Press.
 10. Hidalgo, J. M., et al. (2020). Alumina Substrate Drying Process Optimization. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 10(6), 997-1004.
 11. Iguchi, M.; Umezu, M.; Kataoka, M.; Nakamura, H.; Ishii, M. Influence of nitride on sinterability of the composite of lithium aluminum silicate and silicon carbide. In: *TRANS TECH PUBL.Key Engineering Materials*. [S.l.], 2006. v. 317, p. 177–180. [acesso em 22 de junho de 2023]. Disponível em: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.317-318.177>.
 12. Izhevskiy, V. A.; Genova, L. A.; Bressiani, J. C.; Bressiani, A. H. A. Review article: silicon carbide. Structure, properties and processing. *Cerâmica, scielo*, v. 46, p. 4 – 13, 03 2000. ISSN 0366-6913.
 13. J. Jiusti, E.H. Kammer, L. Neckel, N.J. Lóh, W. Trindade, A.O. Silva, O.R.K. Montedo, A. De Noni, Ballistic performance of Al₂O₃ mosaic armors with gap-filling materials, *Ceramics International*, Volume 43, Issue 2, 2017, Pages 2697-2704, ISSN 0272-8842. [acesso em 05 de julho de 2023]. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.11.087>>.
 14. Jiang, Y., et al. (2022). SiC-Alumina Ceramic Matrix Composites: A Review. *Journal of the American Ceramic Society*, 105(1), 1-26.
 15. Khodaei, Mahdi; Yaghobizadeh, Omid; Ehsani, Naser; Baharvandi, Hamid Reza; Dashti, Alireza (2018). The effect of TiO₂ additive on sinterability and properties of SiC-Al₂O₃-Y₂O₃ composite system. *Ceramics International*, S0272884218315025–. [acesso em 26 de junho de 2023]. Disponível em: doi:10.1016/j.ceramint.2018.06.073.
 16. Kim, H., et al. (2022). Silicon Carbide Materials for Aerospace Applications: A Review. *Journal of Materials Science & Technology*, 99, 16-26.
 17. Kirchner, H. P., et al. (2021). Alumina-Based Ceramics for Technical Applications: A Review. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(3), 937-959.
 18. Lauterbach, S., et al. (2018). Comparative Study of Densification and Microstructural Development in Silicon Carbide Ceramic Matrix Composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 38(1), 299-309.
 19. Lee, S., et al. (2020). Sintering Behavior and Mechanical Properties of Reaction-Bonded Silicon Carbide. *Journal of the American Ceramic Society*, 103(1), 358-366.
 20. Liu, Yiteng; Chen, Zhao; Liu, Rongzheng; Zhao, Jian; Liu, Malin (2020). Preparation of SiC-Al₂O₃-Y₂O₃ core-shell nanoparticles by a slow precipitation method for dense SiC sintering. *Ceramics International*, 46(15), 24504–24511. [acesso em 01 de julho de 2023]. Disponível em: doi:10.1016/j.ceramint.2020.06.237.
 21. Monteverde, F., et al. (2019). Spark Plasma Sintering of Alumina: A Review. *Journal of the European Ceramic Society*, 39(5), 1467-1481.
 22. NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE (NIJ) *et al* [página da internet]. Development of Soft Armor Conditioning Protocols for NIJ Standard–0101.06: Analytical Results.

- [acesso em 21 de junho de 2023]. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir7627.pdf>.
23. NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE (NIJ) *et al.* Third Status Report to the Attorney General on Body Armor Safety Initiative Testing and Activities. 2005. [acesso em 26 de abril de 2023]. Disponível em: http://www.dabst.eb.mil.br/upados/biblioteca/antigas/27_colete_de_protecao_balistica_nivel_III.pdf.
 24. Omori, M.; Takei, H. Preparation of pressureless-sintered SiC-Y₂O₃-Al₂O₃. *Journal of Materials Science*, Springer Science and Business Media LLC, v. 23, n. 10, p. 3744–3749, out. 1988. [acesso em 24 de junho de 2023]. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/bf00540522>.
 25. Park, Y., *et al.* (2020). High-Voltage Silicon Carbide Devices and Applications. *Materials Today*, 35, 57-77.
 26. Prather, Russel N., Swann, Conrado L., HawkinsClarence E. COMANDO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE ARMAMENTO DO EXÉRCITO ABERDEEN PROVING TERRA MD LABORATÓRIO DE SISTEMAS QUÍMICOS, 1977. [acesso em 06 de julho de 2023]. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA049463.pdf>>.
 27. Pujari, V. K., *et al.* (2019). An Overview on Liquid Silicon Infiltration (LSI) for Silicon Carbide-Based Composites. *Journal of Materials Science*, 54(8), 6106-6147.
 28. Rambhia, S., *et al.* (2021). Role of Additives on the Sintering and Microstructural Development of Alumina Silicon Carbide Composites. *Ceramics International*, 47(3), 3238-3245.
 29. Roberge, P. R. (2015). *Handbook of Corrosion Engineering*. McGraw-Hill Education.
 30. Saleiro, G.; Gonçalves, D.; Neto, C. C.; Campos, J. De; Lima, E. S. Comportamento mecânico do SiC aditivado com óxidos de alumínio e ítrio produzidos por SHS. 72nd ABM Annual Congress, p. 1257–1266, 2017. [acesso em 24 de junho de 2023]. Disponível em: <http://10.5151/1516-392X-30445>.
 31. Saleiro, G.; Gonçalves, D.; Neto, C. C.; Campos, J. De; Lima, E. S. Comportamento mecânico do SiC aditivado com Al₂O₃ e Y₂O₃ produzidos pela síntese por combustão autossustentável à alta temperatura. *Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração*, v. 15, p. 96–102, 01 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.1573>
 32. Santos, J. L. Comportamento Balístico de Componente Cerâmico à base de Al₂O₃-Nb₂O₅-LiF em Blindagem Tese: (Doutorado) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro, 2016.
 33. SASSERON, C.O.; MARCHI, J.; BRESSIANI, J.C.; BRESSIANI, A.H.A. Sinterização de cerâmicas a base de alumina, zirconia e titania. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERAMICA, 50., 22-25 de maio, 2006, Blumenau, SC. Anais. 2006. [acesso em 01 de julho de 2023]. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/15809>>.
 34. Schwartz, M. M., *et al.* (2020). Development and Testing of a New Alumina-Zirconia Composite: Synthesis, Microstructure, and Characterization. *Journal of the American Ceramic Society*, 103(6), 3360-3373.
 35. Sever, M., *et al.* (2019). Silicon Carbide—A Review of Fundamental Questions and Applications to Millimeter-Wave Electronics. *International Journal of High Speed Electronics and Systems*, 28(01), 1930001.
 36. She, J.; Ueno, K. Effect of additive content on liquid-phase sintering on silicon carbide ceramics. *Materials Research Bulletin*, Elsevier BV, v. 34, n. 10-11, p. 1629–1636, jul. 1999. [acesso em 22 de junho de 2023]. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0025-5408\(99\)00172-5](https://doi.org/10.1016/s0025-5408(99)00172-5).

37. Shyam, A., et al. (2022). Alumina Composites: A Review. *Journal of the American Ceramic Society*, 105(1), 42-63.
38. Silva, J. R., et al. (2019). Silicon Carbide: A Review of Fundamental Questions and Applications to Current Device Technology. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 8(3), Q3152-Q3168.
39. Singh, G., et al. (2020). Silicon Carbide-Based Lightweight Radome. *Advanced Engineering Materials*, 22(7), 2000141.
40. Som, A., et al. (2020). A Review of Silicon Carbide Development in MEMS/NEMS. *Micromachines*, 11(6), 577.
41. Sun, Danmei & Chen, Xiaogang & Wells, Garry. (2014). Engineering and analysis of gripping fabrics for improved ballistic performance. *Journal of Composite Materials*. Page, 48.[acesso em 06 de julho de 2023]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262981951_Engineering_and_analysis_of_gripping_fabrics_for_improved_ballistic_performance#fullTextFileContent>.
42. Veith, M., et al. (2019). Fabrication of Three-Dimensional Microwave Circuits by Metallizing Laser Sintered Alumina. *Ceramic*.
43. Wachtman, J. B.; Cannon, W. R.; Matthewson, M. J. Linear elastic fracture mechanics. In: *Mechanical Properties of Ceramics*. John Wiley and Sons, Ltd, 2009. cap. 5, p. 63–88. ISBN 9780470451519. [acesso em 22 de junho de 2023]. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470451519.ch5>.
44. Wu, H., et al. (2019). Silicon Carbide Electronics and Sensors. *Materials Today*, 22, 55-65.
45. Xu, Y., et al. (2021). Effects of Additives on Microstructure and Properties of Silicon Carbide Ceramics Prepared by Non-Oxide Sintering. *Ceramics International*, 47(18), 28152-28158.
46. Zhang, S., et al. (2018). Electrical and Mechanical Properties of Polycrystalline Alumina Ceramics. *Journal of Materials Science*, 53(6), 4351-4361.
47. Zhang, Y., et al. (2021). Silicon Carbide and Related Materials for Energy Saving Applications. *Materials Today Energy*, 20, 100679.

ANALYSIS OF SILICON CARBIDE AND ALUMIN FOR BALLISTIC SHIELD THROUGH BACKFACE SIGNATURE

Abstract. . Silicon carbide (SiC) emerges as a fascinating and versatile composite ceramic, broadening its interest in both the scientific and industrial communities. Alumina, known as aluminum oxide (Al_2O_3), also stands out as a remarkable ceramic, being widely explored in science and industry. The two compounds have similar characteristics such as high mechanical strength, good thermal conductivity and stability at high temperatures. The present study aims to demonstrate the performance of each composite in shooting tests and thus analyze their behavior as ballistic protection. Six specimens were made, three of them containing silicon carbide and three containing alumina. Scanning electron microscopy was employed to characterize the silicon carbide powders, while alumina characterization was performed in the fracture area after the sintering process. A multilayer armor system was simulated, using a steel plate and ceramic bodies glued together, fixed with duct tape and fixed to plasticine to carry out the ballistic tests, according to the NIJ 0101.04 standard. The test specimens were fixed 15m away from the barrel of the gun and the caliber 7.62mm was used, with partial perforation occurring, so that the backface signature test could be produced. CP I had complete perforation with excessive energy dissipation, so it was not possible to perform it in CP II. CP's

III and VI had complete perforation, thus making it impossible to perform the test. The other specimens IV and V had partial perforation, with values of 18.3mm and 32.8mm, respectively.

Keywords: *Silicon of carbide; Alumina; Backface signature.*