



# Planejamento e experimento entre seda e tabaco e sua interação

July 18, 2024

Campinas-SP

Figura 1: Cigarros



## Lista de Figuras

1	Cigarros . . . . .	1
2	marcas de tabaco vs marcas de seda . . . . .	6
3	marcas seda x tempo de queima . . . . .	8
4	marcas tabaco x tempo de queima . . . . .	8
5	QQplot dos resíduos . . . . .	9
6	resíduos vs valores ajustados . . . . .	10
7	resíduos x marcas de seda . . . . .	10
8	resíduos x marcas de tabaco . . . . .	10
9	comparação média entre marcas de seda . . . . .	11
10	comparação média entre marcas de tabaco . . . . .	11

## Lista de Tabelas

1	tempo de queima em segundos dos tratamentos . . . . .	7
2	médias por marca de seda . . . . .	8
3	médias por marca de tabaco . . . . .	8
4	tabela de análise de variância (ANOVA) para o tempo . . . . .	8
5	tabela de análise de variância (ANOVA) para o tempo . . . . .	9

# Sumário

<b>1</b>	<b>Resumo</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Introdução</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>7</b>
4.1	Análise descritiva . . . . .	7
4.2	Análise de variância . . . . .	8
4.3	Análise dos resíduos . . . . .	9
4.4	Intervalos de confiança de Tukey . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>11</b>

# 1 Resumo

O objetivo deste experimento é avaliar o efeito de diferentes marcas de sedas, marcas de tabaco e a interação entre esses dois fatores no tempo de queima de um cigarro enrolado. Uma justificativa razoável para conduzir esse experimento com base no tempo de combustão pode ser a busca pelo entendimento dos mecanismos que influenciam a produção de fumaça e resíduos tóxicos durante a queima de cigarros. Isso poderia potencialmente levar a melhorias na concepção de cigarros com menor impacto ambiental e a saúde dos fumantes passivos.

**Palavras-chave:** tabagismo; tempo de combustão; cigarros; saúde.

## 2 Introdução

Tabaco é um produto agrícola processado a partir das folhas de plantas do gênero *Nicotiana*.<sup>1</sup> É consumido como uma droga recreativa sob forma de cigarro, rapé, cachimbo, charuto, naguilé ou fumo mascado por exemplo. É também usado em remédios, para tratamento de indivíduos tabaco-dependentes para aliviar os sintomas da síndrome de abstinência de nicotina, levando a diminuição e abandono do hábito de fumo.

Originária dos Andes, a planta do tabaco se espalhou pela América através dos povos ameríndios, sendo usada de várias formas terapêuticas e recreativas. Em 1561, Jean Nicot descobriu que o tabaco moído aliviava enxaquecas e enviou sementes para a França, popularizando o rapé. No Brasil, os indígenas já usavam tabaco antes da colonização portuguesa, e os colonos passaram a cultivá-lo para consumo próprio e comercialização.

O uso se estende até os dias de hoje, possuindo diferentes marcas e tipos de tabaco, conjuntamente com uma diversidade nos produtos periféricos ao tabaco em si mas essenciais para seu consumo, como tipos e marcas de sedas, filtros e etc. Dito isso o experimento busca estudar o impacto de diferentes marcas na quantidade de fumaça produzida pelas diferentes marcas de tabaco do tipo virginia e diferentes sedas comumente encontradas em locais onde são comercializados esse tipo de produto. Esta quantidade de fumaça será relacionada proporcionalmente ao tempo de queima dos cigarros produzidos ao longo desse experimento.

---

<sup>1</sup><https://en.wikipedia.org/wiki/Nicotiana>

### 3 Metodologia

#### Fatores de interesse:

- Marcas de seda (4 níveis).
- Marcas de tabaco (3 níveis).
- 12 tratamentos (todas as combinações entre as marcas das sedas e tabacos).

#### Replicações e unidades experimentais

- 3 replicações por tratamento.
- 36 unidades experimentais (UE's) ao todo.

#### Aleatorização:

- Sorteio aleatória do tratamento aplicado a cada UE e sem reposição.

#### Controle de fator ruído:

- Ambiente fechado numa tentativa de "controlar" condições meteorológicas.
- Padronização da quantidade de tabaco (0,5g) e uso do mesmo tipo de filtro.
- Todos os cigarros foram enrolados por uma única pessoa(mais experiente) para evitar o efeito do enrolador no tempo de queima do cigarro.

Adotamos 4 marcas de seda (**Zomo, Elements, Bem Bolado e Keep Kooling**) e 3 marcas de tabaco (**Amsterdam, SASSO e Tabacquin**). Na pesagem do tabaco dispomos de uma balança de precisão. Na simulação do fumo, foi utilizada uma garrafa PET de 5L, com dois furos; um na tampa para encaixar o cigarro de modo que o filtro ficasse encaixado na tampa. O outro furo, na lateral da garrafa PET logo acima da base do recipiente, este mantido tampado por uma fita isolante até encher a garrafa com água até certo nível. Acende-se o fumo e retira-se a fita isolante do furo lateral (inicia a simulação do fumo) dando início ao experimento e contagem do tempo no cronômetro até a queima total do fumo. Após o processo, a água continua esvaziando totalmente a garrafa, num balde, evitando maiores desperdícios. Cola-se a fita isolante novamente no furo lateral da garrafa. Por fim, reutiliza-se a água do balde para garrafa PET de 5L novamente e assim reinicia-se novamente o processo de replicação do experimento.

Para analisar os dados do experimento, optamos por utilizar o modelo completamente aleatorizado ANOVA two-way com interação. Este modelo é adequado quando queremos estudar os efeitos de duas variáveis independentes e suas possíveis interações. No nosso caso, estamos interessados em avaliar o impacto dos fatores **seda** e **tabaco** nas respostas **tempo de queima** obtidas.

O modelo ANOVA two-way pode ser descrito pela seguinte equação:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (1)$$

onde:

- $y_{ijk}$  é tempo observado na queima do  $i$ -ésimo nível do fator 1 **seda**  $j$ -ésimo nível do fator 2 **tabaco** e  $k$ -ésima replicação
- $\mu$  é a média geral
- $\tau_i$  é o efeito do  $i$ -ésimo nível do fator 1 **seda**
- $\beta_j$  é o efeito do  $j$ -ésimo nível do fator 2 **tabaco**
- $(\tau\beta)_{ij}$  é o efeito da interação entre o  $i$ -ésimo nível do fator 1 e o  $j$ -ésimo nível do fator 2
- $\epsilon_{ijk}$  é o erro aleatório, sendo  $\epsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$

Para realizar a inferência estatística adotamos as seguintes restrições:

$$\sum_{i=1}^a \tau_i = 0; \sum_{j=1}^b \beta_j = 0; \sum_{i=1}^a (\tau\beta)_{ij} = 0; \sum_{j=1}^b (\tau\beta)_{ij} = 0 \quad (2)$$

para cada  $i, j$  fixo.

A escolha deste modelo permite-nos não apenas examinar os efeitos principais dos tratamentos, mas também identificar se há uma interação significativa entre esses fatores. O gráfico da Figura 2 ajuda a compreender o comportamento do tempo de queima dos cigarros de acordo com a marca de seda e tabaco escolhidas, é possível observar um comportamento similar das retas que representam a marca de tabaco, quando aplicadas sobre a marca de seda (**Zomo**), esse comportamento semelhante pode indicar significância estatística do efeito da interação entre os fatores de interesse.

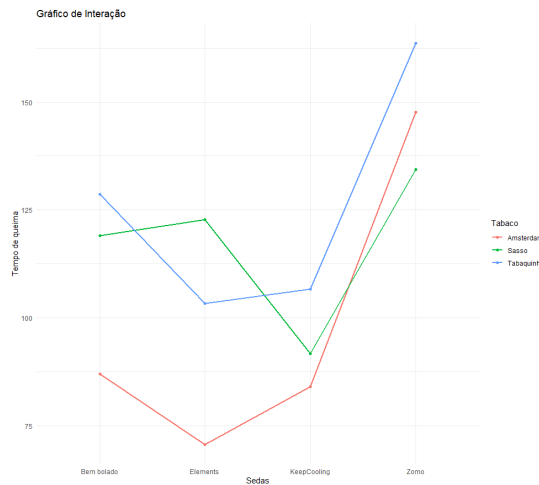


Figura 2: marcas de tabaco vs marcas de seda

## 4 Resultados

### 4.1 Análise descritiva

Primeiramente, dispomos na Tabela 1 os valores de cada variável resposta (**tempo de queima**) para cada tratamento. O interesse aqui é visualizar como se dá a interação de cada marca de seda e tabaco no tempo de sua queima. De antemão, podemos notar que há indícios de que a marca de seda Zomo quando queimada com todas as demais marcas de tabaco, nota-se em quase sua maioria, num tempo de queima maior se comparada as demais marcas de seda. Em contrapartida, notamos que a marca KeepCooling quando queimada com todas as marcas de tabaco, houve um tempo de queima menor. Por fim, as marcas de seda, Bem bolado e Elements, não parece diferir muito numa diferença significativa do tempo de queima, quando comparada com Zomo e KeepCooling.

Tabela 1: tempo de queima em segundos dos tratamentos

Tratamento	Amsterdam	Sasso	Tabaquinho
Zomo	185	112	171
	110	158	154
	148	133	166
Elements	60	125	109
	70	128	117
	82	115	84
Bem bolado	81	146	105
	90	129	131
	90	82	150
KeepCooling	105	120	96
	83	90	126
	64	65	98

A seguir investigamos as médias de cada marca de seda no seu tempo de queima e possíveis outliers através de um boxplot, como se vê na Figura 3. De fato, como vimos no gráfico, a marca da seda Zomo em relação a média geral (linha tracejada) foi a que apresentou em média, maior tempo de queima. Por outro lado, KeepCooling, o menor tempo. Esses resultados corroboram com os indícios apresentados na Tabela 1.

Posteriormente, analisamos as médias das marcas de tabaco e seus respectivos tempo de queima, através do boxplot da Figura 4. Podemos notar que em relação a média geral (linha tracejada) a marca de tabaco Amsterdam, apesar de um valor aberrante que se destaca, apresentou menor tempo de queima. A marca de tabaco tabaquinho, em média, apresentou um tempo maior de queima, em relação as demais. Por último, a marca SASSO, não apresentou diferença significativa, isso é notado na sua média do tempo de queima, em relação a média geral, onde praticamente, as médias se coincidem como mostra na Figura 4. Por fim as Tabelas 2 e 3 mostra o valor da média de cada marca.



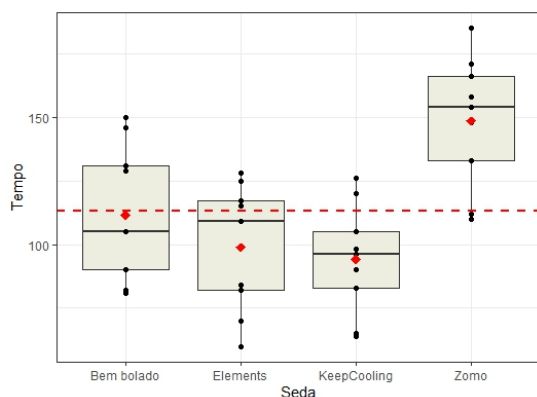


Figura 3: marcas seda x tempo de queima

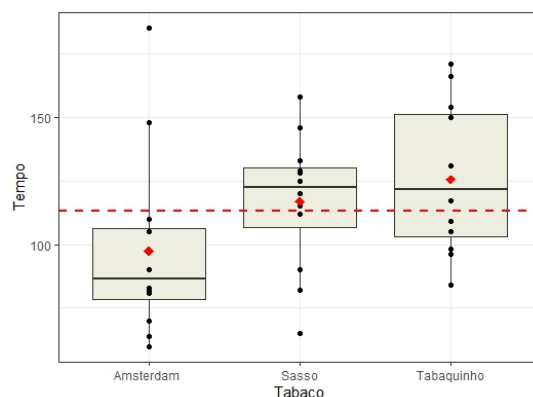


Figura 4: marcas tabaco x tempo de queima

Tabela 2: médias por marca de seda

seda	média de tempo(s)
Zomo	148.556
Elements	98.889
Bem bolado	111.556
KeepCooling	94.111

Tabela 3: médias por marca de tabaco

tabaco	Média de tempo(s)
Amsterdam	97.333
Sasso	116.917
Tabaquinho	125.583

## 4.2 Análise de variância

Após feita a análise descritiva dos dados, foi ajustada a Tabela ANOVA two-way, que apresenta as estatísticas associadas a cada um dos fatores de interesse (efeito da marca da seda e do tabaco), conforme indicado na Tabela 4 .

Tabela 4: tabela de análise de variância (ANOVA) para o tempo

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
seda	3	16397.0	5465.7	11.7668	6.158e-05
tabaco	2	5026.7	2513.4	5.4109	0.01149
seda:tabaco	6	4063.5	677.3	1.4580	0.23457
Residuals	24	11148.0	464.5		

Os resultados da análise de variância (ANOVA) para o tempo de resposta indicam que tanto a variável **seda** e a variável **tabaco** são significativamente influentes. A variável **seda** apresentou uma estatística do teste de 11.7668 e um p-valor de 6.158e-05(quase 0) indicando uma influência estatisticamente significativa no tempo de resposta. De forma similar, a variável **tabaco** também mostrou um efeito significativo, com a **estatística do teste 5.4109 (F-value)** e um **p-valor 0.01149**.

Esses resultados confirmam a hipótese de que diferentes marcas de seda e tipos de tabaco têm um impacto mensurável no tempo de resposta. No entanto, ao analisar a interação entre **seda** e **tabaco**, os resultados não apresentam evidências suficientes para confirmar uma influência significativa. A interação entre essas variáveis apresentou uma estatística do teste de 1.4580 e um p-valor de 0.23457, ou seja, não é estatisticamente significativo.

Portanto optamos pela escolha de um modelo apenas aditivo, sem interação, como indicado na Tabela 5, pois é mais simples e eficiente, também não tirando graus de liberdade do erro para uma interação não significativa.

Tabela 5: tabela de análise de variância (ANOVA) para o tempo

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
seda	3	16397.0	5465.7	10.7793	5.705e-5
tabaco	2	5026.7	2513.4	4.9568	0.0138
Residuals	30	15211.5	507.0		

### 4.3 Análise dos resíduos

Com o modelo ajustado e análise de variância realizada, passamos para a etapa de análise dos resíduos do modelo, esta etapa é essencial para validar as suposições do modelo e garantir a confiabilidade dos resultados. Examinar os resíduos permite identificar possíveis desvios das premissas de normalidade, homogeneidade de variâncias e independência dos erros. A análise do gráfico QQ-plot dos resíduos indicado na Figura 5 revelou que os pontos estão dispostos aproximadamente sobre a reta, indicando que os resíduos seguem uma distribuição normal. Essa observação sugere que a suposição de normalidade dos erros é válida, reforçando a adequação do modelo estatístico aplicado.

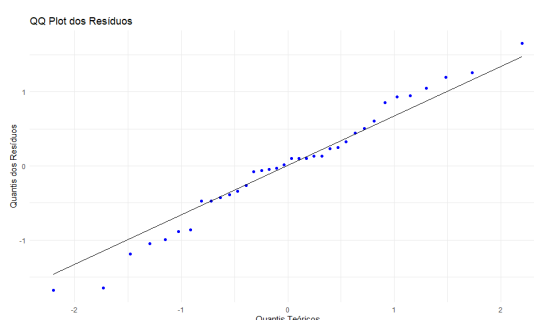


Figura 5: QQplot dos resíduos

Os resíduos apresentam estar distribuídos aleatoriamente em torno de zero como indicado na Figura 6, sem formar padrões discerníveis. Qualquer padrão detectado pode sugerir a necessidade de reformular o modelo, incluir variáveis adicionais, ou aplicar transformações para melhorar a precisão e a validade das inferências estatísticas

Os gráficos das Figuras 7 e 8 indicam a distribuições dos resíduos de acordo com cada um dos fatores de interesse (marcas de seda e marcas de tabaco), os resíduos mostram ausência de um padrão discernível, como uma tendência ou curvatura, isso sugere que

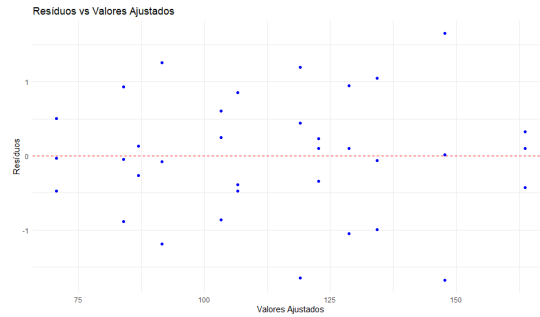


Figura 6: resíduos vs valores ajustados

o modelo capturou corretamente a relação entre as variáveis, estes gráficos são uma ferramenta importante para diagnosticar e melhorar a especificação do modelo, garantindo que as conclusões tiradas sejam confiáveis.

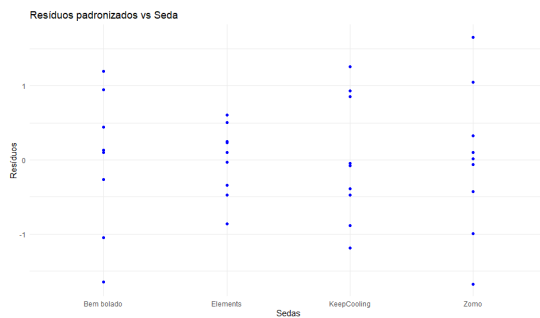


Figura 7: resíduos x marcas de seda

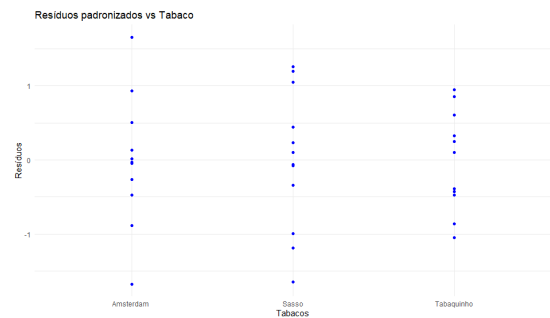


Figura 8: resíduos x marcas de tabaco

#### 4.4 Intervalos de confiança de Tukey

Pelo fato do p-valor ter sido significativo na Tabela 5 tanto para seda quanto para o tabaco, vamos realizar uma comparação pareada entre as marcas de seda e entre as marcas de tabaco para avaliar quais delas deram maior diferença média entre os tempos de queima de cigarro. Para isso vamos realizar o teste de Tukey para comparações múltiplas.

Na Figura 9 podemos observar que a comparação pareada entre Zomo e Bem-bolado e também de Zomo e Keep-Kooling suas médias foram estatisticamente diferente de zero. Ao observar o boxplot das sedas na Figura 3 e a Tabela 2 observamos que a marca Zomo apresenta tempo de queima médio maior que essas marcas. Portanto, a marca Zomo apresenta um tempo de queima médio maior que as demais marcas analisadas.

Na Figura 10 podemos observar que a comparação pareada entre Tabacinho e Amsterdam suas médias foram estatisticamente diferente de zero. Ao observar o boxplot dos tabacos na Figura 4 e a Tabela 3 observamos que a marca Tabacinho apresenta tempo de queima médio maior que essas marcas. Portanto, a marca Tabacinho apresenta um tempo de queima médio maior que a marca analisada.

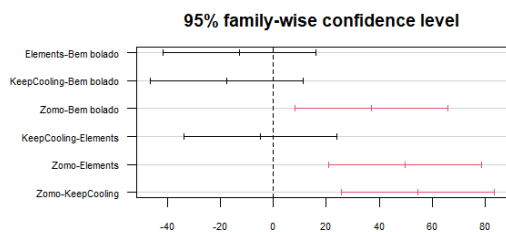


Figura 9: comparação média entre marcas de seda

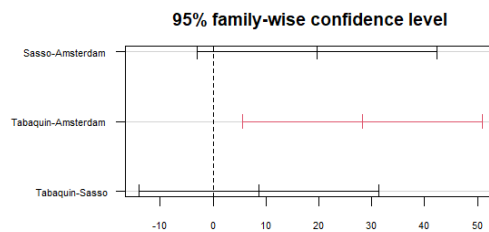


Figura 10: comparação média entre marcas de tabaco

## 5 Conclusão

Concluimos que, após a análise estatística dos fatores de interesse para marcas de seda e tabaco, ambos influenciam diretamente no tempo de queima do cigarro. No entanto, com exceção da marca Zomo, não houve diferença significativa no tempo de queima entre as marcas. A marca Amsterdam destacou-se por apresentar o menor tempo de queima, o que implica em menor emissão de fumaça e, portanto, um impacto reduzido sobre o fumante passivo devido à menor liberação de poluentes.