

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

Desenvolvimento e caracterização de produtos nano-tecnológicos, particularmente fibras de aerogéis de sílica, para isolamento térmico na indústria aeroespacial.

BRUNO LANSSONI¹, ARNALDO C.MORELLI²

¹ Graduando em Engenharia Aeronáutica, Bolsista PIBITI-CNPq, IFSP, Campus São Carlos, lanssoni.bruno@aluno.ifsp.edu.br

² Docente Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais, IFSP, Campus São Carlos, arnaldo.morelli@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.12.04.00-7 Sistemas de Informação

RESUMO: As fibras de aerogéis, são materiais com excelentes capacidade de isolamento térmico, baixa densidade e resistência a chamas, o desenvolvimento de materiais deste tipo são essenciais para indústria aeroespacial, aeronáutica, além de serem amplamente utilizados na indústria petroquímica. O estudo tem objetivo desenvolver e caracterizar materiais fibrosos à base de sílica micro e nanoparticulada, obtidos por meio do processo sol-gel com rotas de secagem em pressão ambiente e posterior tratamento térmico, para produzir um material com baixa densidade, alta resistência térmica, baixa condutividade térmica, notável hidrofobicidade e baixa absorção de água. As fibras foram produzidas e desenvolvidas, pela tecnologia sol gel e queima em altas temperaturas. Foram obtidos diversos corpos de provas, com densidade média de para as fibras com silicone 0,3454 g/cm³, condutividade térmica média de 0,2009 W/(m·K), enquanto a média da densidade das fibras sem silicone foi 0,2180 g/cm³, condutividade térmica média de 0,2874 W/(m·K).

PALAVRAS-CHAVE: Fibras de aerogéis; resistência térmica; condutividade térmica; aeroespacial.

Development and characterization of nano-technological products, particularly silica aerogel fibers, for thermal insulation in the aerospace industry.

ABSTRACT: Aerogel fibers are materials with excellent thermal insulation, low density, and flame resistance. The development of these materials is essential for the aerospace and aeronautical industries, as well as being widely used in the petrochemical industry. The study aims to develop and characterize fibrous materials based on micro- and nanoparticulate silica, obtained through the sol-gel process with drying routes at ambient pressure and subsequent heat treatment, to produce a material with low density, high thermal resistance, low thermal conductivity, remarkable hydrophobicity, and low water absorption. The fibers were produced and developed using sol-gel technology and high-temperature firing. Several test specimens were obtained, with an average density of 0.3454 g/cm³ for the fibers with silicone, average thermal conductivity of 0.2009 W/(m·K), while the average density of the fibers without silicone was 0.2180 g/cm³, average thermal conductivity of 0.2874 W/(m·K).

KEYWORDS: Aerogel fibers; thermal resistance; thermal conductivity; aerospace.

INTRODUÇÃO

Atualmente com o avanço da aviação, busca-se cada vez mais otimizar esse setor, com aeronaves mais leves e mais eficientes. Assim, tecnologias emergentes, como os aerogéis de sílica vêm se destacando como alternativas promissoras para a indústria aeronáutica, uma vez que apresentam diversas aplicabilidades, na forma de fibras, podem ser utilizados como isolantes térmicos com alto desempenho, uma vez que quando igualados à isolantes convencionais, os aerogéis com 1/5 à 1/3 da espessura tem o mesmo resultado, tornando-se uma opção extremamente eficiente (Tchaintech, 2023). Os aerogéis de sílica são compostos por uma estrutura nanoporosa, isto é, possuem um alto nível de porosidade (60-99,8%), o que garante propriedades únicas, baixa densidade ($0.003\text{--}0.5\text{ g/cm}^3$) e área superficial específica entre $500\text{--}1200\text{ m}^2/\text{g}$, estas propriedades são as principais responsáveis para promover características como, uma condutividade térmica inferior a 15 mW/mK , assim são atrativos para aplicações que exigem isolamento térmico (Karamikamkar; Naguib; Park, 2020). Devido a grande aplicação dos aerogéis na indústria, o projeto busca desenvolver materiais fibrosos com alta resistência a temperaturas, baixa condutividade térmica, hidrofobicidade. Foi produzido diversos corpos de prova para testes e adequação de fórmula, tendo produzido fibras de aerogéis com baixa densidade.

MATERIAL E MÉTODOS

O projeto iniciou com uma fundamentação teórica na área, através de livros e artigos sobre aerogéis de sílica, e suas propriedades, dando uma base teórica para as formulações. Assim, baseado nos estudos de Yang et al. (2014) optou-se pela adição de fibras cerâmicas de alumina (Al_2O_3) ao aerogel de sílica, devido o reforçado com fibras cerâmicas de alumina (Al_2O_3) melhorar as propriedades de resistência à temperatura e baixa condutividade térmica comparado com os aerogéis de sílica convencionais.

Foi empregado o uso de ácido fosfórico (H_3PO_4), como um catalisador para a gelificação ácida, já que segundo Li et al. (2017), o ácido fosfórico (H_3PO_4), auxilia a propriedade anti-chamas de aerogéis de sílica hidrofóbicos, uma vez que após a sua utilização ocorre o surgimento de nanoporos na estrutura, resultantes de pontes de silano e siloxano.

O processo de fabricação das fibras se iniciaram com a diluição de sílica, com álcool metílico sob altas rotações em misturador mecânico, obtendo-se uma mistura homogênea, após esse processo inicia-se a obtenção do gel, adicionando uma solução de acetato de etila ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$) e ácido clorídrico (HCl), esta solução tem como base o acetato de etila ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$) e é adicionado ácido clorídrico (HCl) até obter-se $\text{pH} = 2,0$, assim esta solução é adicionada a solução homogênea já obtida, sob alta rotação no misturador. Desta forma a solução vai sofrer uma catálise ácida, que ajudará ocorrer uma hidrólise ácida, sendo a primeira fase da formação do gel, formando grupos silanol que servirão como base do aerogel, devido a criação de pontes de siloxanos (O-Si-O). Após esses processos ocorre a adição de sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, que funciona como emulsificante e estabilizador para a solução coloidal devido ao aumento da viscosidade.

Em seguida ocorre uma catálise alcalina, adicionando hidróxido de amônio (NH_4OH), até se obter $\text{pH} = 7,0$ e adição das fibras cerâmicas de alumina (Al_2O_3), a baixa rotação, juntamente com a dopagem de silicone que dará caráter hidrofóbico as fibras, deixando ocorrer um envelhecimento hermeticamente fechado por 24 horas.

Após essas 24 horas de envelhecimento começa outra etapa da produção das fibras, adicionando ácido fosfórico (H_3PO_4), em baixa rotação, a adição do ácido ocasiona novamente uma hidrólise ácida, responsável por favorecer o surgimento de nanoporos, estrutura responsável pelas boas propriedades de isolamento térmico e resistência a chamas, após esse processo, ocorre mais um envelhecimento em um período de 24h, hermeticamente fechado, como observado na figura 1.

Concluída o envelhecimento, o produto dessas reações passa por uma filtração a vácuo, em uma peneira de baixa granularidade, com intuito de separar a parte sólida da líquida da solução, tendo em vista que as fibras são provenientes das parte sólida, enquanto a parte líquida composta por

metanol e água assim, após a filtração a vácuo a parte sólida é colocada em uma estufa a 100°C para secagem completa, durante um período de 24h.

Tendo feito todos esses processos inicia-se a última etapa, a queima em altas temperaturas dessas fibras, onde o gel seco (xerogel) é colocado no forno em temperatura ambiente até 1000°C, com uma taxa de aumento de temperatura de 30°C/min, alcançada a temperatura de 1000°C permanece nessa temperatura pelo período de 90 minutos, formando uma manta de fibras mais densas.

As fibras produzidas passaram por teste de hidrofobicidade por submersão, observando sua capacidade de absorção ou não de água, este teste pode ser observado na figura 2.

O teste de condutividade térmica aplicado foi baseado na lei de Fourier, para isto, foi colocado na porta do forno fechando a sua entrada, demonstrado na figura 3, e medido a temperatura interna, fornecida pelo próprio termopar do forno e externa por outro termopar, conferida com um termômetro de contato de mercúrio, o fluxo de calor foi constatado pela potência fornecida pelo forno em (Watts), medindo a corrente consumida e a resistência do forno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos corpos de provas foram fabricados, como na figura 4 e as fibras dopadas com silicone em seu meio tiveram uma excelente capacidade hidrofóbica, além de caracterizar-se pela fluidez em água, já as fibras sem dopagem de silicone, não tiveram capacidade hidrofóbica, e nenhuma fluidez em água, a condutividade térmica proveniente dos testes com fibra dopada com silicone resultou em média 0,2009 W/(m·K) e média de densidade 0,3454 g/cm³, em comparação com as fibras sem silicone a densidade média foi de 0,2180 g/cm³ e condutividade térmica média de 0,2874 W/(m·K).

FIGURA 1. Processo de produção das fibras, durante o envelhecimento.



FIGURA 2. Fibras em teste de hidrofobicidade.

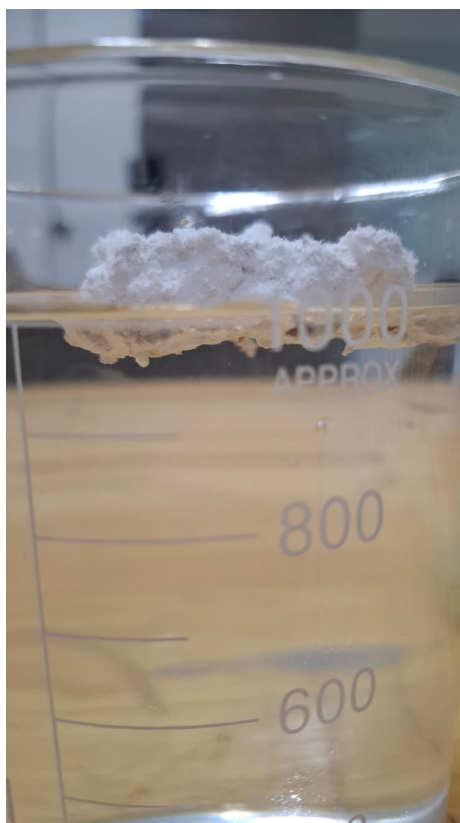


FIGURA 3. Fibras em teste de condutividade térmica, fechando a porta do forno e medindo a temperatura externa com termopar.



FIGURA 4. Fibras produzidas através dos processos descritos.



CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos é notável a ampla gama de aplicações para as fibras de aerogel de sílica, um material que apresenta baixa densidade, hidrofobicidade, flutuabilidade, e uma baixa condutividade térmica é um material de alta versatilidade, sendo necessário mais estudos e aprimoramento de técnicas de produção para melhorar ainda mais o rendimento.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

B.L, contribui com o desenvolvimento da pesquisa, produção de corpos de provas, testes feitos, análise de resultados, escrita de relatório.

A.C.M , contribuiu como orientador da pesquisa, auxiliando em todas as etapas.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao CNPq pela bolsa concedida e ao IFSP, pela oportunidade e apoio, agradecer ao corpo docente que apoiou essa pesquisa sempre presente acompanhando cada etapa, aos técnicos de laboratórios que estiveram sempre auxiliando e ao Murilo C Ramos, pelo seu auxílio prestado.

REFERÊNCIAS

KARAMIKAMKAR, Solmaz; NAGUIB, Hani E.; PARK, Chul B. Advances in precursor system for silica-based aerogel production toward improved mechanical properties, customized morphology, and multifunctionality: A review. **Advances in colloid and interface science**, v. 276, p. 102101, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102101>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001868619302003>. Acesso em 22 de jan. de 2025.

LI, Zhi et al. Enhanced flame retardancy of hydrophobic silica aerogels by using sodium silicate as precursor and phosphoric acid as catalyst. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 481, p. 267-275, 2018. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2017.10.053>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022309317305793>. Acesso em 25 de jan. de 2025.

TCHAINTECH. **Application of silica aerogel in the field of thermal insulation**. 2023. Disponível em: <https://www.tchaintech.com/PT/SDETAIL/Application-of-silica-aerogel-in-the-field-of-thermal-insulation>. Acesso em 03 de ago de 2025.

YANG, Xiaoguang et al. Comparative investigation of creep behavior of ceramic fiber-reinforced alumina and silica aerogel. **Materials Science and Engineering: A**, v. 609, p. 125-130, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.04.099>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509314005632>. Acesso em 25 de jan. de 2025.