

SÍNTESE E PRODUÇÃO DE NANOFLUIDO DE PENTÓXIDO DE NIÓBIO

Nicolas Batistel Ribeiro, nicolasbatistelribeiro@alunos.utfpr.edu.br

Allefe Jardel Chagas Vaz, allefevaz@alunos.utfpr.edu.br

Humberto Ianczkovski, humbertoi@alunos.utfpr.edu.br

Rozane de Fátima Turchiello, turchiel@utfpr.edu.br

Thiago Antonini Alves, antonini@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Ponta Grossa

Resumo. Este trabalho apresenta a síntese do pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) e sua aplicação na formulação de nanofluidos com diferentes concentrações. A metodologia de síntese foi baseada em rotas adaptadas da literatura, utilizando etóxido de nióbio ($C_{10}H_{25}NbO_5$) como precursor e etanol absoluto como solvente, com adição controlada de água destilada ou solução de amônia. As amostras obtidas foram submetidas a processos térmicos de secagem e calcinação, resultando em nanoparticulados apropriados para dispersão em meio aquoso. Os nanofluidos de pentóxido de nióbio foram preparados nas concentrações de 1,0g/L e 0,1g/L, utilizando banho ultrassônico intercalado com agitação mecânica para garantir uma dispersão homogênea e estável. A motivação do estudo está na potencial melhoria das propriedades térmicas dos fluidos convencionais, como condutividade térmica e eficiência na transferência de calor, embora a estabilidade coloidal e a variação da viscosidade sejam fatores críticos a serem considerados. Os resultados obtidos servirão de base para análises comparativas em sistemas térmicos aplicados, como trocadores de calor. A pesquisa reforça a importância da caracterização detalhada de nanofluidos e destaca o nióbio como material promissor, ainda que desafiador, para aplicações em engenharia térmica.

Palavras chave: Nanofluido, Nióbio, Transferência de calor, Estabilidade coloidal.

Abstract. This study presents the synthesis of niobium pentoxide (Nb_2O_5) and its application in the formulation of nanofluids at different concentrations. The synthesis methodology was adapted from established literature, using niobium ethoxide ($C_{10}H_{25}NbO_5$) as precursor and absolute ethanol as solvent, with the controlled addition of distilled water or ammonia solution. The resulting samples underwent thermal drying and calcination processes, yielding nanoparticles suitable for aqueous dispersion. Niobium pentoxide nanofluids were prepared at concentrations of 1.0g/L and 0.1g/L, using ultrasonic baths alternated with mechanical stirring to ensure homogeneous and stable dispersion. The motivation behind the study lies in the potential enhancement of conventional fluids' thermal properties, such as thermal conductivity and heat transfer efficiency, although colloidal stability and viscosity variation remain critical aspects to consider. The outcomes provide a foundation for comparative analyses in applied thermal systems, such as heat exchangers. The research underscores the need for in-depth characterization of nanofluids and highlights niobium as a promising-albeit complex-material for thermal engineering applications.

Keywords: Nanofluids, Niobium, Heat Transfer, Colloidal Stability.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o avanço das pesquisas em nanomateriais tem se mostrado essencial para o desenvolvimento de novas tecnologias com alto desempenho térmico, especialmente no campo da engenharia térmica. É amplamente reconhecido que a dispersão de nanopartículas em fluidos convencionais é capaz de promover melhorias substanciais nas propriedades térmicas globais desses fluidos. Essas melhorias se manifestam principalmente por meio do aumento da condutividade térmica, maior eficiência na transferência de calor por convecção e otimização de processos de mudança de fase (Ribeiro *et al.*, 2024).

O presente estudo descreve sucintamente os métodos empregados para a síntese do pentóxido de nióbio (Nb_2O_5), bem como sua aplicação na formulação de nanofluidos em diferentes concentrações, 1,0g/L e 0,1g/L, visando estabelecer parâmetros comparativos de desempenho térmico e estabilidade coloidal. O nióbio, por apresentar características típicas de colóides liofóbicos, tende a formar sistemas de menor estabilidade, exigindo, portanto, cuidados especiais durante sua dispersão em meio líquido (Li *et al.*, 2019).

2. METODOLOGIA

A escolha da metodologia para a síntese do pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) foi pautada por uma criteriosa revisão da literatura, tendo como principal referência o trabalho de Ristić *et al.* (2004), cujos protocolos foram adaptados às condições e recursos disponíveis no laboratório. O etóxido de nióbio, o etanol absoluto e a solução aquosa de amônia foram adquiridos da *Sigma-Aldrich*[®], enquanto a água duplamente destilada utilizada foi do Laboratório de Meios Porosos e Eficiência Energética (LabMPEE) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus* Ponta Grossa.

2.1. Síntese do Pentóxido de Nióbio (Nb_2O_5)

Dois métodos distintos foram utilizados para a preparação das amostras de pentóxido de nióbio (Nb_2O_5), descritos a seguir como Caso 1 e Caso 2, ambos utilizando etanol absoluto como solvente principal. Para o Caso 1, adicionaram-se 5g de etóxido de nióbio ($\text{C}_{10}\text{H}_{25}\text{NbO}_5$) a 94mL de etanol absoluto, seguido da adição controlada de 1mL de água duplamente destilada. A solução foi submetida a intensa agitação mecânica até completa miscibilidade. Em seguida, foi transferida para uma placa de Petri e submetida a um processo de evaporação a 60°C por 2 horas. O resíduo sólido obtido foi então seco a 160°C por 4 horas e resfriado até atingir temperatura ambiente. Para o Caso 2, foi utilizado 5g de etóxido de nióbio que foram inicialmente dissolvidos em 90mL de etanol absoluto, seguidos da adição de 5mL de solução aquosa de amônia (NH_3). Após homogeneização por agitação vigorosa, a solução foi transferida para uma placa de Petri, repetindo-se o mesmo processo térmico descrito anteriormente. Um diagrama esquemático desses casos é mostrado na Figura 1.

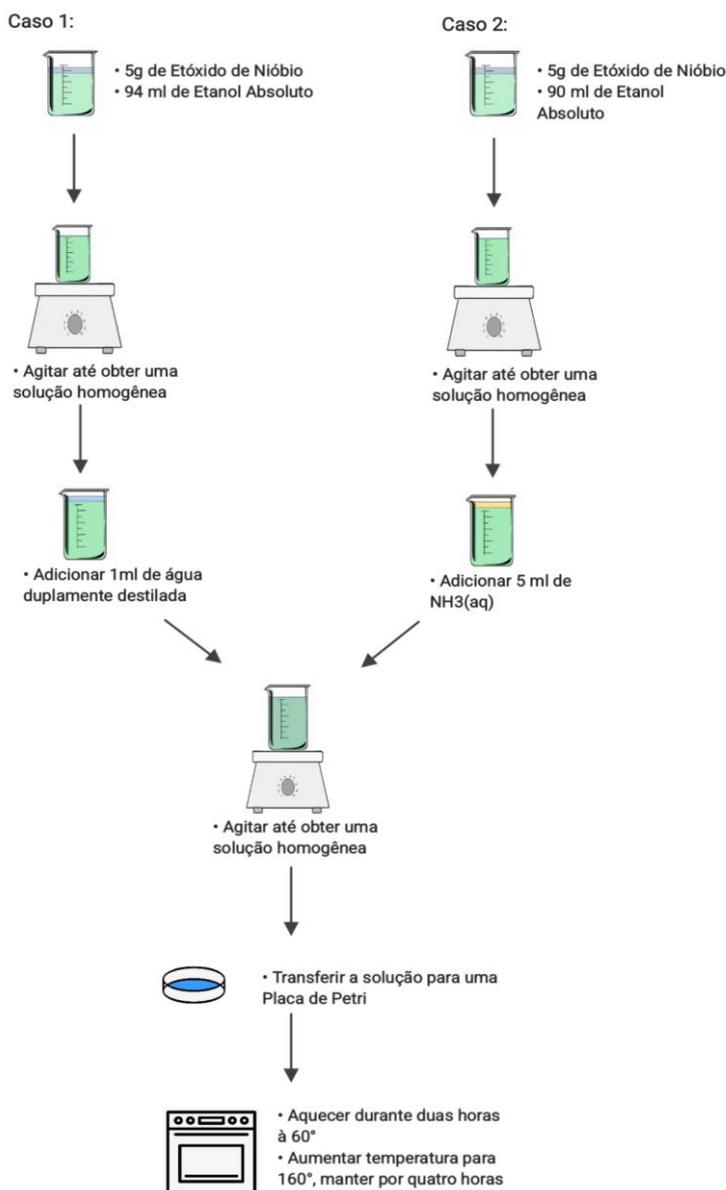


Figura 1. Diferentes rotas de síntese

Após o resfriamento completo, ambas as amostras foram submetidas a um processo de calcinação em forno da marca *Jung*[®] pertencente ao Laboratório de Controle Térmico (LabCT) da UTFPR/Ponta Grossa, com uma taxa de aquecimento controlada de 50°C/min. A temperatura final de 650°C foi mantida após 10 minutos de estabilização, assegurando a formação adequada do pentóxido de nióbio na sua fase desejada. Na Figura 2 são apresentadas diferentes fotografias dos materiais utilizados durante a produção das nanopartículas.

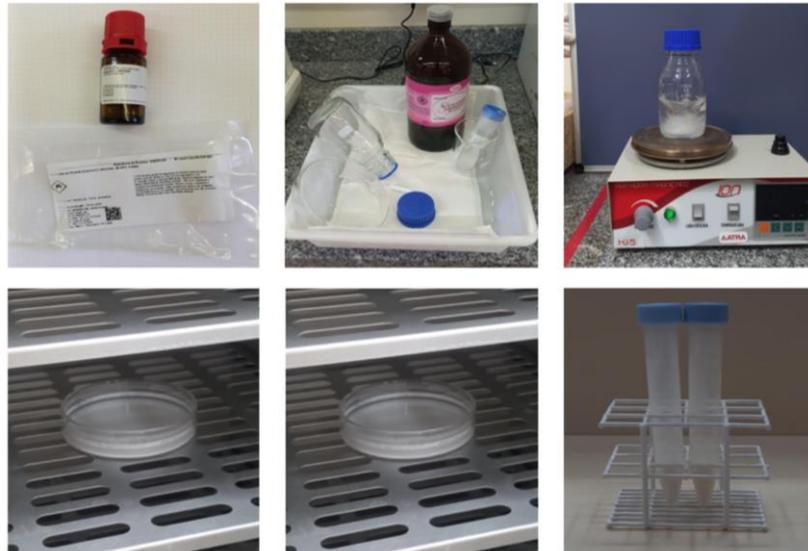


Figura 2. Materiais utilizados na produção de nanopartículas

2.2. Preparação dos nanofluidos

Duas concentrações de nanofluido de pentóxido de nióbio foram preparadas, a Amostra 1 com 1,0g de nanopartículas pentóxido de nióbio por litro de água e a Amostra 2 com 0,1g de nanopartículas de pentóxido de nióbio por litro de água (Figura 3). Para tal, foi utilizada uma balança analítica de precisão para a pesagem das quantidades adequadas das nanopartículas de pentóxido de nióbio sintetizadas. O material foi então disperso em água duplamente destilada, sendo a mistura submetida a um processo sistemático de ultrassonificação intercalada com agitação mecânica, visando assegurar uma homogeneização eficaz e a quebra de possíveis aglomerados de partículas. O protocolo consistiu na realização de 20 horas totais de banho ultrassônico, executadas em ciclos de 20 minutos com intervalos de 5 minutos de agitação mecânica entre os ciclos (Figura 4).



Figura 3. Procedimentos utilizados para a preparação dos nanofluidos de pentóxido de nióbio



Figura 4. Preparação dos nanofluidos

Essa abordagem intercalada favorece a dispersão uniforme das nanopartículas e contribui para a formação de suspensões mais estáveis. Somente após a conclusão integral do processo de homogeneização, os nanofluidos foram considerados aptos para uso em experimentos posteriores, especificamente no preenchimento de trocadores de calor, onde serão avaliados parâmetros térmicos e viscosidade em função da concentração e estabilidade da suspensão. Na Figura 5 é apresentada uma fotografia dos nanofluidos, no lado esquerdo está o nanofluido de pentóxido de nióbio com concentração de 1,0g/L e no lado direito está o nanofluido de pentóxido de nióbio com concentração de 0,1g/L.

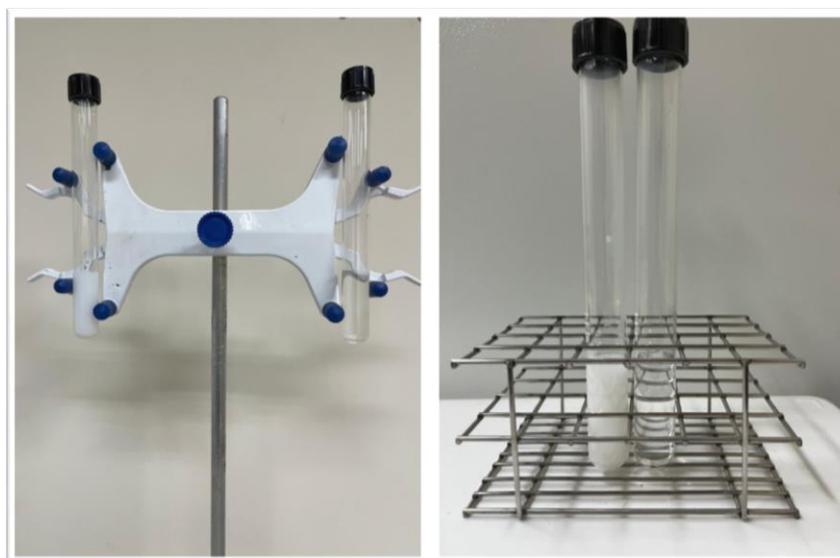


Figura 5. Nanofluidos após o banho e agitação.

3. RESULTADOS/CONCLUSÕES

A produção de nanofluidos à base de pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) requer rigor metodológico tanto na síntese das nanopartículas quanto na preparação da suspensão. A escolha das rotas de síntese e os cuidados empregados na etapa de homogeneização impactam diretamente nas propriedades finais do fluido. Embora os estudos com nanofluidos ainda estejam em estágio relativamente recente - com o termo sendo introduzido na literatura apenas na década de 1990 - a sua aplicabilidade industrial e científica demanda investigações contínuas. Fatores como estabilidade coloidal, reatividade superficial, tamanho das partículas e comportamento térmico ainda precisam ser amplamente compreendidos para que se possa explorar todo o potencial desses sistemas em aplicações reais.

4. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são prestados ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de iniciação científica ao acadêmico *Nicolas Batistel Ribeiro*, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de mestrado aos acadêmicos *Allefe Jardel Chagas Vaz* e *Humberto Ianczkovski*, novamente ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa ao Prof. *Thiago Antonini Alves* (Processo nº 312367/20228) e pelo apoio financeiro no desenvolvimento de Projeto Universal (Processo nº 409631/2021-3) e à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná pelo apoio financeiro (Convênio nº 129/2022). Agradecimentos também são externados à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), à Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação (DIRPPG), ao Programa de Pós-Graduação *Multicampi* (Mestrado) em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP/PG) e ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR/Campus Ponta Grossa.

5. REFERÊNCIAS

- Ribeiro, N.B., Chagas Vaz, A.J., Turchiello, R.F., Buelvas, D.D.A., Gómez, S.L. e Antonini Alves, T., 2024. “Synthesis and Characterization of Niobium Pentoxide for Future Application as Nanofluids in Thermosyphons”. In *Proceedings of the 2nd Brazilian Symposium on Nanotechnology Engineering – SiBEN 2024*. Rio de Janeiro, Brazil.
- Ristić, M., Popović, S. e Musić S., 2004, “Sol-gel Synthesis and characterization of Nb₂O₅ powders”. *Materials Letters*, Vol. 58, p. 2658-2663.
- Li, T., Lilja, K., Morris, R.J., e Brandani, G.B., 2019. “Langmuir-Blodgett technique for anisotropic collids: Young investigator perspective”. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 540, p. 420-438.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.