



Análise do impulso efetivo de propelente sólido prensado em função da variação do composto do nitrato de potássio e sacarose

Maria Eduarda Pereira Silva | maria.ps12@aluno.ifsc.edu.br¹

Júlia Knuth de Souza | julia.ks2009@aluno.ifsc.edu.br²

Thamilly Luiza Mello | thamilly.lm2008@aluno.ifsc.edu.br³

Laura Muniz Fermino | laura.m25@aluno.ifsc.edu.br⁴

Ana Julia Zelner Comassetto | ana.z08@aluno.ifsc.edu.br⁵

Eduarda Meira de Oliveira | eduarda.mo@aluno.ifsc.edu.br⁶

Edital nº 01/2025/PROPI - PIBIC-EM

Trabalho de Pesquisa

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

Este trabalho está vinculado a um projeto cujo objetivo é analisar diferentes alternativas de proporções, para um melhor resultado do impulso no propelente sólido prensado de Nitrato de Potássio (KNO_3) e Sacarose ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$). Como consequência, busca-se o aperfeiçoamento do processo de preparo do combustível, bem como a ampliação do conhecimento sobre suas propriedades. Atualmente, observou-se que o propelente apresentava inconsistências, especialmente na homogeneidade da mistura durante a prensagem, evidenciando a necessidade de uma análise mais detalhada da composição dos reagentes. Adota-se como hipótese a realização de diversos testes com diferentes proporções, permitindo identificar a relação ideal entre o oxidante (nitrato de potássio) e o combustível (sacarose), de modo a aumentar o rendimento do propelente sem comprometer a segurança no preparo. Dessa forma, propõe-se avaliar uma variação positiva no impulso, registrando a melhora depois das alterações de quantidade de KNO_3 e $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$. O estudo é relevante por buscar o aprimoramento do desempenho destes compostos ao compreender melhor suas propriedades químicas e físicas.

Palavras-chave: empuxo; foguetemodelismo; impulso; propelente; proporções.

Introdução

A propulsão por propelente sólido possui relevância na astronáutica e no foguetemodelismo por sua baixa complexidade e custo. O propelente prensado é uma mistura projetada para liberar energia e gases de forma controlada, gerando impulso.

¹ Estudante do Curso Técnico Integrado em Química do IFSC – Câmpus Gaspar.

² Estudante do Curso Técnico Integrado em Química do IFSC – Câmpus Gaspar.

³ Estudante do Curso Técnico Integrado em Química do IFSC – Câmpus Gaspar.

⁴ Estudante do Curso Técnico Integrado em Química do IFSC – Câmpus Gaspar.

⁵ Estudante do Curso Técnico Integrado em Química do IFSC – Câmpus Gaspar.

⁶ Estudante do Curso Técnico Integrado em Química do IFSC – Câmpus Gaspar.

O desempenho depende da proporção entre oxidante (KNO_3) e combustível (sacarose). O primeiro fornece oxigênio à reação, enquanto o segundo libera energia térmica. Assim, investigar diferentes formulações é importante para compreender como a composição química influencia o rendimento do propelente.

A pesquisa visa analisar o impulso buscando a elaboração de maior eficiência, variando o percentual do combustível e oxidante, que será variado de 40% a 60%, e de 30% a 70%. A expectativa é que o melhor rendimento fique próximo a proporção de 35% de combustível e 65% de oxidante.

Fundamentação teórica

A propulsão de propelente sólido baseia-se na produção de impulso pela expulsão dos gases gerados durante a combustão, promovendo a força de reação responsável pelo movimento (Silva, 2015).

Segundo Sutton e Biblarz (2016), o desempenho desses sistemas pode ser avaliado por parâmetros como impulso total e impulso específico, relacionados à eficiência da conversão da energia química em energia cinética dos gases de exaustão. Esse processo ocorre na câmara de combustão e é potencializado pela geometria do bocal (nozzle), responsável por expandir e acelerar os gases a velocidades supersônicas.

Os propelentes sólidos são compostos por misturas de combustível e oxidante que, após a ignição, sofrem combustão autossustentada. A sacarose atua como combustível, fornecendo carbono e hidrogênio, enquanto o nitrato de potássio funciona como oxidante, disponibilizando oxigênio para a reação. Entre os diferentes tipos de propelentes, destacam-se os sistemas à base de açúcar, como o KNSu, amplamente utilizados em contextos experimentais e didáticos (Marchi, 2021).

A eficiência da combustão depende diretamente da proporção entre os reagentes, conforme os princípios da estequiometria. Misturas com excesso de oxidante reduzem a energia liberada por unidade de massa, enquanto o excesso de combustível pode provocar combustão incompleta devido à insuficiência de oxigênio (Sutton; Biblarz, 2016). Dessa forma, a proporção entre nitrato de potássio e sacarose influencia parâmetros como temperatura de combustão, taxa de queima e volume de gases gerados, afetando diretamente o impulso

produzido. Estudos indicam que proporções próximas a 65/35 apresentam desempenho satisfatório em sistemas simplificados (Nakka, 2010).

Além da composição química, fatores como densidade do material, homogeneidade da mistura e geometria do grão também influenciam o impulso efetivo do propelente. Nesse contexto, a prensagem pode alterar a densidade do material e, consequentemente, a taxa de combustão e o desempenho do sistema (Nakka, 2001).

Diante disso, o presente trabalho busca analisar a influência da proporção entre nitrato de potássio e sacarose sobre o impulso efetivo de um propelente sólido prensado. Para isso, o desempenho do motor será avaliado experimentalmente por meio de ensaios em bancada estática equipada com célula de carga, visando identificar tendências de desempenho associadas à composição da mistura.

Procedimentos metodológicos

Para o preparo do KNSu, o nitrato de potássio e a sacarose foram triturados separadamente com o objetivo de reduzir a granulometria, favorecendo a homogeneidade da mistura e o desempenho da combustão. Em seguida, os reagentes foram misturados durante 10 minutos para garantir distribuição uniforme entre oxidante e combustível, nas proporções de 70%-30% e 60%-40%.

As misturas foram submetidas à compactação em prensa hidráulica de 1,5 toneladas, visando maior estabilidade do propelente sólido. Posteriormente, o material compactado passou por raspagem para remoção de irregularidades superficiais e ajuste da massa final do grão para 35g, reduzindo variações geométricas que poderiam interferir na área de queima e no comportamento da combustão.

Os testes estáticos foram realizados em bancada experimental equipada com célula de carga, utilizada para aferição do empuxo do motor (Beninca, 2025). O sistema possui resolução aproximada de 0,4 g e capacidade nominal de até 1 kN, permitindo a obtenção de dados confiáveis. Durante os ensaios, o motor foi posicionado em uma estrutura conectada à célula de carga e acionado eletricamente para iniciar a combustão do propelente.

Durante e após a queima, a célula registrou dados que possibilitaram a geração de gráficos da variação do empuxo em função do tempo, permitindo determinar parâmetros como força máxima e impulso total. As forças medidas foram expressas em newtons (N).

Todas as etapas seguiram as diretrizes de segurança da Associação Brasileira de Minifoguetes (BAR, 2020), incluindo ignição remota com distância mínima de 10 metros, chave de segurança e controle da área de testes. Até o momento, aproximadamente 50 motores foram ensaiados, com dados ainda em fase de processamento e análise.

Quadro 1 – Diâmetros dos motores

Tipo motor	CT (mm)	CA (mm)	CP (mm)
1	120	125	120
2	120	130	120

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Sendo:

CT: Comprimento do tubo-motor

CA: Comprimento total da alma a ser usada

CP: Comprimento da tampa de prensagem do tubo-moto

Figura 1: Motores tipo 1 e 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 2: Motor tipo 2 durante o teste estático



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

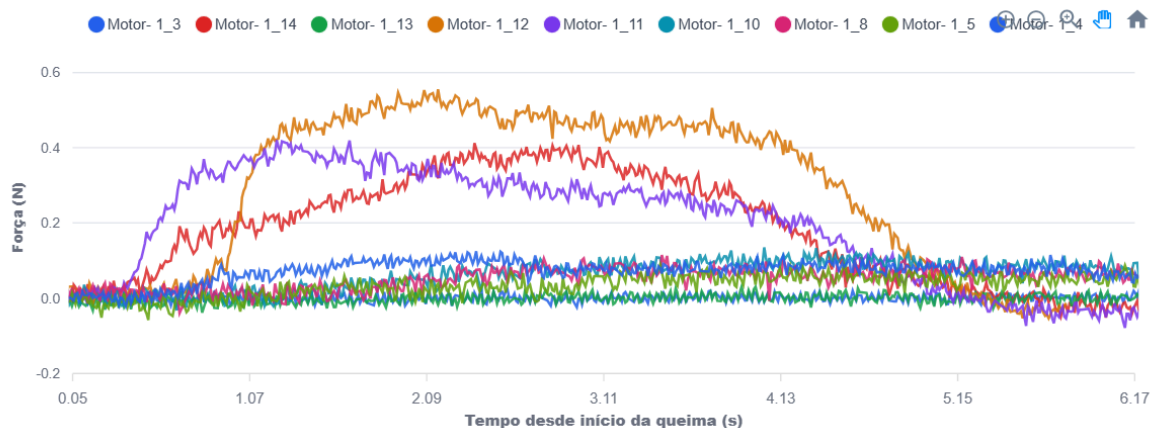
As Figuras 1 e 2 mostram, respectivamente, a chegada dos 25 motores fabricados, os quais foram utilizados para a realização dos testes e prensagens, além da representação do momento de queima de um desses propulsores.

Resultados e discussões

Com o projeto em andamento, parte dos testes estáticos já foram realizados, porém os dados obtidos ainda estão em fase de processamento e análise. Dessa forma, novas execuções experimentais estão previstas, visando complementar o conjunto de dados e permitir uma avaliação mais consistente. Entretanto, o ponto negativo observado foi a baixa acurácia (grau de exatidão e proximidade entre um resultado) registrada na célula de carga do equipamento. Este dado acaba influenciando na maior probabilidade de erro nos resultados e na presença de ruídos nos gráficos de força, prejudicando a leitura precisa das curvas.

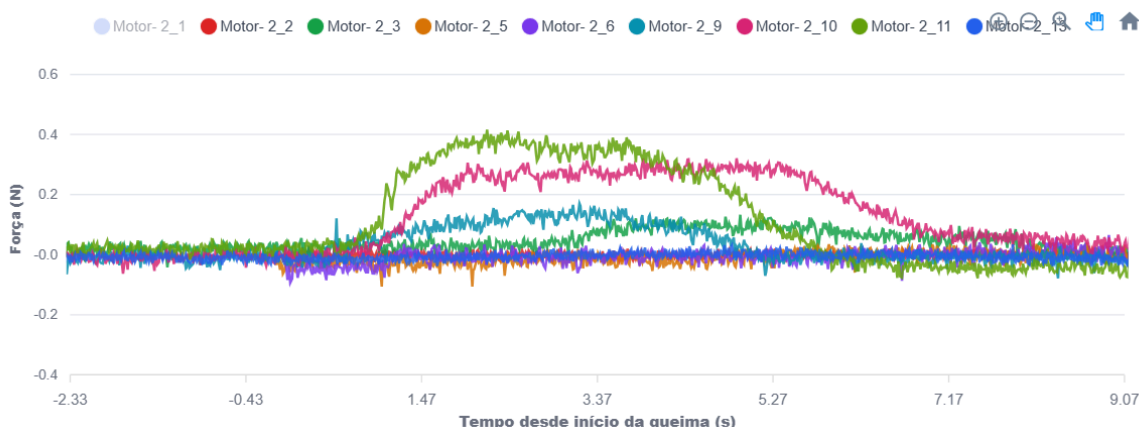
As Figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, as curvas de propulsão dos motores do Tipo 1 e 2, ou seja, demonstram como o impulso varia ao longo do tempo durante o teste estático.

Figura 3: Gráfico da propulsão dos motores Tipo 1



Fonte: Programa balança GFIG (2026)

Figura 4: Gráfico da propulsão dos motores Tipo 2



Fonte: Programa balança GFIG (2026)

A partir dos resultados, observa-se que os motores 1.12 e 2.11 (com as porcentagens 34% de sacarose e 66% de nitrato de potássio) apresentaram desempenho superior em relação aos demais, exibindo curvas de propulsão mais elevadas. Isso indica uma maior geração de força, diretamente relacionada à porcentagem utilizada na composição do propelente.

Portanto, percebe-se que a porcentagem com o maior desempenho na propulsão é próxima a proporção padrão (35%-65%) utilizada em diversos estudos. Contudo, tais



resultados ainda podem divergir com base nos testes futuros do grupo em busca da proporção ideal.

Considerações finais

Este trabalho analisa o impulso efetivo de propelentes sólidos prensados variando as proporções de KNO_3 e sacarose. Por estar em fase experimental, os objetivos foram atingidos apenas parcialmente, sendo a análise completa prevista para a continuidade do estudo.

Até o momento, as atividades focaram no preparo e teste das misturas. Observou-se que a variação dos reagentes influencia diretamente a velocidade de combustão e a eficiência energética, fatores determinantes para o desempenho propulsivo.

A avaliação do impulso depende de testes experimentais que já foram realizados e aguardam a análise dos gráficos. Contudo, a baixa acurácia da célula da balança surge como uma desvantagem por afetar a precisão dos dados.

Além dos aspectos técnicos, o estudo contribuiu para o aprofundamento teórico e o desenvolvimento de habilidades práticas no preparo de propelentes e na compreensão dos princípios da propulsão.

Por fim, espera-se que a continuidade da pesquisa traga dados conclusivos para comparar o desempenho das diferentes proporções, colaborando com avanços no contexto do foguetemodelismo.

Referência ao fomento recebido

Agradecemos ao Instituto Federal de Santa Catarina – Câmpus Gaspar, pelo apoio por meio do Edital nº 01/2025/PROPPI – PIBIC-EM.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MINIFOGUETES. Norma BAR-1/2020: código de segurança para foguetemodelo de baixo impulso total (até 20 N.s). Curitiba: ABMF, 2020. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/foguete/apostila/norma-BAR-1-2020_versao_2020-01-26.pdf. Acesso em: 28 maio 2026.



BENINCA, Romulo de Aguiar. Balança GFIG, s. d. Disponível em: <https://rbeninca.github.io/balancaGFIG/>. Acesso em: 17 abr. 2026.

MARCHI, Carlos Henrique. Propelente KNSu a frio para minifoguetes: preparo, carregamento, estocagem e uso. Curitiba: Departamento de Engenharia Mecânica, UFPR, 2021. Apostila didática.

NAKKA, Richard. Experimental Rocketry Web Site. 2010. Disponível em: <https://www.nakka-rocketry.net/sucrose.html>. Acesso em: 29 abr. 2026.

NAKKA, Richard. Solid Rocket Motor Theory: propellant grain. Richard Nakka's Experimental Rocketry Web Site, 2001. Disponível em: <https://www.nakka-rocketry.net>. Acesso em: 27 maio 2026.

SILVA, J. A. et al. Minifoguete a propelente sólido: aspectos teóricos e práticos. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, p. 4301, 2015.

SUTTON, George P.; BIBLARZ, Oscar. Rocket propulsion elements. 9. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.