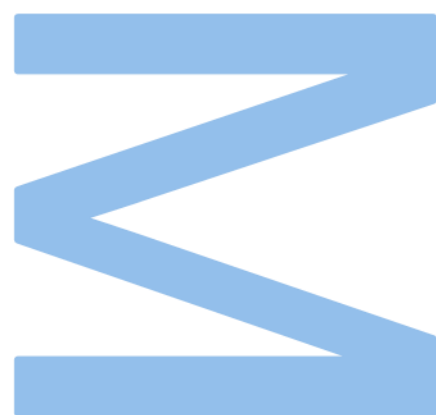


Ensino do Equilíbrio Químico enquadrado no âmbito do triplete de Johnstone no 11.º ano de escolaridade



Maria Dulce de Bessa Meireles Loureiro,
Mestrado em Ensino de Física e de Química no 3.º Ciclo do
Ensino Básico e no Ensino Secundário
Unidade de Ensino das Ciências | Departamento de Química
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
2024



Ensino do Equilíbrio Químico enquadrado no âmbito do triângulo de Johnstone no 11.º ano de escolaridade

Maria Dulce de Bessa Meireles Loureiro

Relatório de Estágio realizado no âmbito do Mestrado em Ensino de Física e de Química no 3.º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário
Unidade de Ensino das Ciências | Departamento de Química
2024

Orientador

Carla Susana Lopes Morais, Professora Auxiliar com Agregação,
Unidade de Ensino das Ciências, FCUP

A todas as pessoas importantes da minha vida...

Agradecimentos

Durante este longo período de trabalho e dedicação agradeço, aos Professores da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e Escola Secundária de Valongo, em especial, às Professoras Graça Assis e Carla Morais por todo o apoio, compreensão, empatia e ensinamentos. Muito obrigada por nunca terem desistido de mim e de me terem ajudado a alcançar o meu objetivo.

Reconheço muito o esforço do meu marido durante estes dois anos sendo meu companheiro e confidente, encorajando-me nos momentos em que me senti mais frágil, estando sempre presente.

Aos meus pais pela disponibilidade de me auxiliarem no dia a dia e pelo amor incondicional.

Agradeço ainda aos meus amigos que me apoiaram, diariamente, seja no trabalho ou mesmo à distância, por toda a força que me transmitiram.

A todos, pelo carinho e palavras encorajadoras tornando esta jornada menos difícil e mais possível de alcançar.

Ao meu filho pelo facto de ser a razão da minha vida e que, por ele, me vi fortalecida para concluir o mestrado.

Resumo

O tema Equilíbrio Químico, apresenta alguma complexidade para os alunos. Conciliar a teoria e a prática ajuda a superar dificuldades, bem como a explicar os fenómenos submicroscópicos tendo por base o macroscópico. O facto de os alunos não conseguirem articular com facilidade os três níveis de conhecimento de Johnstone (1991) (macroscópico, submicroscópico ou representacional), resulta em lacunas na compreensão de conceitos.

O estudo foi realizado na Escola Secundária de Valongo, durante o ano letivo de 2023/2024, numa turma do 11.º ano do Ensino Secundário, de Ciências e Tecnologias, tendo nele participado no estudo 18 alunos. Como instrumentos de recolha de dados utilizou-se um questionário com oito questões, sendo que seis questões são sobre equilíbrio químico, evocando os diferentes níveis de conhecimento, macroscópico, submicroscópico ou representacional. Adicionalmente, na utilização do *ChatGPT* para capturar as respostas dos alunos em relação ao equilíbrio químico, foi adotada uma abordagem interpretativa, assentando na compreensão dos significados e das experiências dos participantes.

Os principais resultados indicam que a maioria dos alunos apresenta dificuldades em correlacionar os três níveis de conhecimento de Johnstone, evidenciando um *déficit* na transição do conhecimento teórico para a prática, com maior destaque para os níveis representacional e submicroscópico. A utilização do *ChatGPT* mostrou-se útil na elaboração de respostas mais detalhadas e compreensíveis para os alunos. Conclui-se que é essencial integrar múltiplas metodologias de ensino que combinem teoria e prática, utilizar ferramentas tecnológicas e estratégias interativas, e explorar o potencial do *ChatGPT*, como ferramenta educacional. Além disso, foi identificado que a predominância de questões de escolha múltipla limitou a expressão completa dos conhecimentos dos alunos, sugerindo a necessidade de incluir mais questões abertas e uma abordagem holística, em futuros estudos.

Palavras-chave: Ensino da Química, Equilíbrio Químico, Triplete de Johnstone, ChatGPT

Abstract

The topic of Chemical Equilibrium presents some complexity for students. Bridging theory and practice helps not only overcome difficulties, but also explain submicroscopic phenomena based on macroscopic observations. The fact that students struggle to easily articulate Johnstone's three levels of knowledge (macroscopic, submicroscopic, or representational) (1991) demonstrates gaps in the understanding of concepts.

The study was conducted at the Valongo Secondary School during the 2023/2024 school year, with an 11th-grade class from the Sciences and Technologies track, involving 18 students. The methodology applied was qualitative in an educational context. Data collection instruments included a structured questionnaire with eight questions, six of which pertained to chemical equilibrium and invoked the different levels of knowledge: macroscopic, submicroscopic, or representational. Additionally, ChatGPT was used to capture students' responses regarding chemical equilibrium. An interpretative approach was adopted, focusing on understanding the meanings and experiences of the participants.

The main results indicate that most students have difficulties correlating Johnstone's three levels of knowledge, showing a deficit in the transition from theoretical knowledge to practice, with greater emphasis on the representational and submicroscopic levels. The use of ChatGPT proved helpful in formulating more detailed and comprehensible responses for the students. It is concluded that it is essential to integrate multiple teaching methodologies that combine theory and practice, use technological tools and interactive strategies, and explore the potential of ChatGPT as an educational tool. Moreover, it was identified that the predominance of multiple-choice questions limited the full expression of students' knowledge, suggesting the need to include more open-ended questions and a holistic approach in future studies.

Keywords: Chemistry Teaching, Chemical Equilibrium, Johnstone's Triplet, ChatGPT

Índice

Lista de Tabelas	6
Lista de Gráficos.....	6
Lista de Figuras	6
Lista de Abreviaturas	7
Introdução.....	8
1. Dossier de Estágio.....	10
2. Enquadramento Teórico	10
2.1. Enquadramento científico do tema Equilíbrio Químico.....	10
2.2. Enquadramento de investigação educacional do tema Equilíbrio Químico ...	15
3. Enquadramento Didático-Curricular	18
4. Ensaio Investigativo em Educação em Química	19
4.1. Caracterização do estudo e metodologia usada	19
4.2. Descrição dos participantes.....	19
4.3. Descrição das estratégias de intervenção adotadas na investigação e do material desenvolvido	20
4.4. Técnicas e instrumentos de recolha de dados.....	21
4.5. Considerações sobre a recolha e o tratamento dos dados	22
5. Apresentação e discussão dos resultados	23
5.1. Análise relativa ao questionário “Questões Equilíbrio Químico”	23
5.1. Análise relativa às questões submetidas ao <i>ChatGPT</i>	27
6. Conclusões e implicações da investigação	29
6.1. Conclusões e considerações finais.....	29
6.2. Relevância da investigação e suas implicações para a Educação em Química e em Ciências	30
7. Reflexão autocrítica e projetos futuros	31
Referências Bibliográficas	31
Anexos	34

Anexo 1 – Questões Equilíbrio Químico.....	35
Anexo 2 – Questões submetidas ao <i>Chat GPT</i>	41
Anexo 3 – Gráficos representativos das respostas ao questionário “Questões Equilíbrio Químico”	43
Anexo 4 –Questão alterada e submetida ao <i>ChatGPT</i>	47

Lista de Tabelas

Tabela 1- Respostas corretas, erradas e inconclusivas, bem como não respondidas, dos alunos da turma do 11.º CT1.	25
Tabela 2- Análise das questões submetidas ao <i>ChatGPT</i> (Q3, Q5 e Q6)	28

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Apresentação das respostas os alunos para a questão Q3 no questionário “Questões Equilíbrio Químico”	43
Gráfico 2- Apresentação das respostas os alunos para a questão Q4 no questionário “Questões Equilíbrio Químico”	43
Gráfico 3- Apresentação das respostas os alunos para a questão Q6 no questionário “Questões Equilíbrio Químico”	45
Gráfico 4- Apresentação das respostas os alunos para a questão Q7 no questionário “Questões Equilíbrio Químico”	45
Gráfico 5- Apresentação das respostas os alunos para a questão Q8 no questionário “Questões Equilíbrio Químico”	46

Lista de Figuras

Figura 1- Três níveis representacionais da Química (Johnstone, 1991).....	16
Figura 2- Evolução da cor ao longo do tempo e representação simbólica molecular do sistema reacional constituído por: $H_2(g)$, $I_2(g)$ e $HI(g)$, em diferentes instantes. <i>Fonte: Manual “Química em reação 11”</i>	20
Figura 3- Estrutura de categorização do questionário realizado pelos alunos.....	23

Lista de Abreviaturas

AE	Aprendizagens Essenciais
DGE	Direção Geral da Educação
DGES	Direção Geral do Ensino Superior
ESV	Escola Secundária de Valongo
FCT	Fundação para a Ciência e a Tecnologia
IPP	Iniciação à Prática Profissional
FCUP	Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
UP	Universidade do Porto
PASEO	Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória
PES	Prática de Ensino Supervisionada

Introdução

Este trabalho foi elaborado no âmbito da unidade curricular de Iniciação à Prática Profissional (IPP), lecionada no decorrer do 2.º ano do Mestrado em Ensino da Física e da Química do 3.º Ciclo do Ensino Básico e Ensino Secundário (M: EFQ), na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP).

No ensino básico, a disciplina de Físico-Química desempenha um papel crucial não apenas no desenvolvimento da literacia científica dos estudantes e na instigação da sua curiosidade em relação ao mundo ao nosso redor, mas também na procura pela compreensão das principais ideias e estruturas explicativas que permeiam a Física e a Química (Direção Geral da Educação, 2018). Entretanto, é importante salientar que esta disciplina exige um nível de abstração que nem sempre é facilmente alcançado pelos alunos.

Atualmente, para suprir as dificuldades sentidas pelos alunos, torna-se fundamental perceber, de que forma, estes conseguem adquirir com mais facilidade os conhecimentos na área das ciências e, em particular, na química.

O presente relatório de estágio visa apresentar e descrever um estudo desenvolvido que decorreu ao longo do ano letivo 2023/2024 na Escola Secundária de Valongo, numa turma do 11.º ano do Ensino Secundário.

Esta investigação teve por base a temática do Equilíbrio Químico, tendo como objetivo estudar a forma como os alunos integram as dimensões macro, submicro e representacional, na estruturação do seu conhecimento sobre equilíbrio químico.

Depois da introdução, este relatório está organizado em diferentes seções, conforme detalhado a seguir. O capítulo um oferece uma síntese do Dossier de Estágio, desenvolvido no contexto da Prática de Ensino Supervisionada (PES), abrangendo os planos de aula, recursos utilizados e uma descrição das atividades realizadas durante a PES. Nos capítulos dois e três, são abordados, respetivamente, o enquadramento teórico e o enquadramento didático-curricular do trabalho de pesquisa. O capítulo quatro detalha o ensaio investigativo em educação em química, referindo a metodologia utilizada, público-alvo, estratégias adotadas, bem como, material, instrumentos de recolha de dados e tratamento dos mesmos. No capítulo cinco são apresentados os resultados e discussão. O capítulo seis aborda as conclusões e considerações finais, enquanto o capítulo sete engloba uma reflexão autocrítica e sugestões para projetos futuros.

Imediatamente após este capítulo, acresce uma lista de referências bibliográficas e anexos.

1. Dossier de Estágio

O presente capítulo tem como objetivo apresentar o dossier de estágio elaborado no âmbito da unidade curricular de Iniciação à Prática Profissional (IPP). Este documento reúne todos recursos educativos elaborados e aplicados nas turmas 9.º C e 11.º CT1 da Escola Secundária de Valongo, durante o corrente ano letivo. O núcleo de estágio teve a supervisão da Professora Cooperante Maria Graça Assis e, como professores orientadores da FCUP, a Professora Doutora Carla Morais e o Professor Doutor Marcelo Dumas Hahn. Este documento pode ser acedido através do seguinte link:

https://sigarra.up.pt/fcup/pt/conteudos_service.conteudos_cont?pct_id=674537&pv_co_d=37cyaYo2Nga

Neste documento encontram-se todos os planos de aula elaborados para as aulas de regências ministradas, tanto da componente de química como da componente de física, assim como os recursos utilizados, fichas de trabalho e de avaliação, atividades desenvolvidas em contexto escolar e ainda outros documentos relevantes no âmbito do trabalho da Prática de Ensino Supervisionada (PES). Encontra-se, também, a descrição dos projetos extracurriculares dinamizados, participação em visitas de estudos e, por último, uma reflexão autocrítica.

2. Enquadramento Teórico

2.1. Enquadramento científico do tema Equilíbrio Químico

O equilíbrio químico é um conceito fundamental na química, descrevendo o estado em que a taxa de reação direta é igual à taxa de reação inversa num sistema químico. Essa dinâmica resulta na manutenção das concentrações de reagentes e produtos relativamente constantes ao longo do tempo. Isto acontece porque as velocidades das reações direta e inversa são iguais. Quando estas reações são simultâneas, trata-se de uma reação reversível.

A compreensão do equilíbrio químico é essencial para prever e controlar reações químicas em diversas aplicações, desempenhando um papel fundamental na dinâmica molecular e na termodinâmica.

Em química, o estado de equilíbrio químico é atingido quando deixam de ocorrer variações das propriedades físicas e químicas de um sistema, macroscopicamente (por exemplo, alteração da cor, de concentrações, de pressão e de temperatura).

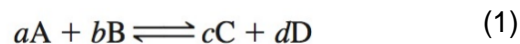
O equilíbrio químico é, por isso, um equilíbrio dinâmico, cuja condição principal para que o equilíbrio ocorra é que se trate de uma reação reversível, podendo acontecer em sistema homogéneo ou heterogéneo, aberto ou fechado (Silva & Costa, 2022).

É importante não esquecer que, no equilíbrio, a(s) conversão(ões) de reagente(s) em produto(s), ou vice-versa, continuam a ocorrer. Deixamos de ver alterações a nível macroscópico pois as velocidades das reações direta e inversa, são iguais- a remoção da(s) molécula(s) de reagente(s) ocorre tão rapidamente quanto a produção da(s) molécula(s) de produto(s) e o recíproco, igualmente (Chang & Goldsby, 2013). No entanto, apesar de deixar de se testemunhar alterações a nível macroscópico, as reações submicroscópicas continuam a decorrer, com velocidades iguais.

Uma vez em equilíbrio, deixa de existir alteração nas concentrações, uma vez que a velocidade da reação direta é igual à velocidade da reação inversa.

A relação matemática das concentrações (molares) entre reagentes e produtos da reação é definida por K , denominada constante de equilíbrio, sendo adimensional. É de extrema relevância que os estudantes entendam que a relação entre as concentrações dos produtos de reação e dos reagentes, embora se mantendo constantes, o facto de partirmos de concentrações diferentes, a constante de equilíbrio K manter-se-á.

Partindo de uma equação genérica, em equilíbrio:



Onde a , b , c e d são coeficientes estequiométricos das espécies A , B , C e D . A constante de equilíbrio da reação K , a determinada temperatura, é:

$$K_c = \frac{[C]_e^c [D]_e^d}{[A]_e^a [B]_e^b} \quad (2)$$

A expressão (2) é resultado da *Lei de Ação das Massas* formulada por Cato Guldberg e Peter Waage, no ano de 1864 (Ferreira Fernandes, 2015). Esta lei contempla que:

$$v_1 = K_1 \cdot [A]^a \cdot [B]^b \quad (3)$$

$$v_2 = K_2 \cdot [C]^c \cdot [D]^d \quad (4)$$

Sendo v_1 a velocidade da reação no sentido direto e v_2 a velocidade da reação inversa, no equilíbrio, $v_1 = v_2$, donde vem:

$$K_1 / K_2 = ([C]^c \cdot [D]^d) / ([A]^a \cdot [B]^b) \quad (5)$$

Assim, K_1 / K_2 é constante e denomina-se constante de equilíbrio em termos de concentração molar (K_c) ou, simplesmente K .

Pela análise do valor desta constante é possível afirmar se a reação de equilíbrio favorece a formação de produtos ou de reagentes.

Se K for muito maior do que 1, o equilíbrio deslocar-se-á para a direita, favorecendo a formação de produtos. Inversamente, se a constante de equilíbrio for muito menor do que 1, o equilíbrio deslocar-se-á para a esquerda, ou seja, favorecendo a formação de reagentes. Neste contexto, qualquer número maior que 10 e qualquer número menor que 0,1, são considerados muito maior e muito menor que 1, respetivamente (Chang & Goldsby, 2013).

A perceção moderna do equilíbrio químico é baseada no Princípio de Le Châtelier, que prevê as respostas das reações a mudanças nas condições externas quando um sistema em equilíbrio sujeito a uma perturbação, tende a adaptar-se de modo a reduzir o efeito perturbador.

No progresso de uma reação química pode determinar-se um quociente semelhante à constante de equilíbrio Q_c .

O Q_c varia de acordo com as quantidades relativas presentes de reagentes e de produtos (Chang & Goldsby, 2013).

$$Q_c = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b} \quad (6)$$

Para cada temperatura, a comparação de Q_c , com a constante de equilíbrio K_c permite concluir se, num dado instante, o sistema reacional se encontra num estado de equilíbrio, ou não.

Ora, se Q_c é superior a K_c , o sistema não se encontra em equilíbrio.

A razão entre as concentrações iniciais dos produtos e dos reagentes é muito grande. Para atingir o equilíbrio, os produtos têm de ser convertidos em reagentes. O sistema evolui da direita para a esquerda (consumindo produtos, formando reagentes) até atingir o equilíbrio e Q_c , diminuindo até igualar K_c pois o sistema tende para um novo estado de equilíbrio. Desta forma, é favorecida a reação inversa.

Da mesma forma, se Q_c é inferior a K_c , o sistema não se encontra em equilíbrio, sendo que a razão entre as concentrações iniciais dos produtos e dos reagentes é muito pequena, pelo que acontece o oposto ao referido no parágrafo anterior, favorecendo a reação direta.

Assim, se Q_c for igual K_c podemos afirmar que a reação química se encontra em equilíbrio, as concentrações iniciais são as concentrações de equilíbrio.

Conforme Chang (2013), “*As variáveis que podem ser controladas experimentalmente são concentração, pressão, volume e temperatura*”. Todas podem alterar a posição de equilíbrio, ou seja, a quantidade relativa de produtos e reagentes, mas não o valor da constante de equilíbrio”. Sendo assim, somente uma variação na temperatura pode alterar a constante de equilíbrio.

Fatores podem afetar a posição de um equilíbrio, sendo eles a concentração, volume ou pressão em sistemas gasosos e temperatura.

a) Efeito da concentração

Para valores de temperatura, volumes/pressões constantes se, por exemplo, for aumentada a quantidade de substância de algum dos reagentes, a reação química deixa de estar em equilíbrio químico e, pelo Princípio de Le Châtelier, o sistema vai evoluir no sentido de restabelecer novamente um novo equilíbrio.

Pode-se então concluir que por adição de reagente(s) ou remoção de produto(s), é favorecida a reação química no sentido direto, até atingir novo estado de equilíbrio e, do mesmo modo, uma vez removendo reagente(s) ou adicionando produto(s), a reação favorecida ocorre no sentido inverso.

Note-se que, uma vez mantida a temperatura, a constante de equilíbrio químico não será alterada.

b) Efeito da pressão/volume

Em geral, as variações na pressão não afetam as concentrações das espécies reacionais que se encontram nas fases condensadas (por exemplo, numa solução aquosa) porque os líquidos e os sólidos são praticamente incompressíveis (Chang & Goldsby, 2013).

Para um sistema químico em equilíbrio com componentes gasosos em quantidades estequiométricas diferentes nos reagentes e produtos da reação, alterações na pressão/volume, originam situações de não equilíbrio (Paiva et al., 2022).

Ora, para uma determinada temperatura, um aumento de pressão conduz a uma diminuição de volume. Passarei então, de seguida, a abordar apenas a variação da pressão num sistema químico que se encontrava em equilíbrio, uma vez que a pressão e volume variam de uma forma inversa, tal como se verifica na expressão (7).

A forma geral de uma equação de estado é definida por $p = f(T, V, n)$ (Atkins & Julio de Paula, 2017), sendo que a equação de um “gás perfeito”, tem a forma

$$p V = n R T \quad (7)$$

Um aumento na pressão pode deslocar o equilíbrio para o lado com o menor número de moles gasosos para diminuir o volume total do sistema, e vice-versa.

c) Efeito da temperatura

Para avaliar o efeito da temperatura numa reação que se encontra em equilíbrio, há que, primeiramente, conhecer se a reação, num sistema isolado, é exotérmica ou endotérmica. A grandeza física que nos permite concluir acerca destes processos é a variação da entalpia (ΔH), que indica a quantidade de energia absorvida ou libertada numa reação química.

Pode-se medir a variação de entalpia acompanhando-se a variação de temperatura das transformações que ocorram a pressão constante, através de, por exemplo, do uso de um calorímetro diferencial de varredura (Atkins & Julio de Paula, 2017). Se a medição for efetuada numa bomba calorimétrica, é possível medir a variação da energia interna (ΔU) e converter em variação de entalpia (ΔH), que são aproximadamente iguais.

Assim, as fórmulas usadas para calcular a variação da entalpia são:

$$\Delta H = H_{\text{FINAL}} - H_{\text{INICIAL}} \quad (8) \quad \text{ou} \quad \Delta H = H_{\text{PRODUTOS}} - H_{\text{REAGENTES}} \quad (9)$$

Assim, considerando o sentido direto da reação, pode-se afirmar que:

- $\Delta H < 0 \rightarrow$ Processo exotérmico;

- $\Delta H > 0 \rightarrow$ Processo endotérmico.

Então, um aumento na temperatura “adiciona” calor ao sistema e uma diminuição “remove” calor do sistema. Tal como uma variação em qualquer outro parâmetro, o equilíbrio desloca-se de modo a reduzir o efeito da variação, considerando o Princípio de Le Châtelier. Segundo Chang e Goldsby, “...um aumento de temperatura favorece reações endotérmicas e uma diminuição de temperatura favorece reações exotérmicas.” (2013, p.651).

2.2. Enquadramento de investigação educacional do tema Equilíbrio Químico

Um dos grandes desafios educacionais atuais está relacionado com a dificuldade dos alunos em compreender conceitos abstratos, especialmente quando há pouca contextualização prática e um excesso de informações técnicas. O equilíbrio químico, sendo a base de muitos processos químicos, biológicos e industriais, é de extrema importância (Brown et al., 2014). No entanto, dificuldades surgem na realização de cálculos matemáticos, na identificação dos reagentes e produtos que governam o equilíbrio, e nas mudanças no sistema devido a fatores como temperatura, adição ou remoção de reagentes, pressão e alterações nas constantes de equilíbrio, entre outros.

É necessário que os alunos saibam caracterizar de forma macroscópica um sistema em equilíbrio, para que possam compreender determinadas transformações químicas. No entanto, os alunos precisam entender a necessidade da interação entre as substâncias para a ocorrência de uma reação (Horta et al., n.d.).

É fundamental relacionarem e transitarem entres os níveis macroscópico e submicroscópico, sem dificuldade. Para isso terão de entender que o facto de não observarem alterações, não significa, de todo, que a reação termina.

Neste trabalho pretende-se verificar se os alunos mobilizam explicações de nível macro, submicro ou representacional para explicar processos relacionados com o equilíbrio químico.

Johnstone (1991), ao propor esta interligação destes três níveis de conhecimento químico, problematizou questões relacionadas ao ensino de Química: “o facto de muitos alunos afirmarem que a ciência é difícil de ser aprendida, talvez surgirá que ela não esteja sendo transmitida com sucesso”. O autor argumenta que processos de ensino que acontecem quase que exclusivamente na esfera macroscópica limitam as possibilidades dos alunos interpretarem os fenómenos no campo teórico-conceitual.

Assim, Johnstone (1991) indica a articulação daqueles três níveis de conhecimento como possibilidade para que o aluno comece a pensar abstratamente sobre o que observa (*Figura 1*).

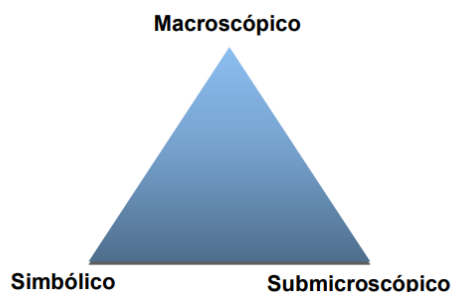


Figura 1- Três níveis representacionais da Química (Johnstone, 1991)

Czysz e colaboradores (2020), consideram que o nível macroscópico do triângulo de Johnstone abrange elementos que são observáveis com os sentidos humanos, tais como a cor, a opacidade, as mudanças de estado físico ou mesmo variações experimentais do pH ou temperatura. O seu nível submicroscópico inclui o que os átomos ou moléculas constroem num sistema em específico. Já a nível simbólico ou representacional referenciam as convenções usadas para descrever fenómenos químicos, incluindo esquema de reação. É fulcral realizar conexões entre episódios moleculares e observações macroscópicas. Explicações de qualquer natureza requerem representações simbólicas que sejam igualmente compreendidas (Czysz et al., 2020).

Johnstone defende a teoria de que para lecionar determinado conteúdo deve-se começar por questionar os alunos do *porquê* de determinada situação do nosso quotidiano decorrer, como por exemplo, uma alteração da cor de gases em reações reversíveis, tratando-se de um fenómeno observável (macro e tangível). Sugere ainda que, seguidamente, o professor realize uma demonstração. Professor e alunos devem discutir o que observaram e, o professor vai explicando o fenómeno, introduzindo o conceito de equilíbrio químico e, a partir desse conceito, falar sobre as transformações químicas que decorrem, atendendo à cor dos gases envolvidos. Só depois, falar sobre ligações que se estabelecem. Após essa explicação, o professor deve fazer a representação das moléculas envolvidas ou ainda das interações entre as moléculas que explicam a alteração da cor (Moodle USP: E-Disciplinas).

Atendendo às dificuldades sentidas pelos alunos na aprendizagem do equilíbrio químico, devido à sua complexidade, e transição entre os níveis de conhecimento referidos no triplete de Johnstone (Johnstone, 1991), uma forma de complementar outras abordagens metodológicas ocorre por via da integração pedagógica de tecnologias de informação e comunicação emergentes.

As referidas tecnologias, têm sido cada vez mais exploradas como uma ferramenta complementar para melhorar a aprendizagem dos alunos (Sá & Lopes, 2023). Uma dessas tecnologias é o *ChatGPT*, um modelo de linguagem artificial desenvolvido pela *OpenAI*, capaz de gerar respostas humanas semelhantes a partir de entradas de texto. O *ChatGPT* oferece uma oportunidade única para auxiliar no ensino do equilíbrio químico, um tópico fundamental na química que frequentemente desafia os alunos com os seus conceitos abstratos e complexos. Esta ferramenta pode desempenhar um papel significativo nesse processo educacional, oferecendo uma maneira interativa e acessível para os alunos explorarem e compreenderem melhor os conceitos de equilíbrio químico.

Embora ainda haja uma escassez de estudos específicos sobre o uso do *ChatGPT* no ensino do equilíbrio químico, existem investigações que exploram a eficácia desta tecnologia na educação.

Um estudo de caso conduzido por Jorge Rodríguez-Becerra et al. (2020) demonstra que a aprendizagem através de problemas autênticos do mundo real, utilizando métodos computacionais educacionais, oferece um grande potencial no apoio à instrução de futuros professores nas áreas da química e da pedagogia. Tecnologias baseadas em IA permitem melhorar a aprendizagem em disciplinas científicas como a química. Além disso, uma revisão sistemática realizada por Johnson et al. (2016) indicaram que essas tecnologias podem facilitar a aprendizagem, fornecendo suporte individualizado e feedback imediato aos alunos.

No entanto há que ter em atenção que esta ferramenta apresenta limitações e que temos de estar conscientes para tal, segundo Leite (2023, p.916), “Em suas limitações, o *ChatGPT* alerta que pode ocasionalmente gerar informação incorreta, conteúdo tendencioso, instruções prejudiciais e conhecimento limitado do mundo e eventos após 2021, o que amplia a necessidade do usuário verificar as informações disponibilizadas pela IA.”

3. Enquadramento Didático-Curricular

Para a elaboração deste trabalho foram levados em conta dois documentos- o Perfil dos Alunos após a Conclusão da Escolaridade Obrigatória (PASEO) e o documento que aborda as Aprendizagens Essenciais.

De forma a tornar esta investigação aplicável à área disciplinar de Física e Química A do 11.º ano de escolaridade, foi considerado o currículo da disciplina em questão, nomeadamente o documento das Aprendizagens Essenciais, estabelecidas pela Direção Geral da Educação em 2018, cujo Domínio se designa de Equilíbrio Químico e, Subdomínio, Estado de equilíbrio e extensão das reações químicas (Direção Geral da Educação, 2018, p. 12-13). Relativamente às AE, foram consideradas as seguintes:

- Aplicar, na resolução de problemas, o conceito de equilíbrio químico em sistemas homogéneos, incluindo a análise de gráficos, a escrita de expressões matemáticas que traduzam a constante de equilíbrio e a relação entre a constante de equilíbrio e a extensão de uma reação, explicando as estratégias de resolução.
- Relacionar as constantes de equilíbrio das reações direta e inversa.
- Prever o sentido da evolução de um sistema químico homogéneo quando o estado de equilíbrio é perturbado (variações de pressão em sistemas gasosos, de temperatura e de concentração), com base no Princípio de Le Châtelier.
- Prever o sentido da evolução de um sistema químico homogéneo por comparação entre o quociente da reação e a constante de equilíbrio.
- Investigar, experimentalmente, alterações de equilíbrios químicos em sistemas aquosos por variação da concentração de reagentes e produtos, formulando hipóteses, avaliando procedimentos e comunicando os resultados.
- Aplicar o Princípio de Le Châtelier à síntese do amoníaco e a outros processos industriais e justificar aspetos de compromisso relacionados com temperatura, pressão e uso de catalisadores.

4. Ensaio Investigativo em Educação em Química

4.1. Caracterização do estudo e metodologia usada

Com o objetivo de verificar se os alunos mobilizam explicações de nível macroscópico, submicroscópico ou representacional na explicação de fenómenos relacionados com o equilíbrio químico, e verificar se as maiores dificuldades sentidas se associam mais significativamente a algum dos níveis, foi aplicada a metodologia qualitativa no contexto educacional. “*A investigação em educação modificou-se desde a publicação da primeira edição de Investigação Qualitativa em Educação: Uma Introdução à Teoria e aos Métodos, em 1982. Um campo que era dominado pelas questões da mensuração, definições operacionais, variáveis, teste de hipóteses e estatística, alargou-se para contemplar uma metodologia de investigação que enfatiza a descrição, a indução, a teoria fundamentada e o estudo das percepções pessoais.*” (Bogdan & Biklen, 1994).

Foi adotada uma abordagem interpretativa, assentando na compreensão dos significados e das experiências dos participantes.

4.2. Descrição dos participantes

Esta investigação decorreu durante o ano letivo 2023/2024, na ESV, envolvendo 18 dos 19 alunos da turma do 11.º ano de escolaridade. Do total de alunos participantes, cinco eram do sexo masculino (27,8%) e 13 do sexo feminino (72,2%), com média de idades 16,5 anos (11 alunos com 16 anos, 6 alunos com 17 anos e 1 aluno com 18 anos). Os alunos da turma integraram a mesma no ano letivo anterior, sem retenções, com exceção de uma aluna que apresenta duas retenções. No geral, tratando-se de uma turma bastante heterogénea, o aproveitamento global é bom, cuja classificação média na disciplina de Física e Química A, é 13,6 valores (2 alunos com classificação 9, 8 alunos com classificação entre 10 a 13, 4 alunos com avaliação entre 14 e 17 e, por último, 5 alunos com classificação entre 18 a 20).

4.3. Descrição das estratégias de intervenção adotadas na investigação e do material desenvolvido

De acordo com as orientações do manual adotado e Aprendizagens Essenciais (DGE, 2018), na introdução ao tema Equilíbrio Químico, recorreu-se ao exemplo da reação entre diiodo e di-hidrogénio, atendendo às cores destes gases, sendo elas violeta e incolor, respetivamente. Como produto da reação desta reação, obtém-se o iodeto de hidrogénio, cuja coloração é incolor. Mas como explicar o facto de, em sistema fechado, a evolução da reação ao longo do tempo ocorrer até a coloração observada ser ligeiramente arroxeadada? Ora, em diálogo com os alunos, concluiu-se que tal acontece porque nenhum dos reagentes se esgota, impossibilitando a visualização de uma solução incolor. Desta forma, foi abordado o nível macroscópico de conhecimento de Johnstone. Para conseguir abordar um outro vértice do triângulo de Johnstone, recorreu-se à explicação a nível molecular do sistema reacional, relacionando com o observável, utilizando os exemplos existentes no manual adotado. Ora, pela análise da representação simbólica molecular de uma figura inserida no manual adotado, verificou-se que, desde o início da reação foram ocorrendo rearranjos entre os átomos, com formação de novas moléculas.

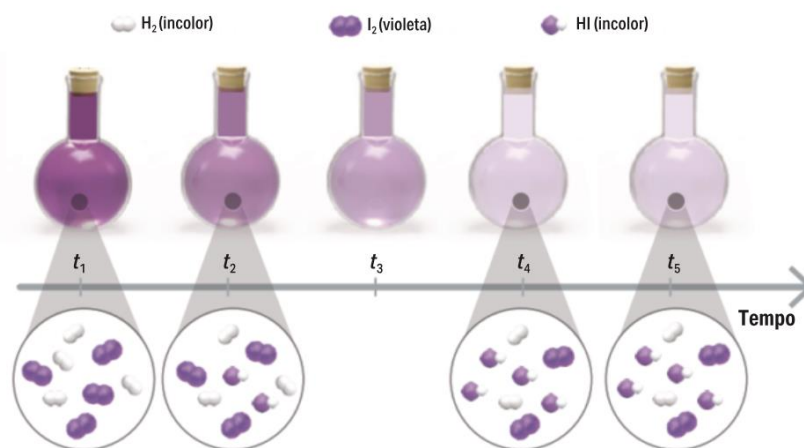


Figura 2- Evolução da cor ao longo do tempo e representação simbólica molecular do sistema reacional constituído por: $H_2(g)$, $I_2(g)$ e $HI(g)$, em diferentes instantes. Fonte: Manual "Química em reação 11".

A partir de determinado instante, coexistem reagentes e produtos da reação, nas respetivas proporções estequiométricas, constantes, atingindo, portanto, o equilíbrio químico, observando-se a coloração ligeiramente arroxeadada.

Uma vez abordados dois de três níveis de conhecimento, com a finalidade de transitar entre todos eles, foi-lhe explanado aos alunos a representação gráfica, da forma como variam as concentrações e velocidade das reações direta e inversa, à medida que o tempo ia decorrendo, até se atingir o equilíbrio químico, ou seja, até que estas grandezas permanecem constantes, mostrando que, em nenhum dos casos, os valores seriam nulos. Desta forma foi apresentado aos alunos os três níveis de conhecimento, e as relações existentes entre esses níveis.

Posteriormente a esta leção, os alunos realizaram a atividade laboratorial para investigar, experimentalmente, alterações de equilíbrios químicos em sistemas aquosos por variação da concentração de reagentes e produtos, formulando hipóteses, avaliando procedimentos e comunicando os resultados (DGE, 2018).

4.4. Técnicas e instrumentos de recolha de dados

Foram analisadas reações recorrendo às equações representativas e estudo molecular das reações, bem como, representação gráfica da evolução de reações ao longo do tempo e ainda visualização de transformações químicas resultantes destas interações moleculares aquando a realização da atividade laboratorial- “*Efeito da concentração no Equilíbrio Químico*”.

A realização desta atividade permitiu investigar alterações de equilíbrios químicos num sistema aquoso por variação da concentração de reagentes e produtos, por observações de alteração de cor, por alteração das concentrações dos reagentes. Na senda desta investigação, foi solicitado aos alunos do 11.^o CT1, que respondessem ao questionário “*Questões Equilíbrio Químico*” disponibilizado na aplicação *Classroom* do *Google Forms* (Ver Anexo 1). Este questionário contemplou oito questões, seis dessas abordaram os três níveis de conhecimento do triângulo de Johnstone. Com a finalidade de verificar quais as maiores dificuldades sentidas pelos alunos e, se os alunos mobilizam aprendizagens nos níveis macroscópico, submicroscópico e representacional, o número de questões foi quase que igualmente repartido. As questões Q3 e Q6, abordam o nível macroscópico do conhecimento, enquanto as questões Q4 e Q7 permitem que os alunos abracem o nível representacional. A questão Q8 retrata o nível submicroscópico e, por último, a questão Q5 permite interligar os três níveis de conhecimento de Johnstone. Ainda sobre estas seis questões, cinco são de escolha múltipla. Embora se tratando, maioritariamente, de questões deste tipo, acionam níveis distintos do conhecimento, sendo que a restante questão é de resposta

aberta (Q5). As duas primeiras questões visam rastrear idade e sexo dos participantes (Q1 e Q2). Utilizar ferramentas de inteligência artificial, tal como por exemplo o *Chat GPT*, podem personalizar a experiência educacional, melhorar o desempenho académico e tornar o processo de ensino mais eficiente, uma vez que promove o espírito crítico, aumenta poder de argumentação, permite identificar lacunas dos estudantes e fomenta um maior envolvimento.

Neste sentido, na aula seguinte, foram apresentadas três respostas, num total de oito questões existentes no Questionário “*Questões Equilíbrio Químico*”. Estas três questões (Q3, Q5 e Q6), sujeitas pela professora, ao *Chat GPT* (Ver Anexo 2), foram discutidas e analisadas criticamente em grupos de alunos e, posteriormente, divulgadas por um porta-voz de cada grupo, sem que os alunos fossem conhecedores que teria sido utilizada esta ferramenta. Foram selecionadas apenas três questões considerando as limitações desta ferramenta no que concerne à análise gráfica. O principal objetivo consistiu em averiguar a veracidade, rigor científico e linguagem apresentados, na resposta às questões, justificando convenientemente a análise. Os alunos responderam ao solicitado, oralmente, em debate.

4.5. Considerações sobre a recolha e o tratamento dos dados

A recolha de dados qualitativos utilizada neste estudo contemplou análise das respostas dos alunos ao questionário “*Questões Equilíbrio Químico*”, disponibilizado no *Google Forms*, e aplicado após a intervenção. Na análise de dados recorreu-se à técnica de análise de conteúdo através da categorização e interpretação de dados (Bardin, 2016), visando identificar padrões, de acordo com as categorias apresentadas na tabela seguinte (Figura 2).

Categorias	Subcategorias	Descrição	
A. Compreensão do tema Equilíbrio Químico	A1. Conceitos básicos	Aplica conceitos como equilíbrio químico, extensão de uma reação, constante de equilíbrio e mole.	
	A2. Leis e Princípios	Aplica a Lei da ação das massas e Princípio de Le Châtelier.	
	A3. Cálculo e relação entre conceitos	Relaciona conceitos e executa cálculos.	
B. Explicação de fenómenos de equilíbrio químico	B1. Recorre ao nível macroscópico	Explica fenómenos de equilíbrio químico mediante o que viu/experenciou.	
	B2. Recorre ao nível submicroscópico	Explica fenómenos de equilíbrio químico tendo como base as ligações/ruturas que ocorrem nas moléculas.	
	B3. Recorre ao nível representacional	Explica fenómenos de equilíbrio químico recorrendo a esquemas, tais como, gráficos, tabelas ou desenhos.	
	B4. Recorre a combinações de níveis de representação	Explica fenómenos de equilíbrio químico recorrendo a combinações de diferentes níveis de conhecimento.	
C. Correção das respostas	C1. Sem erros	Responde sem erros de quaisquer tipo (apresenta ligação conceptualmente consistente entre os elementos apresentados).	
	C2. Com erros	C.2.1. Erros Tipo conceptual	Apresenta falha na compreensão dos conceitos subjacentes a uma determinada situação, problema ou sistema.
		C.2.2. Linguagem científica	Utiliza conceitos científicos mobilizados na resposta e/ou de abreviaturas e de siglas não claramente identificados.

Figura 3- Estrutura de categorização do questionário realizado pelos alunos.

No item seguinte serão apresentados e discutidos os resultados relativamente ao questionário “Questões Equilíbrio Químico”, bem como, às questões submetidas ao *ChatGPT*.

5. Apresentação e discussão dos resultados

5.1. Análise relativa ao questionário “Questões Equilíbrio Químico”

Contrariamente ao espectável, mediante a apresentação de duas questões de seleção (escolha múltipla), que façam referência a conhecimento a nível macroscópico, na primeira questão (Q3), só 33% responderam acertadamente, enquanto na segunda questão (Q6), 100% dos alunos realizaram respostas assertivas (Ver *Gráfico 1* do Anexo 3).

Considera-se que tal poderá ter ocorrido por precipitação na seleção da opção verdadeira e, nem terem reparado que haveria as colorações castanhas-avermelhadas claras e escuras.

Também se verificou, que nas duas questões que descrevem o nível representacional do conhecimento, na questão Q4 e Q7, de escolha múltipla, os alunos responderam corretamente a 56% e 72%, respetivamente, sendo o balanço bastante positivo (Ver *Gráfico 2* e *Gráfico 4*, do Anexo 3).

Relativamente à questão Q8, igualmente de escolha múltipla, que mobiliza o conhecimento ao nível submicroscópico, 72% alunos responderam acertadamente (Ver *Gráfico 5* do Anexo 3).

A única questão de desenvolvimento, diz respeito à questão Q5. Esta permite relacionar os três níveis do conhecimento e, apesar de aproximadamente 39% dos alunos ter respondido corretamente, nenhum aluno conseguiu transitar e relacionar os três níveis de conhecimento do triplete de Johnstone (1991). Apenas dois alunos (A10 e A18) referiram o que ocorreu submicroscopicamente para explicação do efeito do aumento de pressão na extensão da reação.

Embora se tratando de resposta obrigatória, 3 alunos contornaram o sistema e não responderam à questão.

Sublinha-se, novamente, o facto de, no total dos 18 alunos, nenhum referir o Princípio de Le Châtelier, de extrema relevância para a explicação de toda e qualquer questão relacionada com o equilíbrio químico.

Mediante os resultados obtidos aquando da resolução do Questionário “*Questões Equilíbrio Químico*” (Ver Anexo 1), respondido por 18 alunos, apresentam-se, seguidamente, as respostas corretas, erradas e inconclusivas, bem como as questões não respondidas (Tabela 1).

Na Tabela 1, as questões Q1 e Q2, dizem respeito ao sexo e idade, respetivamente.

Questões \ Alunos	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
Q1	♀	♀	♀	♂	♀	♂	♂	♀	♀	♀	♀	♂	♀	♀	♂	♀	♀	♀
Q2	17	16	17	16	17	17	16	16	16	16	17	16	16	17	18	16	16	16
Q3																		
Q4																		
Q5							NR		I		I			I	NR		NR	
Q6																		
Q7																		
Q8																		

	Inconclusiva	Resposta Errada	Resposta Correta	NR	Não Respondeu	♀	Sexo Feminino
						♂	Sexo Masculino

Tabela 1- Respostas corretas, erradas e inconclusivas, bem como não respondidas, dos alunos da turma do 11.º CT1.

Atendendo à tipologia das questões do Questionário “*Questões Equilíbrio Químico*”, apresenta-se, de seguida, ilustração de citações elaboradas pelos alunos, bem como, uma breve explicação para as categorias e subcategorias correspondentes e consideradas relevantes e enquadradas às suas respostas, inerentes à questão Q5, de resposta aberta, que permite relacionar os três níveis de conhecimento de Johnstone (micro, macro e representacional).

A. Compreensão do tema Equilíbrio Químico

Nesta categoria pretendia-se saber se os alunos entendem os princípios e as condições que governam a formação, manutenção e deslocamento dos equilíbrios em reações químicas reversíveis.

De um modo geral, é notória a dificuldade sentida pelos alunos em compreender o tema do Equilíbrio Químico, sendo que 39% responderam corretamente à questão (Q5), e 61% indicaram respostas erradas.

A.1 Conceitos básicos

Na generalidade, os alunos têm dificuldade em entender o conceito fundamental de equilíbrio químico, como o ponto em que as reações diretas e inversas ocorrem à mesma taxa. Dos 39% de alunos que conseguiram responder corretamente, apenas 17% dos alunos fizeram-no de uma forma muito sintética. - *Aumento da extensão da reação no sentido inverso (A2)*

- *A reação deslocar-se-ia no sentido inverso (A4)*

- *Equação vai-se dar no sentido inverso (A12)*

A.3 Cálculo e relação entre conceitos

Nesta subcategoria, 22% dos alunos sabe calcular e relacionar conceitos importantes, como constantes de equilíbrio.

- Quando a mistura em equilíbrio é submetida a um aumento de pressão, sendo que o coeficiente estequiométrico do produto é maior do que o do reagente, é promovido o maior deslocamento da reação no sentido inverso. (A10)

- O aumento de pressão vai fazer com que a reação evolua no sentido inverso, uma vez que é o sentido onde se produz uma menor quantidade de moléculas. (A16)

- Um aumento de pressão leva o sistema a evoluir no sentido cujo número de moles produzido é menor. Assim, neste caso, a reação irá evoluir no sentido inverso. (A18)

- Aumenta o número de reagentes. (A13)

O aluno 13 (A13), não respondeu relativamente à extensão da reação, no entanto, a conclusão relativa ao efeito da perturbação introduzida, está correto.

De sublinhar que, em qualquer uma destas afirmações, o Princípio de Le Châtelier não foi referido, sendo este a base de qualquer explicação e, por consequência, conclusão.

C. Correção das respostas

Nesta categoria pretende-se avaliar se o aluno apresenta respostas com ou sem erros, em questões de desenvolvimento.

C.2 Com erros

Nesta subcategoria, subdividi novamente em tipos de erro específicos.

C.2.1 Erros do tipo conceptual

Este tipo de erros decorre quando o aluno não entende adequadamente os princípios ou fundamentos relacionados à situação proposta. Cerca de 28% dos alunos cometeram erros deste tipo.

- O efeito desse aumento de pressão na extensão da reação foi o aumento da concentração de NO_2 e a intensificação do vermelho acastanhado. (A1)

- A reação irá ser mais extensa no sentido direto. (A3)

- A reação deslocou-se no sentido direto. (A5)

- A pressão aumentou a tonalidade da cor. (A6)

- O aumento de pressão tornou a reação mais extensa no sentido direto. (A8)

Na Tabela 1, evidencia-se que três alunos não responderam de uma forma conclusiva, sendo respostas ambíguas ou ainda não responderam sequer ao solicitado. Penso que poderá ter sido pelo facto de não compreenderem a questão, ou ainda, de não terem compreendido os conceitos lecionados.

- O aumento de pressão causou uma destabilização no sistema, o que levou a alteração da cor (A9)

- O tempo que demora a chegar ao ponto de equivalência é menor (A11);

- O aumento de pressão causou um aumento da velocidade da reação (A14);

5.2. Análise relativa às questões submetidas ao *ChatGPT*

Atendendo às limitações do *ChatGPT*, das seis questões propostas aos alunos (Q3, Q4, Q5, Q6, Q7 e Q8), apenas três foram submetidas a esta aplicação (Q3, Q5 e Q6) (Ver Anexo 2). Pela análise das questões inseridas no *ChatGPT*, verifica-se que a resposta à questão Q3 obtida por esta ferramenta, encontra-se errada, pois não consegue distinguir entre cor “clara” e “escura”, tratando-se de um mote para discussão em sala de aula.

No que concerne à apresentação das respostas indicadas por esta ferramenta, os alunos A2, A7, A10, A13, A15 e A16, discordaram com a primeira resposta apresentada (Q3). Ora, sendo os alunos desconhecedores que esta havia sido realizada pelo *ChatGPT*, sugeriram introduzir essa mesma questão utilizando este mesmo *software*, no espaço indicado para tal ao que a resposta obtida seria falsa, ou seja, a que já lhes havia disso fornecida. Após algumas discussões, propuseram alterar uns pormenores da questão (cores), alterando a cor do N_2O_4 (g) de incolor para amarelo, e a cor do NO_2 (g) de vermelho-acastanhado para azul. Foi então obtida uma resposta verdadeira, uma vez que o *ChatGPT* assumiu que no equilíbrio químico a solução teria coloração verde (Ver Anexo 4). Foi deveras interessante, pois esta ferramenta não diferencia a cor vermelha-acastanhada clara de vermelha-acastanhada escura.

No que pertence à segunda questão sujeita ao *ChatGTP* (Q5), tratando-se de uma questão de construção, os alunos que apresentaram respostas corretas (A2, A4, A10, A12, A13, A16 e A18), notaram que todas estariam, efetivamente, incompletas, uma vez que nenhum havia referido o Princípio de Le Châtelier, que está na base do estudo do equilíbrio químico.

Idealmente, tratando-se de uma questão de resposta aberta, os alunos deveriam ter respondido de uma forma mais completa recorrendo a explicações mais efusivas, abordando, precisamente itens micro, macro e representacionais das reações químicas.

Por fim, na última questão de escolha múltipla (Q6), nada acrescentaram, pois, o *ChatGPT*, havia fornecido a resposta em conformidade com a opção selecionada por todos os alunos.

Os resultados obtidos encontram-se compilados na Tabela 2.

	Questões		
	Q3	Q5	Q6
Professor	- Resolução incorreta	- Resolução correta e linguagem científica adequada	-Resolução correta
Investigador	- Não diferencia cor "clara" de "escura"	- Justificação muito completa	
Alunos	56% estão de acordo (A4, A5, A6, A8, A9, A11, A12, A14, A17 e A18)	39% estão de acordo (A2, A4, A10, A12, A13, A16 e A18)	100% estão de acordo

Tabela 2- Análise das questões submetidas ao *ChatGPT* (Q3, Q5 e Q6)

A partir da análise das respostas dos alunos, depreende-se algumas conclusões, referentes a algumas das categorias de análise anteriores.

A análise revela que, efetivamente, as maiores dificuldades sentidas pelos alunos sobressaem nas questões em que decorre a necessidade de relacionar os três níveis de conhecimento de Johnstone. Reconheceu-se que, comparativamente à resposta fornecida pelo *ChatGPT* para a questão Q5 (de desenvolvimento), esta contempla uma explicação muito mais completa que a que os alunos haviam efetuado, tal como espetável.

Relativamente à questão Q3, tratando-se de uma questão de escolha múltipla que aborda o nível macroscópico, grande parte dos alunos concordou com a resposta indicada pelo *ChatGPT*. No entanto, a resposta obtida por esta ferramenta está incorreta. Tal como os alunos, este *software* não executou qualquer distinção entre tonalidade *clara* ou *escura* sendo inesperado.

Finalmente, para a última questão (Q6), também de carácter macroscópico, *ChatGPT* e alunos, estavam concordantes com a resposta apresentada, sendo esta correta e não apresentaram quaisquer dúvidas da sua veracidade, tal como esperado.

Os alunos devem contactar com os três níveis de conhecimento, de forma a interpretar corretamente fenómenos dos campos teórico e conceitual (Johnstone, 1991), uma vez que fenómenos abstratos apresentam uma dificuldade de compreensão acrescida. Desta forma, é ainda promovido um pensamento crítico e uma abordagem mais científica ao resolver problemas, tornando ainda os alunos mais aptos a aplicar esse conhecimento em contextos práticos e experimentais.

6. Conclusões e implicações da investigação

Nesta secção são referidos resultados, interpretações e identificadas algumas limitações desta investigação.

6.1. Conclusões e considerações finais

Os objetivos desta investigação são verificar se os alunos mobilizam explicações de nível macroscópico, submicroscópico ou representacional na explicação de fenómenos relacionados com o equilíbrio químico, e verificar se as maiores dificuldades sentidas se associam mais significativamente a algum dos níveis.

Efetivamente, e de acordo com o espectável as questões (Q3 e Q6) que mobilizam o conhecimento macroscópico, foram aquelas que os alunos responderam com maior sucesso, embora na Q3 penso que os alunos se precipitaram ao responder e, de certa forma, ignoraram o facto de apresentar duas opções sobre a intensidade da cor quando atingido o equilíbrio químico, ou ainda, a apresentação de detalhes específicos, como diferentes tonalidades, pode confundir a sua interpretação.

As questões que acionaram o conhecimento representacional (Q4 e Q7), já foi possível verificar uma dificuldade acrescida, e muito aproximada da questão que reflete essencialmente o nível submicroscópico (Q8).

Previsivelmente, a questão que os alunos demonstraram apresentar maior dificuldade, refere-se, precisamente, à questão Q5, que lhes proporciona maior liberdade de argumentação e relacionar os três níveis de conhecimento de Johnstone (1991).

Todas as observações redigidas até então são válidas para o estudo do questionário “Questões Equilíbrio Químico”, bem como, para as questões submetidas ao *ChatGPT*, uma vez que, os dados obtidos são coincidentes.

A inclusão do *ChatGPT* como ferramenta auxiliar também revelou limitações. Embora tenha fornecido respostas corretas para algumas questões, em outras, como na questão Q3, não diferenciou adequadamente entre tonalidades de cor. Isso sugere que, enquanto ferramentas de inteligência artificial podem ser úteis para debates, complementando o ensino tradicional.

Atendendo à complexidade do tema Equilíbrio químico para os alunos, denota-se muita dificuldade na compreensão e aplicação de conceitos relativos ao mesmo, tornando-se indispensável recorrer a várias metodologias e técnicas de ensino. Conciliar a teoria e a prática ajudam a superar dificuldades, bem como explicar os fenómenos submicroscópicos tendo por base o macroscópico. O facto de os alunos conseguirem concretizar na forma de representação ou esquema, demonstra que articulam com facilidade e dominam, os três níveis de conhecimento de Johnstone (1991).

6.2. Relevância da investigação e suas implicações para a Educação em Química e em Ciências

A investigação conduzida revela várias implicações significativas para a educação em química e ciências. Primeiramente, evidencia as dificuldades dos alunos na compreensão de conceitos complexos como o equilíbrio químico, apontando para a necessidade de metodologias de ensino mais eficazes. A baixa taxa de acerto em questões de escolha múltipla e a incapacidade dos alunos de relacionar os três níveis de conhecimento de Johnstone (macroscópico, submicroscópico e representacional) indicam que há um *déficit* na transição do conhecimento teórico para a prática.

Estas evidências sublinham a importância de integrar múltiplas metodologias de ensino que combinem teoria e prática, permitindo aos alunos visualizar e compreender melhor os fenómenos químicos. Por exemplo, o uso de simulações e atividades práticas pode ajudar os alunos a fazerem a ligação entre os diferentes níveis de conhecimento. A inclusão do Princípio de Le Châtelier nas explicações também é crucial para uma compreensão completa dos processos de equilíbrio.

Além disso, os resultados sugerem que a educação em Química e Ciências deve focar-se em desenvolver a capacidade dos alunos de articular e representar conceitos

complexos de forma visual e esquemática, o que pode melhorar a sua compreensão e retenção do conteúdo. As estratégias de ensino devem ser adaptadas para abordar as dificuldades específicas identificadas, como a distinção entre diferentes colorações em reações químicas, e promover uma aprendizagem mais interativa e envolvente.

7. Reflexão autocrítica e projetos futuros

Refletindo sobre a condução desta investigação, uma das principais limitações foi a gestão do tempo, que afetou a complexidade das questões incluídas no questionário. A maioria das questões era de seleção múltipla, limitando a capacidade dos alunos de expressar o seu entendimento de forma mais completa e detalhada. Para futuras investigações, é essencial incluir um maior número de questões abertas que permitam aos alunos explorar e demonstrar os seus conhecimentos nos três níveis de Johnstone sem as restrições impostas pelas respostas de escolha múltipla.

Além disso, a utilização de ferramentas tecnológicas como o *ChatGPT* mostrou-se útil, mas também evidenciou alguma limitação. Esta ferramenta não distingue algumas colorações, não permitindo obter respostas corretas. Percebe-se que o uso exclusivo de tais ferramentas não será suficiente para uma compreensão completa dos conceitos. Assim, projetos futuros devem considerar uma abordagem mais holística que combine tecnologia com métodos de ensino tradicionais para superar essas limitações.

Para aprofundar esta linha de investigação, planeia-se desenvolver projetos que explorem diferentes metodologias de ensino, incluindo a utilização de simuladores virtuais, e aprendizagem baseada em problemas. Adicionalmente, serão realizadas análises mais detalhadas sobre a eficácia destas abordagens em diferentes contextos educativos, com o objetivo de identificar as melhores práticas para o ensino de conceitos complexos em Química e Ciências.

Referências Bibliográficas

Alves, G. V. O. A., Zuben, L. M. S. V.; Dornelles, V. C. C., Brito, J. M. F., Lima, H. S., Borges, A. M. M., Lima, J. C. B. de & Guimarães, U. A. (2024). A educação guiada pela inteligência artificial: Concepções Inovadoras na Educação à Distância. *Educação*, v.28 (ed.133). Disponível em

- <https://revistaft.com.br/a-educacao-quiada-pela-inteligencia-artificial-concepcoes-inovadoras-na-educacao-a-distancia/>
- Araújo, J. L. da S. (2020). Desenvolvimento de dinâmicas e estratégias de potenciação pedagógica em projetos de Ciência participativa: um estudo em Química no Ensino básico. *Repositorio-Aberto.up.pt*. Disponível em <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/130170>
- Atkins, P., & Julio de Paula. (2017). *Físico-química – v.1 (ed.6)*, LTC.
- Bardin, L. (2016). *Análise de Conteúdo* (4ª ed.). Edições 70.
- Bogdan, R., & Sari Knopp Biklen. (1994). *Investigação Qualitativa em Educação-Uma introdução á Teoria e aos Métodos*, Porto Editora.
- Brown, Peter C., Roediger III, Henry L. McDaniel, Mark A.. Psycnet.apa.org. <https://psycnet.apa.org/record/2013-42812-000>
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2013). *Química (ed.11)*, 653-893, AMGH Editora.
- Czysz, K., Schroeder, L., & Clark, G. A. (2020). Making Acids and Bases MORE Basic: Supporting Students' Conceptualization of Acid–Base Chemistry through a Laboratory Exercise That Connects Molecular-Level Representations to Symbolic Representations and Experimentally Derived Evidence. *Journal of Chemical Education*, 97(2), 484–489. Disponível em <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.9b00645>
- Despacho n.º 6605-A/2021, de 6 de julho do Ministério da Educação e Ciência -Gabinete do Ministro. Diário da República: Série II, n.º 129/2021, 1º Suplemento (2021). Disponível em <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho/6605-a-2021-166512681>
- DGE, Direção Geral de Educação (2017). Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória. Direção Geral de Educação, Ministério da Educação e Ciência.
- DGE, Direção Geral de Educação (2018). Aprendizagens Essenciais de FísicoQuímica, 11.º ano. Direção Geral de Educação, Ministério da Educação e Ciência. Disponível em https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/11_fq_a.pdf
- DGE, Direção Geral de Educação (2020). Aprendizagens Essenciais. Disponível em <https://dge.mec.pt/aprendizagens-essenciais-0>
- Ferreira Fernandes, R. (2015). Equilíbrio químico. *Revista de Ciência Elementar*, 3(2). Disponível em <https://doi.org/10.24927/rce2015.034>

Horta, A., Rosália, M., & Ribeiro De Aragão, M.. *Como os Estudantes Concebem o Estado de Equilíbrio Químico*. Disponível em <http://qnesc.sbg.org.br/online/qnesc04/aluno.pdf>

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75–83. Disponível em <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>

Leite, B. S. (2023). Inteligência Artificial e ensino de Química: uma análise propedêutica do ChatGPT na definição de conceitos químicos., v.46, n.9, 915-923. DOI:10.21577/0100-4042.20230059. Disponível em <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230059>

Moodle USP: e-Disciplinas. Disponível em <https://edisciplinas.usp.br/acessar/>

Paiva J., Matos M. G., Morais C. & Fiolhais C. (2022). *Manual Escolar Físico-Química A, 11Q- Química 11º Ano, Texto Editores*.

Rodríguez-Becerra, J., Cáceres-Jensen, L., Díaz, T., Druker, S., Bahamonde Padilla, V., Perna, J., & Aksela, M. (2020). Developing technological pedagogical science knowledge through educational computational chemistry: a case study of pre-service chemistry teachers' perceptions. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(2), 638–654. Disponível em <https://doi.org/10.1039/c9rp00273a>

Sá, T. S, Lopes, J. A. C. (2023). Tecnologia na sala de aula: explorando o uso do ChatGPT como ferramenta pedagógica para professores. *Technology in the classroom: exploring the use of chatgpt as a pedagogical tool for teachers*. v.47, n.180, p. 61-68. Disponível em

<http://ojs.uricer.edu.br/ojs/index.php/perspectiva/article/view/368>

Silva, A. M. da, & Costa, D. K. da. (2022). Análise do conceito de equilíbrio químico apresentado nos livros didáticos de Química, aprovados pelo PNLD 2018-2020. *Revista Brasileira de Educação Em Ciências E Educação Matemática*, 6(3), 366–383. Disponível em <https://doi.org/10.48075/ReBECEM.2.v.6.n.3.27799>

Silva C. C. & Carlos C. (2022). *Manual Escolar Físico-Química A, Química em reação 11, Porto Editora*.

Anexos

Anexo 1 – Questões Equilíbrio Químico

05/04/24, 23:42

Questões Equilíbrio Químico (11º CT1)

Questões Equilíbrio Químico (11º CT1)

Deve responder de forma a respeitar o solicitado, sendo claro e o mais sintético possível.

** Indica uma pergunta obrigatória*

1. E-mail *

2. Sexo *

Marcar apenas uma oval.

Feminino

Masculino

3. Idade (responde apenas em numeração; exemplo: 15) *

05/04/24, 23:42

Questões Equilíbrio Químico (11º CT1)

4. *

A reação de decomposição do tetróxido de dinitrogénio, $N_2O_4(g)$, dá origem ao dióxido de nitrogénio, $NO_2(g)$, de acordo com a seguinte equação química:



Colocou-se uma dada quantidade de $N_2O_4(g)$ num recipiente indeformável.

Selecione a opção que completa corretamente a frase seguinte.

Mantendo a temperatura constante do sistema, quando este atinge o equilíbrio químico, apresenta-se...

- (A) incolor.
- (B) com cor vermelha-acastanhada.
- (C) com cor vermelha-acastanhada escura.
- (D) com cor vermelha-acastanhada clara.

Marcar apenas uma oval.

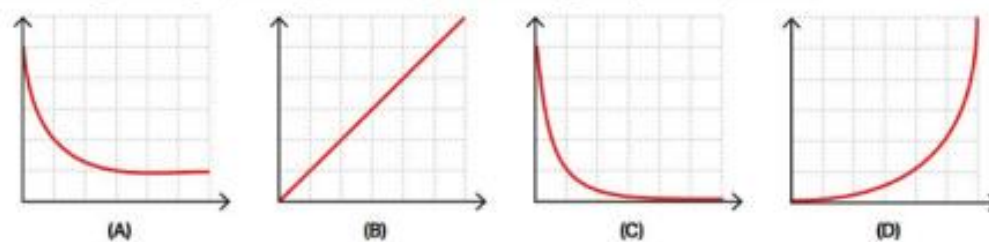
- Opção (A)
- Opção (B)
- Opção (C)
- Opção (D)

05/04/24, 23:42

Questões Equilíbrio Químico (11º CT1)

5. *

Dos seguintes esboços de gráficos, selecione aquele que pode representar a variação da concentração de N_2O_4 em função do tempo, até se atingir o equilíbrio químico.



Marcar apenas uma oval.

- Opção (A)
- Opção (B)
- Opção (C)
- Opção (D)

6. A mistura em equilíbrio foi submetida a um aumento de pressão, a temperatura constante. Qual terá sido o efeito desse aumento de pressão na extensão da reação? *

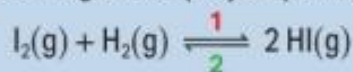


05/04/24, 23:42

Questões Equilíbrio Químico (11º CT1)

7. *

A figura representa um sistema constituído por dois balões ligados por um tubo de vidro. A torneira que liga os dois balões permite colocar em contacto os gases di-hidrogénio e diiodo, que se encontravam, inicialmente, em cada balão. A reação entre estes gases é traduzida pela seguinte equação química:



Selecione a opção que completa corretamente a seguinte frase.

Depois de abrir a torneira, a partir do momento em que a cor do sistema se estabiliza, pode afirmar-se que...

- (A) a reação química termina.
- (B) esgota-se todo o di-hidrogénio.
- (C) esgota-se todo o diiodo.
- (D) é atingido o equilíbrio químico.

Marcar apenas uma oval.

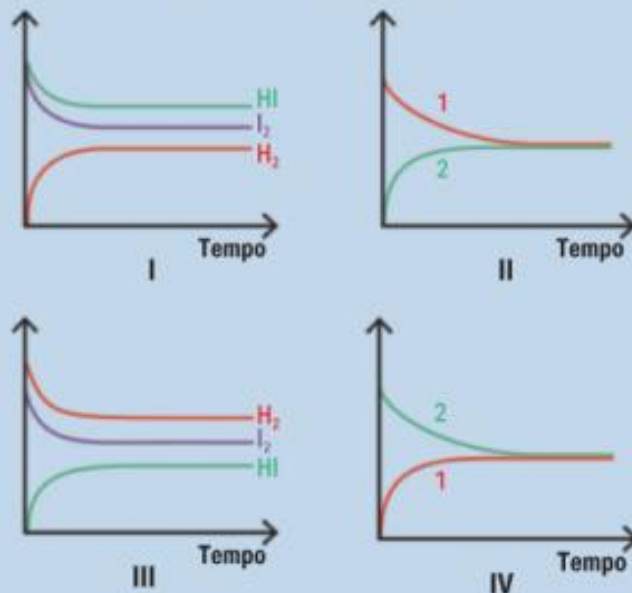
- Opção (A)
- Opção (B)
- Opção (C)
- Opção (D)

05/04/24, 23:42

Questões Equilíbrio Químico (11º CT1)

8. *

Considere os seguintes esboços dos gráficos.



Selecione a opção que indica os esboços dos gráficos que representam a evolução da velocidade da reação e da concentração de reagentes e produto da reação, ao longo do tempo, respetivamente.

- (A) II e III.
- (B) IV e II.
- (C) II e I.
- (D) II e IV.

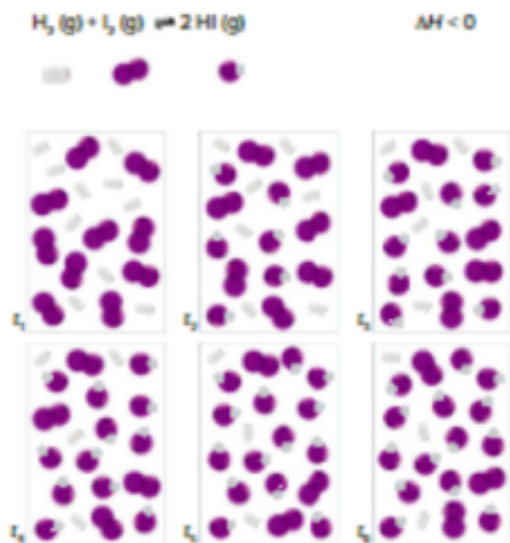
Marcar apenas uma oval.

- Opção (A)
- Opção (B)
- Opção (C)
- Opção (D)

05/04/24, 23:42

Questões Equilíbrio Químico (11º CT1)

9. Os seguintes diagramas apresentam a evolução da cor ao longo do tempo do sistema reacional indicado. Sabendo que cada molécula representada na figura corresponde a 1 mol dessa substância, selecione a opção que completa a frase. De t1 a t6 a variação da quantidade de matéria gasosa foi de _____ e o equilíbrio foi atingido a partir do instante _____.



Marcar apenas uma oval.

- (A) -14 mol ... t4.
 (B) 14 mol ... t5.
 (C) 0 mol ... t5.
 (D) 0 mol ... t4.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

Anexo 2 – Questões submetidas ao *Chat GPT*

Q3. A reação de decomposição do tetróxido de dinitrogénio, N_2O_4 (g), dá origem ao dióxido de nitrogénio, NO_2 (g), de acordo com a seguinte equação química: N_2O_4 (g)(incolor) \rightleftharpoons 2 NO_2 (g) (vermelho-acastanhado), com variação de entalpia positiva. Colocou-se uma determinada quantidade de N_2O_4 num recipiente indeformável. Selecione a opção que completa corretamente a frase seguinte. Mantendo a temperatura constante do sistema, quando esse atinge o equilíbrio químico, apresenta-se... (A) incolor. (B) com cor vermelha-acastanhada. (C) com cor vermelha-acastanhada escura. (D) com cor vermelha-acastanhada clara.

ChatGPT

Quando o sistema atinge o equilíbrio químico na reação de decomposição do tetróxido de dinitrogénio (N_2O_4), a cor observada será devido ao dióxido de nitrogénio (NO_2), que é vermelho-acastanhado. Portanto, a opção correta é:

(B) com cor vermelha-acastanhada.

Q5. A mistura em equilíbrio foi submetida a um aumento de pressão, a temperatura constante. Qual terá sido o efeito desse aumento de pressão na extensão da reação? N_2O_4 (g)(incolor) \rightleftharpoons 2 NO_2 (g) (vermelho-acastanhado), com variação de entalpia positiva.

ChatGPT

Quando a pressão é aumentada em um sistema em equilíbrio, ele tende a se deslocar para a direção que reduz a pressão, de acordo com o Princípio de Le Chatelier. Neste caso, o aumento de pressão irá favorecer a formação do composto com menor número de moléculas gasosas, a fim de minimizar o aumento da pressão. Na reação fornecida, 1 mol de N_2O_4 gera 2 mols de NO_2 , portanto, a formação de NO_2 resulta em um aumento no número total de moléculas gasosas.

Portanto, o aumento de pressão irá favorecer a reação na direção que reduz o número total de moléculas gasosas, ou seja, irá favorecer a formação de N_2O_4 . Assim, a extensão da reação será reduzida, e o equilíbrio se deslocará para a esquerda (em direção aos reagentes).

Resumindo, o aumento de pressão favorecerá a formação de N_2O_4 , resultando em uma redução da extensão da reação.

Q6. Uma torneira liga dois balões por um tubo de vidro, permitindo colocar em contacto os gases di-hidrogénio (H_2) e diiodo (I_2), que se encontravam, inicialmente, em cada balão. A reação é a seguinte:

$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$. Selecione a opção correta. Depois de abrir a torneira, a partir do momento em que a cor do sistema se estabiliza, pode afirmar-se que... (A) a reação química termina. (B) esgota-se todo o di-hidrogénio. (C) esgota-se todo o diiodo. (D) é atingido o equilíbrio químico.

ChatGPT

Quando a torneira é aberta e os gases H_2 e I_2 são permitidos a reagir para formar HI , a reação prossegue até que o equilíbrio químico seja alcançado.

A afirmação correta é:

(D) é atingido o equilíbrio químico.

Anexo 3 – Gráficos representativos das respostas ao questionário “Questões Equilíbrio Químico”

Questão 3 – MACRO- Opção D

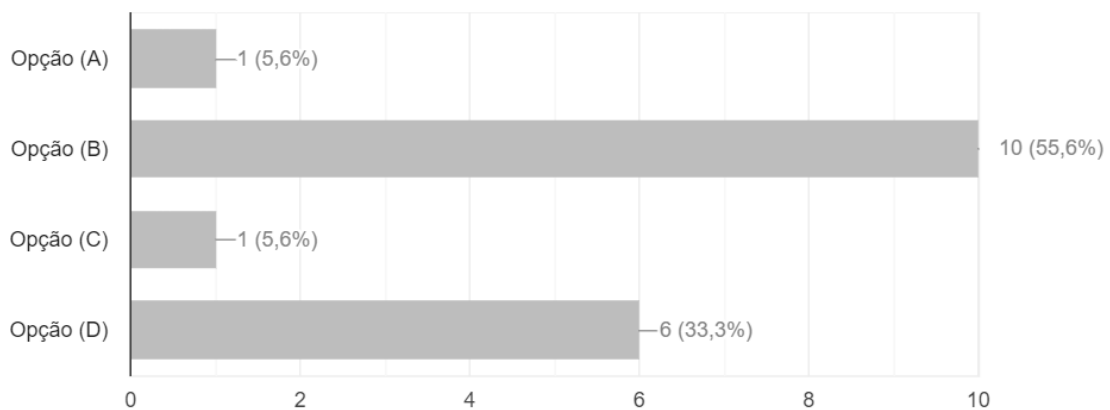


Gráfico 1 – Apresentação das respostas os alunos para a questão Q3 no questionário “Questões Equilíbrio Químico”.

Questão 4 – REPRESENTACIONAL - Opção A

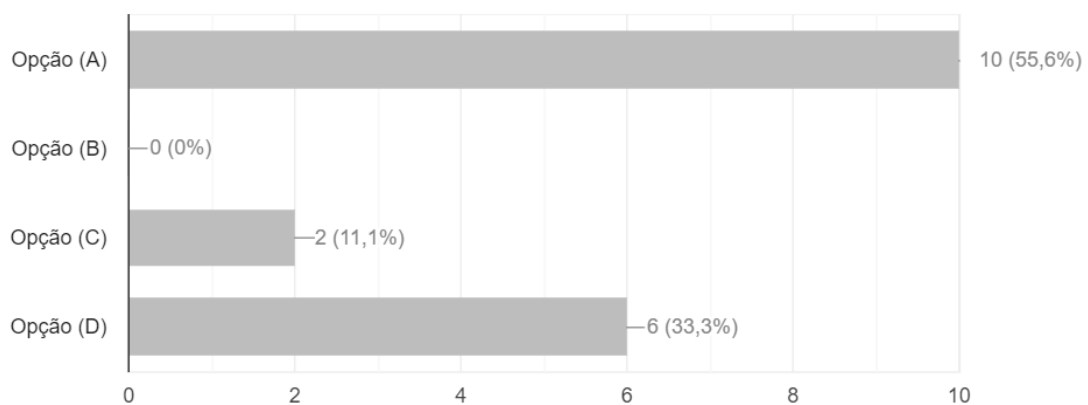


Gráfico 2- Apresentação das respostas os alunos para a questão Q4 no questionário “Questões Equilíbrio Químico”.

Questão 5 - SUBMICRO

O efeito desse aumento de pressão na extensão da reação foi o aumento da concentração de NO₂ e a intensificação do vermelho acastanhado

Aumento da extensão da reação no sentido inverso

A reação irá ser mais extensa no sentido direto

A reação deslocar-se-ia no sentido inverso

A reação deslocou-se no sentido direto

A pressão aumentou a tonalidade da cor

O aumento de pressão tornou a reação mais extensa no sentido direto

O aumento de pressão causou uma destabilização no sistema, o que levou a alteração da cor

Quando a mistura em equilíbrio é submetida a um aumento de pressão, sendo que o coeficiente estequiométrico do produto é maior do que o do reagente, é promovido o maior deslocamento da reação no sentido inverso.

O tempo que demora a chegar ao ponto de equivalência é menor.

Equação vai se dar no sentido inverso

Aumenta o número de reagentes

O aumento de pressão causou um aumento da velocidade da reação

O aumento de pressão vai fazer com que a reação evolua no sentido inverso, uma vez que é o sentido onde se produz uma menor quantidade de moléculas.

Um aumento de pressão leva o sistema a evoluir no sentido cujo número de moles produzido é menor. Assim, neste caso, a reação irá evoluir no sentido inverso.

Questão 6 – MACRO - Opção D

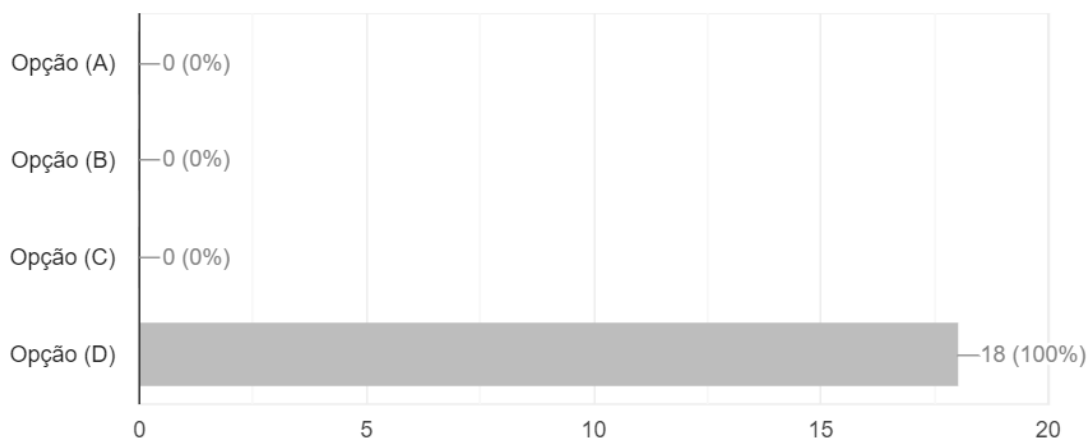


Gráfico 3- Apresentação das respostas os alunos para a questão Q6 no questionário “Questões Equilíbrio Químico”.

Questão 7 – REPRESENTACIONAL - Opção A

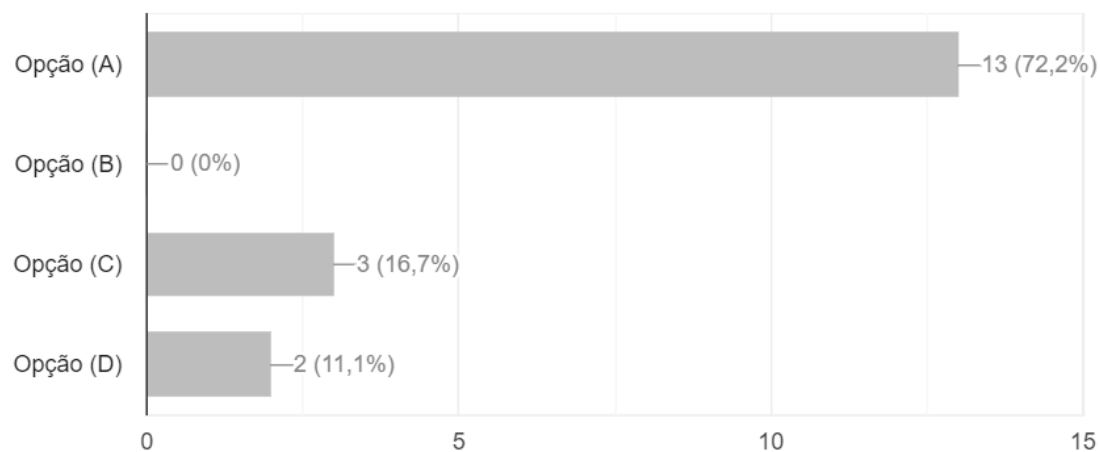


Gráfico 4- Apresentação das respostas os alunos para a questão Q7 no questionário “Questões Equilíbrio Químico”.

Questão 8 – SUBMICRO - Opção C

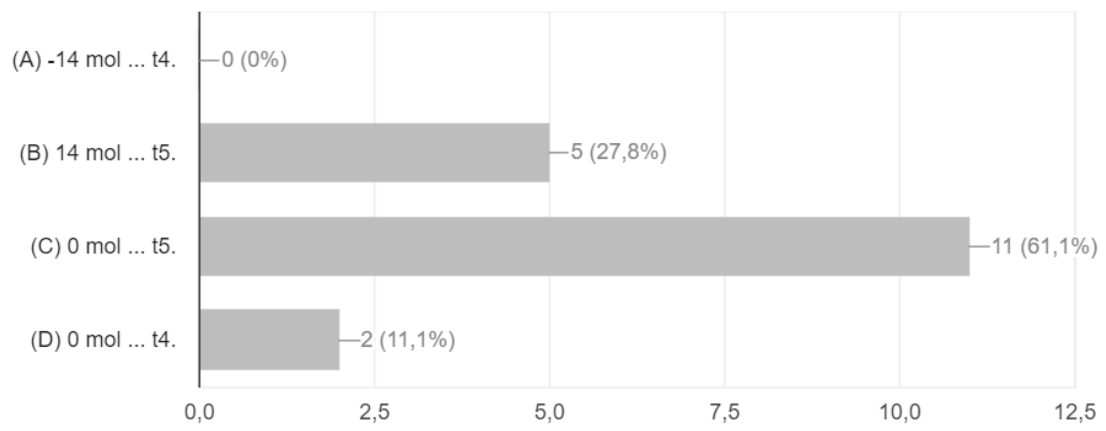


Gráfico 5- Apresentação das respostas os alunos para a questão Q8 no questionário "Questões Equilíbrio Químico".

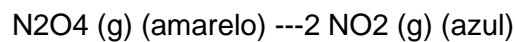
Anexo 4 – Questão alterada e submetida ao ChatGPT

A reação de decomposição do tetróxido de dinitrogénio, N_2O_4 (g), dá origem ao dióxido de nitrogénio, NO_2 (g), de acordo com a seguinte equação química:

N_2O_4 (g) (amarelo) \rightleftharpoons 2 NO_2 (g) (azul), com variação de entalpia positiva. Colocou-se uma determinada quantidade de N_2O_4 num recipiente indeformável. Selecione a opção que completa corretamente a frase seguinte. Mantendo a temperatura constante do sistema, quando esse atinge o equilíbrio químico, apresenta-se... (A) cor verde. (B) com cor amarela. (C) com cor vermelha. (D) com cor azul.

Resposta do ChatGPT

Para determinar a cor do sistema em equilíbrio, devemos considerar a natureza das cores dos compostos envolvidos e a equação de equilíbrio:



O tetróxido de dinitrogénio (N_2O_4) é amarelo.

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é azul.

Quando o sistema atinge o equilíbrio, há uma mistura de N_2O_4 e NO_2 . Como resultado, a cor do sistema não será puramente amarela (apenas N_2O_4) nem puramente azul (apenas NO_2), mas uma combinação das duas.

A combinação de amarelo e azul resulta em uma cor verde. Portanto, a cor do sistema em equilíbrio será verde.

Assim, a opção correta é: **(A)** cor verde.