

Avaliação multivariada aplicada em experimentos cinéticos de baixo custo

Priscila Ferreira de Sales Amaral¹

Túlio Carvalho Mattar²

Resumo:

Este trabalho teve como objetivo realizar experimentos de análise multivariada que mostrem a influência de diferentes parâmetros no tempo reacional dos experimentos “Uma quase lâmpada de lava” e “Violeta que desaparece”. Para tanto, foi empregada a Quimiometria como ferramenta para o planejamento dos experimentos, bem como para a construção de gráficos e superfícies de resposta em testes conduzidos com 95% de confiança. Após o estabelecimento do planejamento fatorial completo, em que foram cronometrados os respectivos tempos reacionais, construiu-se gráficos de Pareto para avaliar a influência dos parâmetros individuais e de suas interações. Para os experimentos estudados observou-se que os fatores analisados e as suas interações foram significativos. O ajuste dos dados aos modelos indicou que enquanto o mais adequado ao experimento “Uma quase lâmpada de lava” foi o quadrático puro, para o experimento “Violeta que desaparece”, o mais ajustável foi o de interação. Vale destacar a importância deste trabalho para o meio acadêmico, já que para os experimentos de Cinética Química neste trabalho foi aplicada uma análise multivariada. Espera-se ainda que este trabalho permita respaldar, ao nível molecular, experimentos que podem ser realizados com materiais facilmente acessíveis e que sejam aplicáveis a outras temáticas de ensino.

Palavras-chave: Cinética Química. Reagentes. Temperatura.

Multivariate evaluation applied to low-cost kinetic experiments

Abstract: This study aimed to conduct multivariate analysis experiments that demonstrate the influence of different parameters on the reaction time of the experiments "A near-lava lamp" and "Vanishing violet." Chemometrics was used to design the experiments and construct graphs and response surfaces in extended tests with a 95% confidence interval. After establishing a full factorial design, in which the respective reaction times were timed, Pareto charts were compiled to assess the influence of individual parameters and their interactions. For the trained experiments, it was found that the specific factors and their interactions were important. The fit of the data to the models indicated that while the pure quadratic model was the most suitable for the experiment "A near-lava explosion," for the experiment "Vanishing violet," the most suitable was the interaction model. It is

¹Doutora em Ciências, professora do Departamento de Formação Geral do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Campus Nepomuceno. E-mail: priscila.sales@cefetmg.br ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9313-9575>

²Ensino Médio Completo e finalização do Curso Técnico Integrado em Mecatrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Campus Nepomuceno. E-mail: tuliomattar2014@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4613-9748>

worth highlighting the importance of this work for academia, since multivariate analysis was applied to the Chemical Kinetics experiments in this study. It is also hoped that this work will support, at the molecular level, experiments that can be carried out with easily accessible materials and that are applicable to other teaching topics.

Keywords: Chemical kinetics. Reagents. Temperature.

Evaluación multivariada aplicada a experimentos cinéticos de bajo costo

Resumen: Este estudio tuvo como objetivo realizar experimentos de análisis multivariante que demostraran la influencia de diferentes parámetros en el tiempo de reacción de los experimentos "Una lámpara de lava cercana" y "Violeta desvanecida". Se empleó quimiometría para diseñar los experimentos y construir gráficos y superficies de respuesta en pruebas extendidas con un intervalo de confianza del 95%. Tras establecer un diseño factorial completo, en el que se cronometraron los respectivos tiempos de reacción, se elaboraron diagramas de Pareto para evaluar la influencia de los parámetros individuales y sus interacciones. En los experimentos entrenados, se observó la importancia de los factores específicos y sus interacciones. El ajuste de los datos a los modelos indicó que, si bien el modelo cuadrático puro fue el más adecuado para el experimento "Una explosión de lava cercana", para el experimento "Violeta desvanecida", el modelo de interacción fue el más adecuado. Cabe destacar la importancia de este trabajo para el ámbito académico, ya que se aplicó el análisis multivariante a los experimentos de cinética química de este estudio. También se espera que este trabajo apoye, a nivel molecular, experimentos que puedan realizarse con materiales de fácil acceso y que sean aplicables a otros temas de enseñanza.

Palabras clave: Cinética química. Reactivos. Temperature.

1 Introdução

A cinética é um ramo da Química que investiga a rapidez das reações, considerando as diversas variáveis que a afetam e que incluem, dentre outras, temperatura, pressão, concentração de reagentes, propriedades do catalisador (quando presente) e grau de mistura (SILVEIRA, 2015).

Pelo fato deste tópico de ensino envolver uma elevada praticidade e aplicações no cotidiano, verifica-se que o seu estudo pode ser melhor evidenciado quando se utiliza a experimentação. Esta é concebida como uma técnica que envolve uma série de processos destinados a verificar as hipóteses e comprovar, ou não, aspectos teóricos (GUIMARÃES, 2009; GIFFONI *et al.* 2020; SILVA *et al.* 2021)

Nesse sentido tem-se observado o uso de experimentos de baixo custo, com materiais acessíveis e que torna o ensino mais atraente para os estudantes. Isso acontece porque os experimentos complementam os métodos tradicionais e adotam uma abordagem moderna e dinâmica, demonstrando exemplos cotidianos em que a temática está presente (OLIVEIRA *et al.* 2018).

Isso pode ser observado no processo de azedamento do leite, o qual consiste em uma reação química ocasionada por bactérias e cuja velocidade se mostra influenciada pela temperatura e pela acidez do leite. Outro exemplo é o processo de oxidação dos metais, o qual é acelerado pela exposição à umidade e ao oxigênio (OLIVEIRA *et al.* 2018).

Eventos como esses sugerem que as reações químicas podem ocorrer com velocidades

distintas, as quais variam conforme as condições em que são expostas. Dentre os fatores que influenciam na sua rapidez, destaca-se neste trabalho, o estudo do efeito da quantidade de reagente e da temperatura inicial do meio reacional (BROWN *et al.* 2016; LISBOA, *et al.* 2016; ATKINS e LORETA, 2018).

Em relação à concentração dos reagentes, quando esta é aumentada, pode-se deduzir que mais moléculas estão presentes em um mesmo espaço, levando a uma maior probabilidade de colisões efetivas. Isso resulta no aumento da velocidade das reações químicas, conforme descrito pela Lei de Ação das Massas (BROWN *et al.* 2016; LISBOA, *et al.*, 2016; ATKINS e LORETA, 2018).

Por outro lado, pode-se inferir que o aumento da temperatura incrementa a fração de partículas com energia maior ou igual à energia de ativação, fato que acarreta no aumento da velocidade da reação (BROWN *et al.* 2016; LISBOA, *et al.* 2016; ATKINS e LORETA, 2018).

Vale reportar, entretanto, que até a ascensão dos computadores, as variáveis eram avaliadas isoladamente. Porém, com o advento dos computadores e de programas avançados, tornou-se possível analisar múltiplas variáveis simultaneamente, substituindo a antiga abordagem. Portanto, verifica-se a crescente necessidade em se utilizar ferramentas estatísticas que ofereçam uma visão mais abrangente (NETO, 2004).

Nesse contexto, a "Análise Multivariada" se destaca, pois permite a interpretação simultânea de todas as variáveis, proporcionando uma compreensão mais completa e precisa dos dados obtidos (NETO, 2004).

Diante do que foi abordado, este trabalho buscou aplicar a análise multivariada com o intuito de planejar e avaliar os fatores e interações que afetam a velocidade das reações “Uma quase lâmpada de lava” e “Violeta que desaparece”, buscando aplicar, de maneira prática, conhecimentos construídos no segundo ano do Ensino Médio.

2 Metodologia

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho de ensino contou com uma série de etapas, as quais serão descritas a seguir:

2.1 Aquisição de materiais

A primeira etapa do delineamento experimental envolveu a aquisição de itens necessários à sua realização. Esses foram adquiridos em farmácias e supermercados locais.

2.2 Delineamento experimental

Avaliação da massa de comprimido efervescente e da temperatura inicial da água no experimento “uma quase lâmpada de lava”

Para o seu desenvolvimento, o experimento contou com a realização dos seguintes procedimentos: colocou-se 50 mL de água (em três temperaturas iniciais distintas- 28 °C, 33 °C e 38 °C) em um béquer com capacidade volumétrica de 250 mL. Em seguida, adicionou-se uma gota de corante alimentício. Inseriu-se 100 mL de óleo, e foi esperado um intervalo de tempo de modo que se verificasse a completa separação das fases contínuas. Foram então inseridas quantidades distintas de comprimidos efervescentes, observando-se o ocorrido (THENÓRIO, 2011; SALES *et al.* 2020).

Cronometrou-se o tempo necessário para o término da reação química, em que foram levadas em consideração a observação visual da dissolução completa do comprimido e a

liberação completa das bolhas de gás carbônico ($\text{CO}_{2(g)}$), um dos produtos formados durante a reação.

Para a avaliação de duas variáveis (massa do comprimido efervescente e temperatura inicial da água) e três pontos centrais, foi delineado um Planejamento Fatorial Completo, cujo número de ensaios é definido pela equação 1.

$$\text{No de ensaios} = 2n + n_c \quad (1)$$

Em que n corresponde ao número de fatores avaliados e n_c o número de pontos centrais. Para a avaliação de dois fatores e três pontos centrais, o delineamento contou com a realização de 7 experimentos, conforme pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1- Matriz contendo as condições para a realização do experimento “Uma quase lâmpada de lava” utilizando o Planejamento Fatorial Completo

Ensaio	Massa de comprimido efervescente (g)	Temperatura inicial da água (°C)
1	2	28
2	2	38
3	4	28
4	4	38
5	3	33
6	3	33
7	3	33

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Química do CEFET-MG-Campus Nepomuceno.

2.2.2 Avaliação da quantidade de KMnO_4 e da temperatura inicial do meio reacional no experimento “Violeta que desaparece”

A realização do experimento consistiu em inserir em béqueres transparentes com capacidade volumétrica de 250 mL, quantidades distintas de comprimidos (1, 2 e 3 unidades) de KMnO_4 em 40 mL de água em diferentes temperaturas (30°C, 40°C e 50°C). Misturou-se até a completa dissolução. Em seguida, foi adicionado 20 mL de vinagre. Por fim adicionou-se 20 mL de água oxigenada (10 volumes). Foi então cronometrado o tempo necessário para a ocorrência da reação química, a qual foi evidenciada pela transparência do meio reacional e término da emissão sonora proveniente da liberação do gás oxigênio ($\text{O}_{2(g)}$) produzido.

Para a avaliação de duas variáveis (quantidade de comprimido de $\text{KMnO}_{4(s)}$ e temperatura inicial da água) e três pontos centrais, foi delineado um Planejamento Fatorial Completo, cujo número de ensaios foi definido pela equação 1.

Para a avaliação de dois fatores e três pontos centrais, o delineamento contou com a realização de 7 experimentos, conforme pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2- Matriz contendo as condições para a realização do experimento “Violeta que desaparece” utilizando o Planejamento Fatorial Completo

Ensaio	Quantidade de comprimido de KMnO_4	Temperatura inicial da água (°C)
1	1	30
2	3	30
3	1	50
4	3	50
5	2	40
6	2	40
7	2	40

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Química do CEFET-MG-Campus Nepomuceno.

2.2.3 Emprego de ferramentas quimiométricas e matemáticas na análise dos resultados

Para o planejamento fatorial completo, construção do gráfico de Pareto, análise de superfície de resposta e ajuste dos dados aos modelos matemáticos, foi empregado o programa Chemoface versão 1.5, cujos testes foram conduzidos com 95% de confiança (NUNES *et al.* 2012).

3 Resultados e Discussões

3.1 Influência das variáveis no experimento “Uma quase lâmpada de lava”

Na Tabela 3 estão inseridos os resultados de tempo reacional obtidos a partir do experimento conduzido com distintas massas de comprimido efervescente e temperatura inicial da água.

Tabela 3 – Resultados do tempo reacional de experimento conduzido com diferentes condições

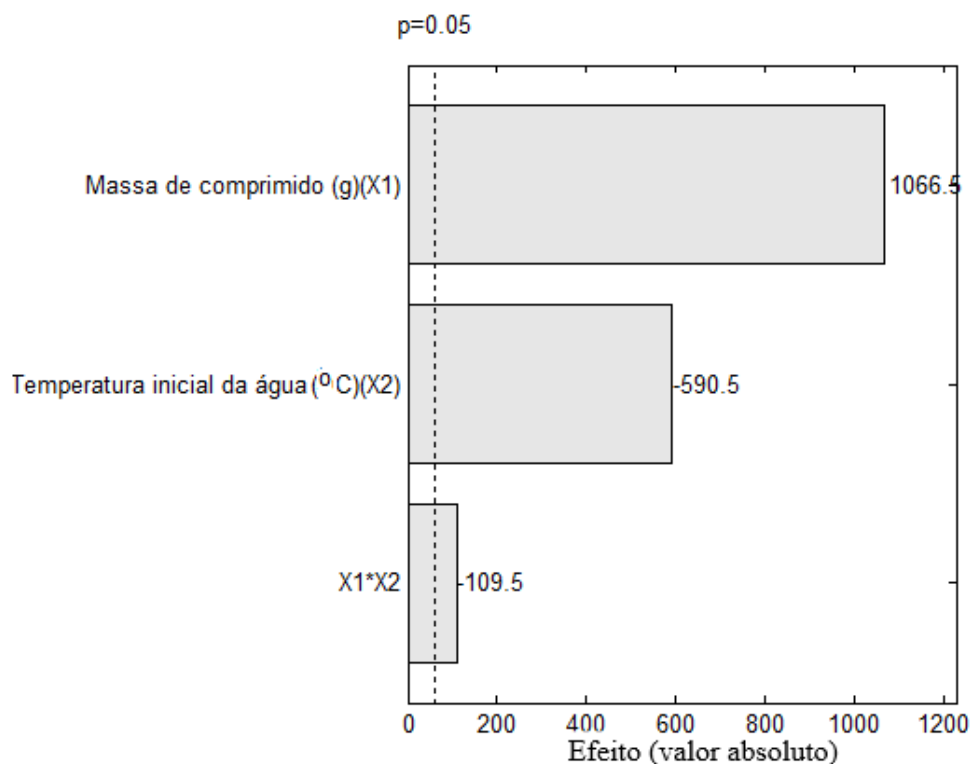
Ensaio	Massa de comprimido efervescente (g)	Temperatura inicial da água (°C)	Tempo reacional (s)
1	2	28	684
2	2	38	203
3	4	28	1860
4	4	38	1160
5	3	33	1708
6	3	33	1694
7	3	33	1722

Fonte: Elaborada pelos autores.

A análise da Tabela 3 indicou que os experimentos conduzidos com as mesmas condições (3g de comprimido efervescente e temperatura inicial da água correspondente a 33°C) foram próximos e, portanto, satisfatórios para se predizer e avaliar o gráfico de Pareto,

no qual se avalia o efeito das variáveis individuais (massa de comprimido e temperatura inicial da água) e de sua interação no tempo reacional. Os resultados são apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Gráfico de Pareto para a análise do tempo reacional no experimento
“Uma quase lâmpada de lava”



Fonte: Elaborada pelos autores.

A análise da Figura 1 revelou que as duas variáveis e a interação entre essas foram significativas para o teste conduzido com 95% de confiança.

Como nesse tipo de gráfico é representado diferentes variáveis analisadas, dentre as que foram estudadas, pode-se observar que a quantidade de comprimido foi a que exibiu maior influência, já que essas barras indicam a ordem decrescente de importância. Dessa forma, o gráfico de Pareto facilita a interpretação dos dados experimentais.

Também pode-se destacar um efeito positivo para a referida variável. Isso implica em dizer que o aumento da massa aumenta o tempo reacional, o que reduz a velocidade das reações. Como os reagentes estão no estado sólido, para uma reação ocorrer, esta deveria envolver a completa dissolução do comprimido, o que demanda um tempo superior (BROWN *et al.* 2016; LISBOA, *et al.* 2016; ATKINS e LORETA, 2018).

Sendo assim, durante a dissolução do comprimido, pode-se evidenciar a reação entre o bicarbonato de sódio, um sal de caráter básico, com os ácidos presentes no comprimido (ácido acetilsalicílico e ácido cítrico), que, por sua vez, são solúveis no solvente polar (água).

A reação é então evidenciada pela liberação do gás produzido (CO_2) e que possui a tendência em ir para o ambiente, emergindo até a superfície do recipiente por ser menos denso que as fases líquidas (SALES *et al.* 2020).

Vale ressaltar que o comprimido de antiácido efervescente só exibe resultado quando está em contato com a água, pelo fato dessa pastilha conter, em sua composição, solutos que são solúveis no referido solvente (SALES *et al.* 2020).

A análise mais detalhada dessa experiência revelou que, como na pastilha todos os componentes são sólidos e compactados, não é observada reação química entre eles, sendo possível mostrar que o meio aquoso é considerado adequado e facilitador da reação química (SALES *et al.* 2020).

Sendo assim, quanto maior a massa do comprimido efervescente, maior a quantidade de reagente que tem que entrar em contato com a água para poder reagir, o que aumenta o tempo reacional.

Por outro lado, a temperatura inicial, segundo fator mais influenciável, exibiu efeito negativo, o que permite inferir que o aumento da temperatura reduziu o tempo reacional, o que se encontra vinculado ao aumento da velocidade das reações químicas (BROWN *et al.* 2016; LISBOA, *et al.* 2016; ATKINS e LORETA, 2018).

O fato da temperatura ser o segundo fator influenciável encontra embasamento na teoria das colisões, pois embora a velocidade média das moléculas cresça com o aumento da temperatura e, em consequência, a frequência de colisões também cresça, de acordo com a equação que será mostrada (Eq. 2), a velocidade média relativa cresce somente com a raiz quadrada da temperatura.

$$v_{rel} = \left(\frac{8RT}{\pi M} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Sendo assim, a dependência é muito pequena para explicar o que foi observado, já que a variação entre os pontos mínimo e máximo para o delineamento experimental foi de 10 °C (10 K). Então para esse aumento de temperatura, de acordo com a teoria das colisões, a frequência de colisões aumentaria por um fato de 1,02 (BROWN *et al.* 2016; ATKINS e LORETA, 2018).

Quimicamente e microscopicamente, o aumento da temperatura favorece o aumento do número de partículas com energia mínima necessária para atingir o complexo ativado. Sendo assim, há uma nova distribuição de energia entre as espécies reagentes (BROWN *et al.* 2016; ATKINS e LORETA, 2018).

De uma outra forma, pode-se inferir que o aumento da temperatura incrementa a fração de partículas com energia maior ou igual à energia de ativação. Dessa forma, ocorre um aumento na velocidade da reação (BROWN *et al.* 2016; ATKINS e LORETA, 2018).

. Quando se altera a temperatura de um sistema reacional, está sendo alterado o valor da constante de velocidade (k), expressa na Lei da Ação das Massas. Quanto maior a temperatura, maior será o valor de k, e, consequentemente, maior será a velocidade da reação (BROWN *et al.* 2016; ATKINS e LORETA, 2018).

Sendo assim, se k aumenta com a temperatura, então a reação avança mais rapidamente para determinada quantidade de reagentes. Vale ressaltar que no final do século XIX, o químico sueco Svante Arrhenius investigou o efeito qualitativo da temperatura nas velocidades das reações e descobriu que o gráfico do logaritmo da constante contra o inverso da temperatura absoluta é uma linha reta (BROWN *et al.* 2016; ATKINS e LORETA, 2018).

3.2 Análise de regressão: Parâmetros avaliados no ajuste dos dados para o experimento “Uma quase lâmpada de lava”

Para a reação estudada, a variável dependente foi o tempo reacional e as variáveis independentes foram a massa de comprimido efervescente e a temperatura inicial da água.

Os dados obtidos nos experimentos foram analisados usando quatro tipos de modelos matemáticos: linear, quadrático, quadrático puro e de interação. Cada modelo tenta representar, por meio de equações, como o tempo da reação varia de acordo com as variáveis estudadas.

Dentre esses modelos, o que melhor explicou os resultados foi o modelo quadrático puro. Para verificar se esse modelo realmente era adequado, foi feita uma análise estatística. Nessa análise, considerou-se um nível de confiança de 95% (ou seja, uma alta probabilidade de que os resultados sejam confiáveis) e também o coeficiente de determinação (R^2), que indica o quanto o modelo consegue explicar os dados obtidos.

Os resultados dessa análise para o modelo quadrático puro estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Resultados estatísticos da análise de variância para o ajuste dos dados ao modelo quadrático puro

Parâmetro analisado		Desvio-padrão	Graus de liberdade	MS	F	p
Tempo reacional	Regressão	$2,3939 \times 10^6$	4	$5,8306 \times 10^5$	54,7548	0,0180
	Resíduo	21297	2	$1,0649 \times 10^4$		
	Total	$2,4152 \times 10^6$	6			
	R^2	0,9912				

Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao observar a Tabela 4, foi possível verificar, por meio da análise da variância, que o modelo quadrático puro apresentou uma regressão significativa, ou seja, ele descreve bem os dados obtidos no experimento.

A qualidade desse ajuste também foi confirmada pelos valores dos coeficientes (b), que se mostraram significativos, indicando que as variáveis analisadas realmente influenciam no tempo da reação estudada.

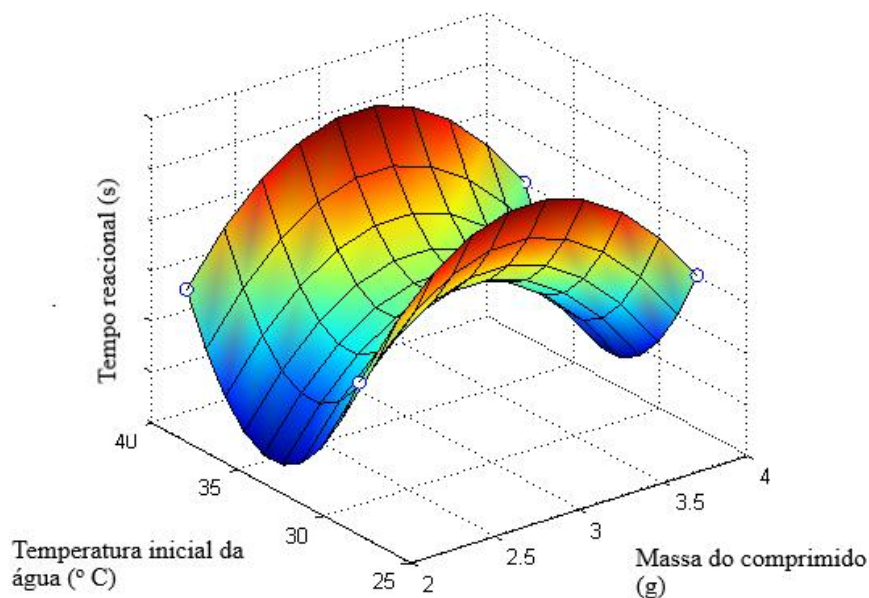
Além disso, o valor de R^2 foi muito próximo de 1 (0,9912), o que significa que o modelo consegue explicar quase totalmente os resultados observados.

Por fim, o valor de p menor que 5% indica que há uma alta confiabilidade nesses resultados, mostrando que o modelo pode ser usado com segurança para estimar o tempo da reação no experimento.

3.3 Superfície de resposta aplicada na análise do tempo reacional do experimento “Uma quase lâmpada de lava”

O gráfico da superfície de resposta para a análise do tempo reacional é apresentado na Figura 2.

Figura 2- Superfície de resposta obtida por meio da interação entre temperatura inicial da água e massa de comprimido efervescente na análise do tempo reacional para o experimento “Uma quase lâmpada de lava”



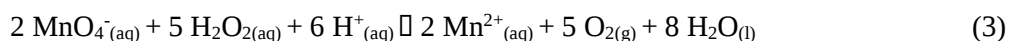
Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao observar a Figura 2, é possível perceber que o tempo da reação diminui quando a temperatura da água aumenta. Ou seja, quanto mais quente a água, mais rápida é a reação. Por outro lado, quando se utiliza uma maior quantidade de comprimido efervescente e a temperatura é mais baixa, a reação acontece mais lentamente, levando mais tempo para terminar. Esses resultados estão de acordo com o gráfico de Pareto, que também mostrou quais fatores têm maior influência no tempo da reação.

3.4 Influência das variáveis no experimento “Violeta que desaparece”

As cores que enxergamos dependem muito de como os átomos se arranjam nas moléculas. Nesta experiência, foi possível perceber que os mesmos átomos conseguem formar cores completamente diferentes dependendo da forma como se organizam. Uma mistura de água com permanganato de potássio, que é violeta, é misturada com vinagre e depois com água oxigenada. O resultado é completamente transparente (CUNHA *et al.* 2021).

O que ocorre é que o permanganato, violeta, reage com o vinagre e com a água oxigenada, formando o íon manganês, que é transparente (CUNHA *et al.* 2021). A equação 3 descreve a reação química envolvida no processo:



Na Tabela 5 estão inseridos os resultados dos tempos reacionais obtidos a partir do experimento conduzido com distintas quantidades de comprimido de permanganato de potássio e diferentes temperaturas iniciais da água em que este foi dissolvido. Para tanto, foi considerado como tempo reacional o que foi cronometrado e que estava intimamente relacionado ao desaparecimento da cor.

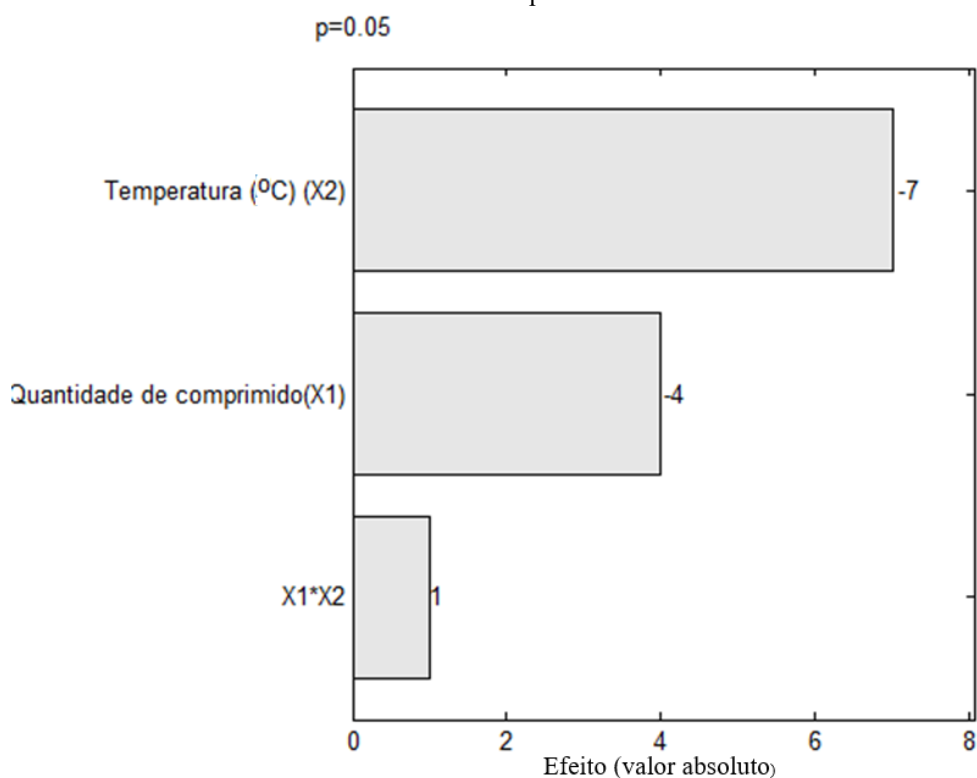
Tabela 5– Resultados do tempo reacional de experimento “Violeta que desaparece” conduzido com diferentes condições

Ensaio	Quantidade de comprimido de KMnO_4	Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$)	Tempo reacional (s)
1	1	30	17
2	3	30	12
3	1	50	9
4	3	50	6
5	2	40	11
6	2	40	11
7	2	40	11

Fonte: Elaborada pelos autores.

Por meio dos resultados obtidos e descritos na Tabela 5 foi construído o gráfico de Pareto (Figura 3) com a finalidade de avaliar o efeito das variáveis individuais e de sua interação no tempo de reação.

Figura 3 - Gráfico de Pareto para a análise do tempo reacional no experimento “Violeta que desaparece”



Fonte: Elaborada pelos autores.

A análise da Figura 3 mostrou que as variáveis individuais e a sua interação foram significativas para o teste conduzido com 95% de confiança. Uma vez que a temperatura reduziu o tempo reacional, é possível inferir que este a elevação desse parâmetro atuou no aumento da velocidade da referida reação.

De acordo com abordagens descritas na literatura, a temperatura é um fator de extrema relevância para um processo químico, pelo fato de a energia de ativação necessária para vencer a barreira termodinâmica entre reagentes e produto ser exponencialmente proporcional à

temperatura. Esta relação, conhecida como equação de Arrhenius, mostra a relação entre a velocidade da reação e a temperatura. Isso significa que, quanto maior a temperatura, maior será a velocidade da reação e, portanto, indo diretamente ao encontro dos resultados experimentais obtidos (CABRELON *et al.* 2007).

Evidencia-se ainda que o aumento da quantidade de comprimidos de KMnO_4 reduziu o tempo da reação, o que implica em dizer que houve um aumento da velocidade da reação química na medida em que foi aumentada a concentração de um dos reagentes. Isso acontece porque quanto maior a quantidade de soluto por volume da solução, maior o número de colisões entre as partículas. Ou seja, como a velocidade de reação depende do número de choques entre as moléculas, quanto maior for a concentração dos reagentes, maior será a velocidade da reação (PILLING, 2024).

3.5 Análise de regressão: Parâmetros avaliados no ajuste dos dados para o experimento “Violeta que desaparece”

Na reação estudada, o tempo que a reação leva para acontecer (tempo reacional) foi a variável dependente, ou seja, aquilo que se deve tentar entender. Já a quantidade de comprimido e a temperatura inicial da água foram as variáveis independentes, pois são os fatores que podem influenciar esse tempo.

Os dados obtidos foram analisados utilizando quatro tipos de modelos matemáticos: linear, quadrático, quadrático puro e de interação. Cada um desses modelos tenta representar, por meio de equações, como esses fatores afetam no tempo reacional.

Entre eles, o modelo de interação foi o que melhor explicou os resultados. Isso significa que a combinação entre a quantidade de comprimido e a temperatura influencia o tempo da reação de forma conjunta.

Para verificar se esse modelo era realmente adequado, foi feita uma análise estatística considerando um nível de confiança de 95% ($p < 0,05$), além do coeficiente de determinação (R^2), que indica o quanto o modelo consegue explicar os dados.

Tabela 6- Resultados estatísticos da análise de variância para o ajuste dos dados ao modelo de interação

Parâmetro analisado		Desvio-padrão	Graus de liberdade	MS	F	
Tempo reacional	Regressão	66,0000	3	22,0000	$1,2090 \times 10^{29}$	0
	Resíduo	$5,4589 \times 10^{-28}$	3	$1,8196 \times 10^{-28}$		
	Total	66				
	R^2	1,0000				

Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao analisar a Tabela 6, foi possível verificar, por meio da análise da variância, que o modelo de interação apresentou resultados significativos. Isso significa que ele consegue representar bem o que acontece no experimento.

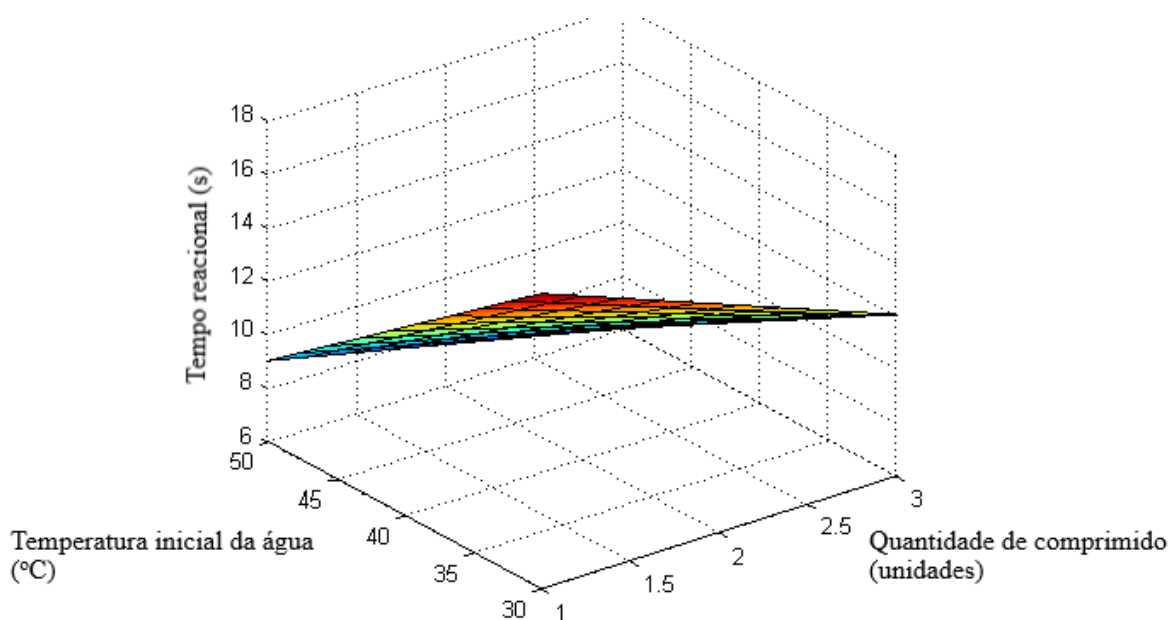
A qualidade desse ajuste também foi confirmada pelos coeficientes (b), que foram significativos, indicando que as variáveis realmente influenciam no tempo da reação.

Além disso, o valor de p menor que 5% mostra que os resultados são confiáveis. Assim, podemos dizer que esse modelo pode ser utilizado com segurança para estimar o tempo da reação no experimento.

3.6 Superfície de resposta aplicada na análise do tempo reacional do experimento “Violeta que desaparece”

O gráfico da superfície de resposta para a análise do tempo reacional é apresentado na Figura 4.

Figura 4- Superfície de resposta obtida por meio da interação entre temperatura inicial da água e massa do comprimido de KMnO_4 na análise do tempo reacional para o experimento “Violeta que desaparece”



Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao observar a Figura 4, é possível perceber que a reação acontece mais rapidamente (menor tempo) quando a temperatura da água é mais alta e quando se utiliza uma maior quantidade de comprimido de KMnO_4 .

Isso mostra que esses dois fatores ajudam a acelerar a reação. No entanto, a temperatura teve um efeito ainda maior, sendo o fator que mais influenciou a velocidade da reação. Esses resultados estão de acordo com o gráfico de Pareto, que também indicou que a temperatura é a variável mais importante nesse experimento.

4 Considerações finais

Quando se estuda a temática de cinética na disciplina de Química, verifica-se que a experimentação pode ser concebida como uma grande aliada ao processo de ensino e aprendizagem, uma vez que possibilita a integração do estudante com o mundo externo, proporcionando maior facilidade na interpretação e entendimento.

A proposta dessas atividades experimentais foi a de mostrar caminhos que podem ser utilizados pelos professores de Química no planejamento de atividades experimentais com roteiros de análises multivariadas, em que se avalia o efeito da interação entre as variáveis, condizente com muitas situações cotidianas.

O intuito consistiu ainda em mostrar que experimentos de baixo custo com materiais acessíveis podem melhorar a aprendizagem e fazer com que os estudantes testem a teoria que já haviam estudado ou até mesmo descobrir novas ideias, conforme foi verificado neste trabalho inédito.

Pensar em propostas diferentes se faz necessário para se trabalhar os conteúdos de Química com o acesso às aulas experimentais tanto em laboratórios estruturados, como não estruturados.

Além disso, por meio da realização desses experimentos ficou evidente que a análise providenciada pela matemática estatística é uma grande aliada na interpretação dos resultados experimentais e com explicações teóricas.

Para trabalhos futuros almeja-se avaliar, por meio do emprego da análise multivariada, outros experimentos de química relacionados a distintos tópicos de ensino.

Referências

ATKINS, Peter; LORETA, Jones. Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

BROWN, Theodore Lawrence.; LeMAY, Harold Eugene; BURSTEN, Bruce Edward; MURPHY, Catherine Jones; WOODWARD, Patrick Michael; STOLTZFUS, Matthew Wayne. Química: A ciência central. 13 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

CABRELON, Marcelo Dezena *et al.* Influência da temperatura e do método de mistura na formação do ZrSiO₄ via reação em estado sólido. *Cerâmica*, v. 53, p. 83-88, 2007.

CRUZ, Napoleana, SOUZA Kênia Gusmão & SOUSA Farley Jean. Análise e desenvolvimento de kits experimentais de baixo custo e fácil acesso para o ensino de química. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, XVII, 2014, Ouro Preto. Anais [...]. Ouro Preto: ENEQ, 2014. Disponível em: <http://www.eneq2014.ufop.br/sgea/pg/index>. Acesso em: 20 junho 2024.

CUNHA, Tobias Fernandes; PRADO, Nubia Figueira; DOS SANTOS, Breno Henrique Barbosa dos; DE REZENDE, Izabela Rabelo Barbosa; MARCELINO, Maria Eduarda Silva; SILVA, Milena Guimaraes. Violeta que desaparece. *STEM BRASIL* (2021). Disponível em: <https://stembrasil.org/feira/VisitacaoVirtual/Visualizar/581b995f51ec09668459b48970eaf808>. Acesso em: 24 junho 2024.

GIFFONI, Joel de Sousa, BARROSO, Maria Cleide da Silva.; SAMPAIO, Caroline de Gois. Aprendizagem significativa no ensino de Química: uma abordagem ciência, tecnologia e sociedade. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 6, p. 1-14, Itajubá, 2020.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro. Experimentação no ensino de química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. Química nova na escola, v. 31, n. 3, p. 198-202, 2009.

LISBOA, Julio Cezar Foschini et al. Ser protagonista, 1º ano: ensino médio. 3. ed. São Paulo: Edições SM., 2016.

NETO, José Machado Moita. Estatística multivariada. Revista de Filosofia e Ensino. Disponível em:

http://www.criticanarede.com/cien_estadistica.html. Acesso em: 20 junho 2004.

NUNES, Cleiton Antônio; FREITAS, Matheus Puggina de; PINHEIRO, Ana Carla; BASTOS, Sabrina. Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics. Journal of the Brazilian Chemical Society, v.23, n. 11, p. 2003- 2010, nov. 2012.

OLIVEIRA, Lucas Rodrigues de; VASCONCELOS, Bruno de Souza; SALES, Flávia Rhuana Pereira; ARAÚJO, Vicente Maxim da Silva; FIGUEIRÊDO, Alessandra Marcone Tavares Alves. Uso de materiais alternativos no estudo de cinética química use of alternative materials in the chemical kinetics study. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DAS LICENCIATURAS, V, 2018, Recife. Anais [...]. Recife:

COINTER PDVL, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alessandra-Figueiredo/publication/331070075_USO_DE_MATERIAIS_ALTERNATIVOS_NO_ESTUDO_DE_CINETICA_QUIMICA/links/5ecfbbb8299bf1c67d263097/USO-DE-MATERIAIS-ALTERNATIVOS-NO-ESTUDO-DE-CINETICA-QUIMICA.pdf. Acesso

em: 27 junho 2024.

PILLING, Sergio. Prática 3 – Cinética Química. Estudo fenomenológico e quantitativo dos fatores que influenciam na velocidade de reações. Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, p. 1-11. Disponível em:

https://www1.univap.br/spilling/FQE1/FQE1_EXP3_Cinetica.pdf. Acesso em 29 abril 2024.

SALES, Priscila Ferreira de; GOMES, Pedro Augusto Pereira; TEIXEIRA, Láine de Cássia; MENDES, Dânica Monique Alves; MOURA, Geovana Vieira de. Abordagem química da experiência “quase uma lâmpada de lava”: a consolidação do processo de ensino-aprendizagem em uma feira de ciências. For Science, v. 8, n. 2, e00817, Formiga, jul./dez. 2020.

SILVA, Luana Kayena Alves da; SILVA, Maicon Douglas Gomes da; SALES, Priscila Ferreira de; GÓIS, Phelipe; FERREIRA, Wilton José. Estratégias complementares ao ensino de Química. Research, Society and Development, v.10, n.1, p. 1-12, Itajubá, jan. 2021.

SILVEIRA, Benedito Inácio da. Cinética Química das reações homogêneas. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2015.

THENÓRIO, Iberê. A quase lâmpada de lava. In: Manual do Mundo, 2011. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=TU4aS5KgVxU>. Acesso em: 01 ago. 2024.

Contribuições da autoria

Priscila Ferreira de Sales Amaral: Supervisão/Orientação, Conceitualização, Investigação, Redação.

Túlio Carvalho Mattar: Conceitualização, Investigação, Redação.

Data de submissão: 07/08/2025.

Data de aceite: 11/05/2026.