

ALTERAÇÃO DE PARÂMETROS NA CONSTRUÇÃO E LANÇAMENTOS DE FOGUETES DE GARRAFA PET ATRAVÉS DO PLANEJAMENTO FATORIAL

Julia Rigo¹; Igor Campos Maccari²; Jaquiel Salvi Fernandes³

1. INTRODUÇÃO

A Olimpíada Brasileira de Foguetes (OBAFOG), organizada pela Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) em colaboração com a Agência Espacial Brasileira (AEB), tem o objetivo de juntar conhecimentos de Astronáutica, Física, Astronomia e demais áreas relacionadas em uma competição de foguetes, movidos com a reação do bicarbonato de sódio e o vinagre. Essa competição é destinada aos estudantes de ensino médio e ensino superior, promovendo conhecimentos fundamentais de maneira divertida e colaborativa [1].

Os participantes da olimpíada buscam a maior distância horizontal a partir do lançamento de foguetes fabricados com garrafas PETs. O Instituto Federal Catarinense Campus Videira (IFC) já possui um histórico de participação, com excelentes resultados na fase nacional da competição, denominada Jornada de Foguetes. Nela o campus já consagrou-se vencedor em cinco anos dos dez que competiu, obtendo, também, dois terceiros lugares e em 2024 a sexta colocação.

Como o principal objetivo é obter o maior alcance, existem muitos fatores que podem ser alterados para o foguete desempenhar um bom lançamento e consequentemente alcançar grandes distâncias, em vista disso foi elaborado um planejamento fatorial com cinco fatores de dois níveis cada (2^5) [2]. Dessa forma é possível combinar diferentes níveis de cada fator para criar experimentos e,

1 Aluna do Instituto Federal Catarinense Campus Videira. Curso Técnico em Eletroeletrônica Integrado ao Ensino Médio. E-mail: juliarigoifc@gmail.com

2 Aluno do Instituto Federal Catarinense Campus Videira. Curso Técnico em Eletroeletrônica Integrado ao Ensino Médio. E-mail: igorcm2007@gmail.com

3 Professor Orientador do Instituto Federal Catarinense Campus Videira. E-mail: jaquiel.fernandes@ifc.edu.br



FICE

14ª FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

28 E 29 DE AGOSTO

posteriormente, analisar e selecionar o melhor de cada fator.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os foguetes são construídos a partir de garrafas PET e geralmente são utilizadas garrafas retornáveis por serem mais fortes e suportarem maiores pressões. Também possuem aletas que ficam localizadas na parte traseira do corpo do foguete, fornecendo a estabilidade direcional do voo. Possui ainda o bico (ogiva) que auxilia na distribuição da massa do foguete, ajudando no seu equilíbrio e diminuindo a resistência com o ar. Tudo isso pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 - Foguetes.



Fonte: Autoria Própria.



FICE

14ª FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

28 E 29 DE AGOSTO

Os foguetes utilizados para as competições não possuem um padrão, então os estudantes constroem pelo método da tentativa e erro, não sendo tão eficiente. Por isso a importância do planejamento fatorial, alinhando diferentes fatores que alteram o desempenho do foguete simultaneamente, sendo possível obter a mesma quantidade de informação com menos experimentos, recursos e tempo.

2.1 Definição dos fatores

Analisando o que pode alterar o resultado no lançamento dos foguetes, foram definidos que os fatores seriam:

1. **Quantidade de bicarbonato:** Visto que uma quantidade insuficiente teria pouca reação e em excesso não haveria vinagre suficiente para reagir, apenas desperdiçando o material.
2. **Quantidade de vinagre:** Se for utilizada uma quantidade excessiva de vinagre o foguete fica com menos espaço interior para o gás gerado, deixando ele menos potente, além de que pode deixar o foguete mais pesado e dificultar o voo.
3. **Temperatura do vinagre:** A temperatura aumenta a velocidade com que ocorre a reação com o bicarbonato.
4. **Massa do bico do foguete:** Uma massa inadequada na ponta do foguete pode interferir no equilíbrio do foguete, prejudicando o lançamento.
5. **Quantidade de aletas:** Determina a estabilidade do foguete e pode aumentar o atrito com o ar.

Após a definição dos parâmetros que seriam analisados, foram realizados testes para a definição dos níveis inferiores e superiores de cada fator, a fim de filtrar os níveis mais eficazes que influenciam no desempenho dos foguetes. Primeiramente foram realizados somente os testes de pressão, para determinar as duas melhores quantidades de bicarbonato e temperatura de vinagre, não foi necessário o lançamento já que os testes de pressão já forneceria qual reação resultaria em maior pressão.



FICE

**14ª FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO**

28 E 29 DE AGOSTO

Para determinar as melhores quantidades de bicarbonato foi utilizado 1 litro de vinagre a 45 °C para todos os testes, iniciando com 90 g de bicarbonato e aumentando de 10 g em 10 g até 150 g. O resultado deste teste inicial foi utilizar 140 g de bicarbonato para 1 L de vinagre, pois visualmente não havia sobra de material e, portanto, seria utilizado como nível inferior deste parâmetro e 10 % a mais no nível superior.

Quanto aos testes de definição de temperatura do vinagre, foram utilizadas duas temperaturas diferentes (45 °C e 55 °C) com duas quantidades de bicarbonato diferentes (90 g e 140 g). Realizando 4 testes associando as quantidades acima, percebeu-se que quanto maior a temperatura maior a pressão, entretanto se for uma temperatura muito elevada pode deformar a garrafa e prejudicar o lançamento. Diante disso, foi selecionado que as melhores temperaturas seriam 50 °C e 55 °C, pois o objetivo era verificar se com 50 °C os resultados seriam equivalentes aos de 55 °C, sem o risco de dilatar a garrafa.

Com relação a quantidade de vinagre, foram realizados testes que iniciavam com 700 ml e aumentavam de 100 ml em 100 ml até 1,2 L, todos a 55 °C. Para isso foi utilizado a proporção de bicarbonato citada acima como a mais eficaz de 14 g para cada 100 ml. A maior pressão e distância foi com 1,1 L de vinagre, sendo este valor escolhido como nível superior. Como nível inferior, ficou estipulado 900 mL, pois o foguete ficou mais leve e alguns resultados com essa quantidade de vinagre também obtiveram resultados próximos aos de 1,1 L.

Referente aos testes da massa total do bico (ogiva) do foguete, aumentou-se a massa do bico de 20 g em 20 g, indo de 70 a 130 g, com os demais aspectos construtivos e de combustível do foguete ficando fixos. Percebeu-se que se a massa fosse muito pequena o foguete se desestabilizava e se muito grande, fazia com que ele não voasse tanto. Logo, foram definidos que os melhores valores seriam 90 g e 120 g para o bico do foguete.

Por fim, para a definição do número de aletas do foguete é visível que duas aletas são insuficientes para estabilizar o foguete, três já proporcionam equilíbrio, e quatro também garantem estabilidade. Entretanto, cinco ou mais aletas já deixariam o foguete pesado e com grande atrito com o ar, por isso, foi escolhido 3 e 4 aletas para o planejamento fatorial.

Durante os testes preliminares percebeu-se que segundas agitações na hora da reação do bicarbonato de sódio e do vinagre eram necessárias, acelerando a reação e garantindo que o material do bicarbonato fosse bem diluído, otimizando o reação entre os combustíveis e consequentemente do lançamento do foguete.

Na tabela 1 é possível visualizar os níveis inferiores e superiores de cada fator.

Tabela 1 - Níveis inferiores e superiores de cada fator do planejamento fatorial 2^5 .

FATORES		(-)	(+)
1	Temperatura	50 °C	55 °C
2	Bicarbonato	126 g	170 g
3	Vinagre	900 ml	1,1 L
4	Massa do Bico	90 g	120 g
5	Aletas	3	4

Fonte: Autoria Própria.

2.2 Planejamento fatorial 2^5

Para um planejamento fatorial completo foram realizadas todas as combinações possíveis entre os 5 fatores e seus dois níveis, a lista de combinações é também chamada de matriz de planejamento. Para sua construção existe uma ordem padrão a ser seguida para organizar os ensaios (lançamentos), iniciando com todas as colunas da matriz de planejamento possuindo com o nível inferior (-). Na primeira coluna os sinais se alteram de um em um (- + - +...), já na segunda coluna de dois em dois (-- ++ -- ++...) e assim sucessivamente, com cada coluna dobrando o número de sinais repetidos [2] [3].

Na tabela 2 é possível observar a matriz de planejamento com as medidas utilizadas no planejamento fatorial 2^5 , onde foram realizadas duas repetições para cada configuração de fator. Logo, se o planejamento é 2^5 , teremos um total de 32 lançamentos, adicionando as repetições seriam mais 32, totalizando 64 lançamentos



FICE

**14ª FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO**
28 E 29 DE AGOSTO

de foguetes.

Tabela 2 - Matriz de Planejamento Fatorial²⁵.

Ensaio	Temperatura	Bicarbonato	Vinagre	Peso Bico	Aletas	Distância (m)		Média(m)
1	50 °C	126 g	900 mL	90 g	3	235	231	233,0
2	55 °C	126 g	900 mL	90 g	3	251	262	256,5
3	50 °C	170 g	900 mL	90 g	3	267	274	270,5
4	55 °C	170 g	900 mL	90 g	3	243	291	267,0
5	50 °C	126 g	1,1 L	90 g	3	267	343	305,0
6	55 °C	126 g	1,1 L	90 g	3	227	261	244,0
7	50 °C	170 g	1,1 L	90 g	3	294	220	257,0
8	55 °C	170 g	1,1 L	90 g	3	298	291	294,5
9	50 °C	126 g	900 mL	120 g	3	283	269	276,0
10	55 °C	126 g	900 mL	120 g	3	243	237	240,0
11	50 °C	170 g	900 mL	120 g	3	241	269	255,0
12	55 °C	170 g	900 mL	120 g	3	278	262	270,0
13	50 °C	126 g	1,1 L	120 g	3	274	289	281,5
14	55 °C	126 g	1,1 L	120 g	3	334	281	307,5
15	50 °C	170 g	1,1 L	120 g	3	294	276	285,0
16	55 °C	170 g	1,1 L	120 g	3	292	348	320,0
17	50 °C	126 g	900 mL	90 g	4	270	290	280,0
18	55 °C	126 g	900 mL	90 g	4	270	280	275,0
19	50 °C	170 g	900 mL	90 g	4	285	295	290,0
20	55 °C	170 g	900 mL	90 g	4	278	288	283,0
21	50 °C	126 g	1,1 L	90 g	4	327	367	347,0
22	55 °C	126 g	1,1 L	90 g	4	341	361	351,0
23	50 °C	170 g	1,1 L	90 g	4	290	238	264,0
24	55 °C	170 g	1,1 L	90 g	4	259	286	272,5
25	50 °C	126 g	900 mL	120 g	4	288	275	281,5
26	55 °C	126 g	900 mL	120 g	4	301	269	285,0
27	50 °C	170 g	900 mL	120 g	4	259	213	236,0
28	55 °C	170 g	900 mL	120 g	4	288	287	287,5
29	50 °C	126 g	1,1 L	120 g	4	277	328	302,5
30	55 °C	126 g	1,1 L	120 g	4	336	322	329,0
31	50 °C	170 g	1,1 L	120 g	4	260	319	289,5
32	55 °C	170 g	1,1 L	120 g	4	273	261	267,0

Fonte: Autoria Própria.

Nos lançamentos, mesmo tendo procedimentos semelhantes para seguir um padrão nos lançamentos, existem variações que não são possíveis de controlar, como o vento, por exemplo. Então, houve a necessidade de repetir cada lançamento, consequentemente uma maior confiabilidade no resultado das distâncias dos foguetes foi obtida.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da matriz de planejamento pode-se formar a tabela dos coeficientes de contraste. Esta tabela é formada pelos efeitos principais de cada parâmetro mais as interações entre eles.

Nesta tabela, o efeito principal de cada parâmetro é obtido pela repetição dos sinais da coluna do parâmetro em questão. Além dos efeitos principais, também existem os efeitos de interação entre os parâmetros, os quais são determinados multiplicando-se os sinais das colunas dos parâmetros envolvidos para obter a coluna correspondendo à interação entre eles [3]. A tabela 3 também inclui uma última coluna com os valores médios (ou respostas) obtidos para cada ensaio.

Levando em conta as proporções relacionadas ao combustível do foguete, no gráfico 1 é possível notar destaque para a proporção 126 g - 1,1 L (nível inferior do bicarbonato e superior do vinagre), tendo as quantidades ideais de bicarbonato para reagir com o vinagre, diferentemente da proporção de 126 g - 900 ml (nível inferior do bicarbonato e inferior do vinagre) que se mostrou menos eficiente nos experimentos por faltar vinagre para reagir com o bicarbonato.

Tabela 3 - Matriz de Contraste para um Fatorial 2⁵.

Média	Efeitos Primários					Efeitos Secundários										Efeitos Terciários												(Ȳ)
							1										12	12	12	13	1	23	23	24	34	12		(m)
	1	2	3	4	5	12	3	14	15	23	24	25	34	35	45	3	4	5	4	3	4	5	5	5	34	34	5	
+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	233,0	
+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	256,5	
+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	270,5	
+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+		+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	267,0	
+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	305,0	
+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	244,0	
+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	257,0	
+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	294,5	
+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	276,0	
+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-		-	+	+	-	+	+	+	-	240,0	
+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	255,0	
+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	270,0	
+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	281,5	
+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	307,5	
+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+	285,0	
+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	320,0	
+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	280,0	
+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	275,0	
+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	290,0	
+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+	283,0	
+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	347,0	
+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	+	351,0	
+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	264,0	
+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	272,5	
+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	281,5	
+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	285,0	
+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	236,0	
+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	287,5	
+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	302,5	
+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	329,0	
+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	289,5	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	267,0	

Fonte: Autoria Própria.

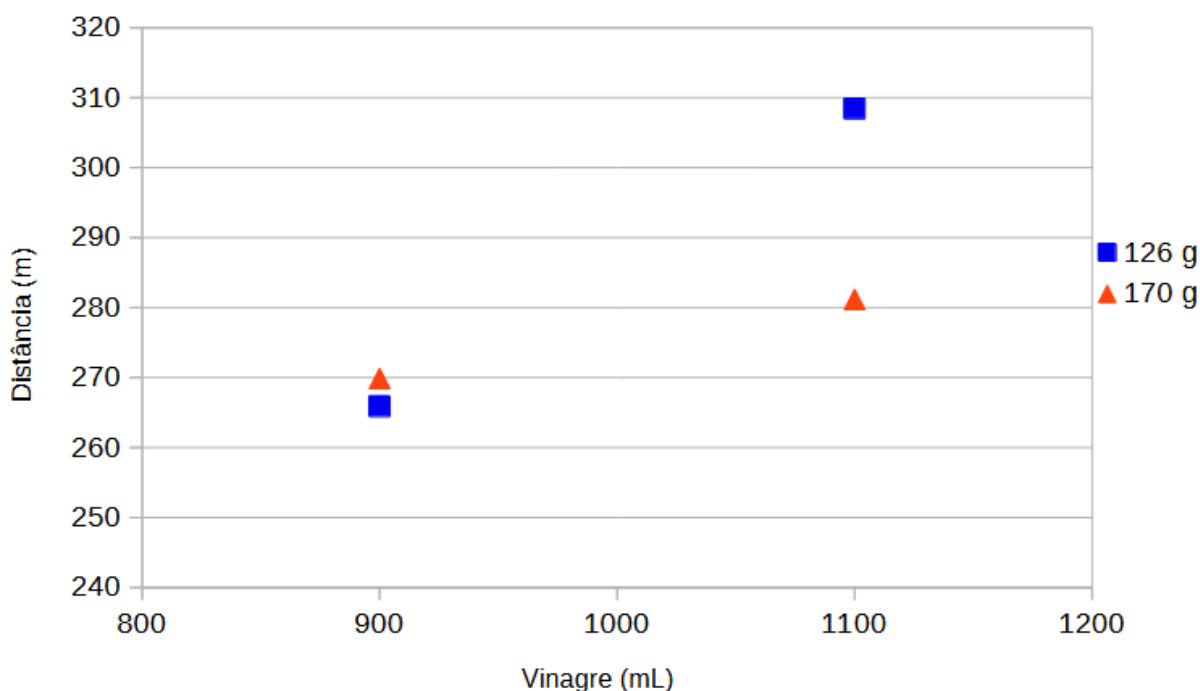


FICE

14ª FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

28 E 29 DE AGOSTO

Gráfico 1 - Variação das proporções entre o vinagre e o bicarbonato.



Fonte: Autoria Própria.

Sobre os resultados das variações de temperatura, verificou-se que nos lançamentos utilizando as mesmas proporções no foguete com 50 °C e 55 °C, 68,75% dos lançamentos alcançaram maior distância com 55 °C e 31,25 % com 50 °C, como pode ser observado no gráfico 2. Além dos 55 °C os lançamentos já ficam comprometidos, haja vista que temperaturas superiores causam deformação na garrafa, prejudicando a aerodinâmica do foguete e trazendo prejuízos para os aspectos construtivos do foguete e em seu desempenho durante o voo. Desta forma, a temperatura ideal do vinagre é a mais alta que for possível sem deformar a garrafa, que pelos testes indicou 55 °C.

Referente a massa de bico, é possível analisar que para cada quantidade de aleta existe um peso ideal a ser utilizado. Isso se dá por conta do equilíbrio do foguete que está associado com o seu centro de pressão, então para foguetes com 3 aletas (nível inferior) o melhor seria 120 g no bico (nível superior) e para 4 aletas (nível superior) o melhor seria 90 g no bico (nível inferior). Essas informações estão visíveis no gráfico 3.

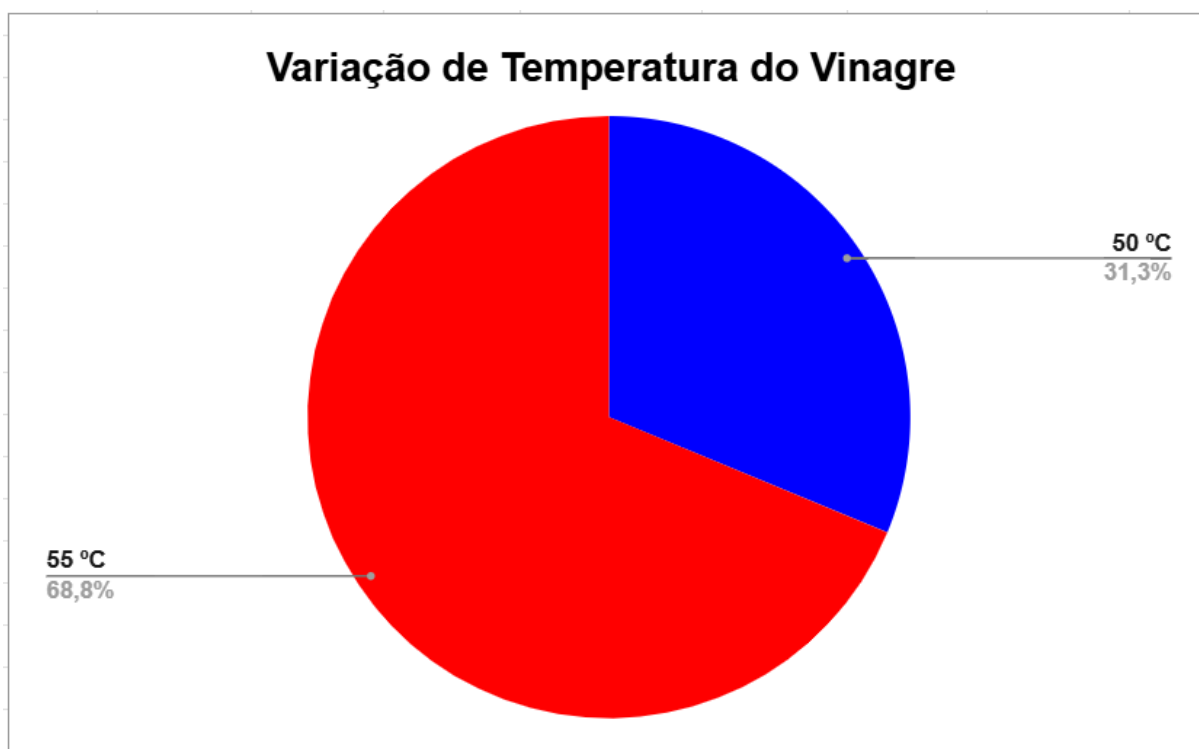


FICE

14ª FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO

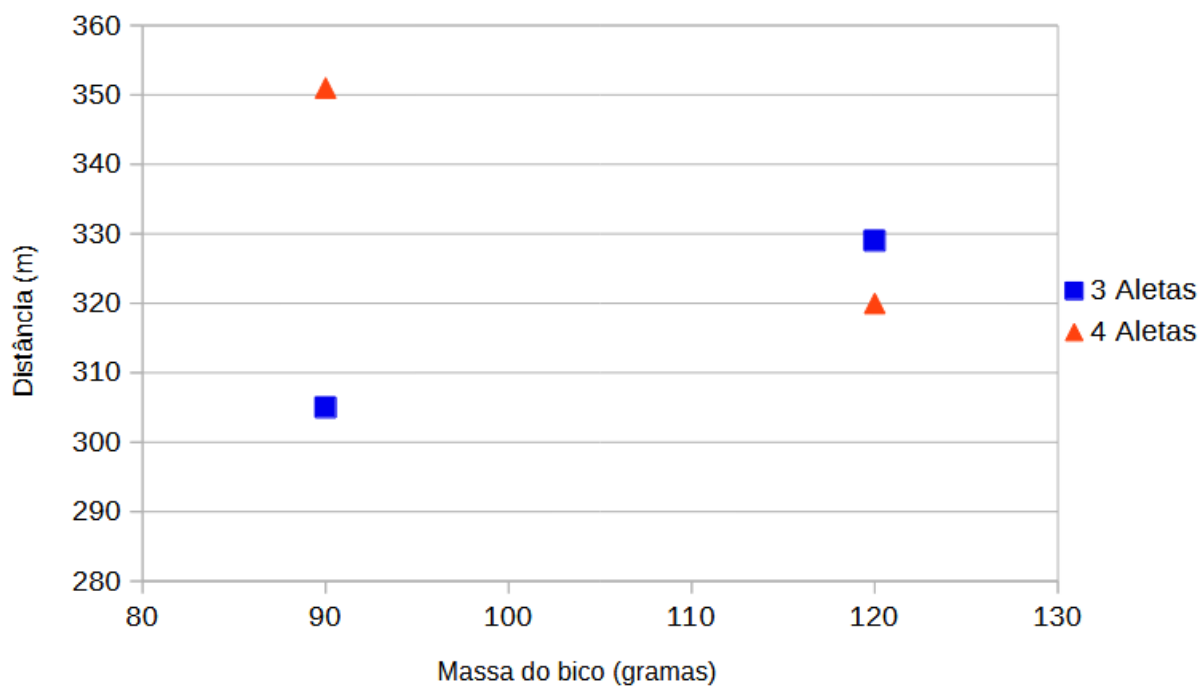
28 E 29 DE AGOSTO

Gráfico 2 - Variação de Temperatura do Vinagre.



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 3 - Variação da massa do Bico do Foguete .



Fonte: Autoria Própria.

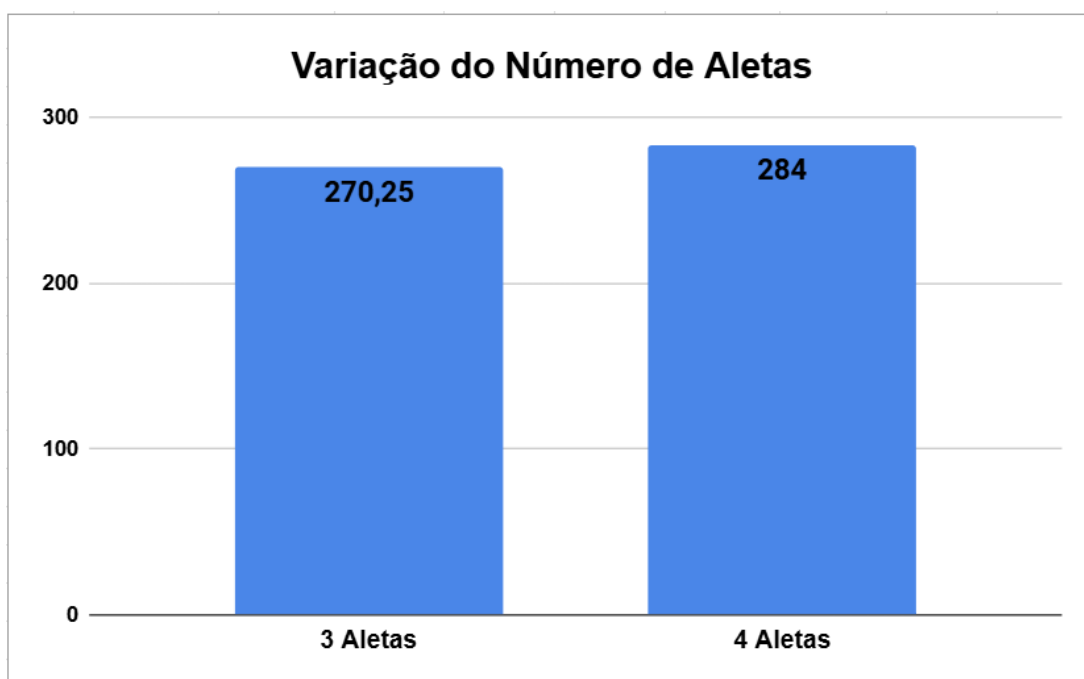


FICE

**14ª FEIRA DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA E EXTENSÃO**
28 E 29 DE AGOSTO

Sobre a melhor quantidade de aletas, observa-se que na média de distâncias com 4 aletas e 3 aletas, obtém-se destaque para 4, com média de 284 metros, enquanto que com 3 aletas a média é de 270,25 metros de distância. Assim como apresentado no gráfico 4. É uma diferença consideravelmente pequena, já que outros fatores não incluídos neste planejamento fatorial como o formato e tamanho, por exemplo, também interferem nesses resultados.

Gráfico 4 - Variação do Número de Aletas.



Fonte: Autoria Própria.

O planejamento fatorial proporcionou analisar todos os fatores simultaneamente, sendo possível verificar quais parâmetros são mais significativos e quais precisam de maior atenção. Na tabela 4 é possível verificar os efeitos primários dos parâmetros analisados em relação às distâncias obtidas em todos os testes realizados. Os valores dos efeitos, positivos ou negativos, significam um aumento ou um decréscimo na distância obtida nos lançamentos, respectivamente, em relação à variação dos parâmetros considerados.

Tabela 4 - Efeitos primários dos fatores no desempenho dos foguetes.

Fatores	Distância (m)
Temperatura	6,0
Bicarbonato	-11,6
Vinagre	26,9
Peso Bico	1,4
Aletas	17,4

Fonte: Autoria Própria.

CONCLUSÃO

Analizando todos os resultados apresentados, conclui-se que para os aspectos construtivos do foguete o ideal é utilizar 4 aletas e consequentemente para essa quantidade de aletas o melhor peso do bico é de 120 g. E sobre os aspectos do combustível do foguete, a melhor proporção seria de 126 g de bicarbonato para 1,1 L de vinagre, com aquecimento do vinagre até no máximo 55 °C, garantindo que o foguete não sofra nenhuma deformidade devido ao superaquecimento.

Este planejamento fatorial contribuiu para otimizar os lançamentos de foguetes de bicarbonato de sódio com vinagre, desde seus aspectos construtivos até as quantidades de combustíveis utilizados. Fazendo, desta forma, que os estudantes do IFC Videira possam continuar se destacando cada vez mais nas competições locais e nacionais de foguetes.

REFERÊNCIAS

- [1] OBAFOG. **Instruções sobre como construir e lançar foguetes do nível 4:** vinagre e bicarbonato de sódio. 2025. Disponível em: http://www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/downloads/REGULAMENTO%20DA



%2019a%20OBAFOG%20PARA%20O%20NÍVEL%204%20-%202025-compactado.pdf . Acesso em: 10 de julho de 2025.

[2] NETO, Benício de Barros *et al.* **Como Fazer Experimentos**: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.. 4. ed. Bookman, 2010. 414 p. Acesso em: 11 de julho de 2025.

[3] FERNANDES, Jaquiel; APPOLONI, Carlos. **Otimização dos Parâmetros de Medida de um Sistema Portátil de Espectrometria de Raios X e Raios Gama**. 8 p. Acesso em: 17 de julho de 2025.