



Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS): uma abordagem da temática de números quânticos utilizando ferramentas TICs e animações

Fabrizio Rodrigues Pereira, Bruno Magela de Melo Siqueira, Wanderson Romão e Paulo Rogerio Garcez de Moura

Este estudo investigou a eficácia no ensino de números quânticos, inseridas na metodologia Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) utilizando animações. A mecânica quântica, com foco no nível eletrônico, foi abordada de maneira contextualizada no âmbito desta pesquisa. A abordagem foi baseada na produção, validação e aplicação de material de ensino utilizando ferramentas de tecnologia da informação e comunicação (TIC), associadas à teoria da aprendizagem significativa (TAS). O objetivo foi promover a aprendizagem significativa de conceitos específicos, na temática de números quânticos, levando em consideração seus conhecimentos prévios, denominados subsunçores. A pesquisa relacionou os conceitos de distribuição eletrônica e camadas eletrônicas com o número quântico principal, secundário (ou momento angular), magnético e o spin eletrônico. A análise dos resultados foi realizada sob uma abordagem mista, que evidenciou indícios de aprendizagem significativa nas etapas qualitativas a partir das relações estabelecidas pelos estudantes entre tema proposto e diversas situações reais do cotidiano, assim como os resultados de Ferreira *et al.* (2020), e na etapa quantitativa, 96% dos estudantes alcançaram resultados satisfatórios de aprendizagem nos questionários, assim como os resultados de Gomes e Souza (2023).

► ensino de Química, aprendizagem significativa, tecnologia da informação e comunicação ◀

Recebido em 11/02/2024; aceito em 23/03/2025

Introdução

A UEPS e o material potencialmente significativo

O objetivo da UEPS é desenvolver unidades de ensino potencialmente facilitadoras da aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento declarativo e/ou procedimental, pois só haverá ensino, se houver aprendizagem e isso deve ocorrer de maneira significativa. Nesse contexto, é necessário que sejam utilizados materiais potencialmente significativos que corroborem para o processo de construção do conhecimento, pois o ensino é o meio e a aprendizagem significativa é o fim (Moreira, 2011a).

A aprendizagem de conceitos “depende da existência de uma situação de aprendizagem significativa e da relação dos atributos específicos potencialmente significativos do conceito com as ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz” (Ausubel, 2003, p. 02). A aprendizagem significativa é o mecanismo humano, por excelência, usado para adquirir e armazenar a vasta quantidade de ideias e informações representadas em qualquer campo de conhecimento (Ausubel, 2003).

Os conhecimentos prévios ou subsunçores são pontes de ancoragem de novas informações na estrutura cognitiva do estudante. Define-se subsunçor como conceito facilitador para um novo assunto, um conhecimento prévio que facilitará a inserção de uma nova informação (Moreira e Masini, 2006). Em um contexto de aprendizagem significativa, não é plausível pensar que o estudante chega à escola com a mente livre de conhecimentos para ser preenchida como se a aprendizagem só fosse viável na escola, todavia, ela ocorre em diferentes espaços de vida diária, de diferentes fontes de informações e de experiências vivenciadas (Ferreira, 2020).

É importante partir da premissa que aprendizagem significativa está atrelada a condições estritamente necessárias, sendo a primeira delas, o material potencialmente significativo e, por último, a disposição do estudante para aprender. Para isso, é necessário buscar alternativas que atraiam o interesse desses alunos pelo conteúdo (Ausubel, 1982).

Pautado nisso, os fundamentos da UEPS são enumerados (Moreira, 2011b), resultando em um conjunto de princípios essenciais para a elaboração dessas unidades. Embora nem

todas as UEPS sigam exatamente os mesmos passos, alguns nomes e itens podem ser aplicados de maneira diferenciada. No entanto, esses princípios podem auxiliar os professores na orientação e planejamento de seus conteúdos de maneira mais organizada, utilizando-os como base para um planejamento mais significativo.

O primeiro passo é a situação inicial, que deve identificar os conhecimentos prévios dos estudantes, ditos subsunçores, que servirão de pontos de ancoragem para o desenvolvimento do tema proposto. Já o segundo passo é a apresentação de uma situação-problema, que deve tomar como base os subsunçores, que são os conhecimentos prévios ou organizadores prévios. Podem ser utilizadas ferramentas como mapas mentais, mapas conceituais, exposição dialogada, questionários, debates, ou ferramentas similares que possibilitem elencar essas informações.

A exposição dialogada é o terceiro passo, na qual deve apresentar o conteúdo a ser ensinado, seguindo a diferenciação progressiva, ou seja, começando pelos aspectos mais gerais, incluindo exemplos de aplicação, e progredindo para o aprofundamento do conteúdo. Em seguida, o quarto passo é propor uma nova problematização, visando resgatar e ancorar o novo conhecimento, sem expô-lo integralmente. Essas situações-problema podem funcionar como organizadores prévios para dar sentido ao novo e permitir o estabelecimento de modelos mentais pelos alunos.

O quinto passo é a avaliação Somática Individual, que trata da avaliação contínua, somativa e individual, relacionada a todas as ações desenvolvidas pelos alunos durante a implementação da UEPS. A avaliação deve conter questões que evidenciem compreensão, captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência. O sexto passo é a aula expositiva dialogada integradora final, que deve proporcionar a continuidade no processo de diferenciação progressiva, retomando as características mais relevantes do conteúdo de forma integradora, buscando a reconciliação integrativa.

O sétimo passo se trata da avaliação da aprendizagem, que enfatiza a importância da realização de uma avaliação analisando o desempenho dos alunos e indícios de que ocorreu uma aprendizagem significativa. Essa avaliação pode ser feita de várias maneiras, levando em conta todo o caminho percorrido para o desenvolvimento do conhecimento pelos alunos. Por fim, o oitavo e último passo, é a avaliação da UEPS, com a finalidade de fechar a construção da unidade considerando todas as experiências que o professor obteve no processo de desenvolvimento e implementação da UEPS, a fim de saber se foi exitosa.

Além dos passos da UEPS, Moreira (2011b) destaca, também, que na exposição dialogada, a diferenciação progressiva é um princípio programático, no qual as ideias mais gerais e inclusivas do conteúdo devem ser apresentadas gradualmente, detalhando e especificando ao longo do processo. O autor ressalta que não se trata de um enfoque dedutivo, mas sim de uma abordagem em que o mais relevante é introduzido desde o início e trabalhado por meio de

exemplos, situações, exercícios utilizando ferramentas que auxiliem o processo de ensino.

As animações e as ferramentas TIC

O conceito de animação é baseado no resultado de vários quadros ou frames, que quando são agrupados em uma sequência lógica e harmônica, passam a sensação de movimento e fluidez ao espectador, ou seja, a junção de vários frames compõem uma cena que, quando são reunidas, compõem um grupo de cenas, que formam uma animação (Tosta, 2018, p. 23). As animações, ao serem utilizadas como recursos tecnológicos e suas diversas aplicações, podem ser fortes aliadas no processo de ensino e aprendizagem, pois segundo Tosta (2018, p. 22), “o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) tornaram-se parte do nosso cotidiano, sendo praticamente imaginável vivermos sem celulares, tablets e computadores”.

Considerando que os estudantes da educação básica vivem em um contexto tecnológico, com o uso intenso de *smartphones* a ponto de dificultar a atuação do professor em sala de aula, utilizar as ferramentas TIC para construção de animações atreladas ao ensino de Química desperta o interesse e a curiosidade, abrindo espaço para a construção do conhecimento. A tecnologia utilizada de forma planejada, pode resultar em materiais potencialmente significativos.

É necessário aprimorar e potencializar a utilização de recursos tecnológicos em sala de aula, para alcançar a geração de estudantes que utiliza a tecnologia como principal, talvez, única forma de entretenimento. “Há muito o que se explorar a partir de animações com explicações apropriadas, cores atrativas e efeitos sonoros” Kumar (2016, p. 392). Além do mais, as animações podem ser incluídas na internet, vídeos interativos, plataformas digitais, celulares, e serem utilizadas como material potencialmente significativo, que é o propósito da UEPS. (Moreira, 2011b; Kumar, 2016; Tosta, 2018).

A equação de Schrödinger e os números quânticos

A equação de Schrödinger é a equação fundamental da Mecânica Quântica e descreve como as funções de onda das partículas evoluem no tempo e fornecem informações sobre as propriedades dessas partículas que são entidades fundamentais descritas pelas leis da mecânica quântica em que, diferentemente das partículas clássicas que possuem trajetórias bem definidas e comportamentos previsíveis, exibem propriedades únicas e contraintuitivas. A versão mais conhecida dessa equação é a independente do tempo, que descreve uma função de onda em um sistema quântico estacionário, sendo assim uma equação diferencial parcial linear que governa a função de onda de um sistema mecânico-quântico. Já a equação dependente do tempo, é usada para descrever a evolução temporal deste sistema estacionário (McQuarrie, 2008).

A solução dessa equação (Equação 1) é bastante versátil, pois além de fornecer a descrição do átomo de hidrogênio na mecânica quântica, que é fundamental para o entendimento

do comportamento das partículas a nível subatômico e prever suas propriedades, sua solução também fornece as funções de onda (orbitais) e os níveis de energia dos elétrons, poços de potencial finito e infinito, osciladores harmônicos, partículas de potencial arbitrário, semicondutores e materiais sólidos, moléculas e ligações químicas. Apesar de possibilitar o cálculo de probabilidades, energias e outras grandezas físicas relacionadas às partículas quânticas, resolver a equação de Schrödinger, para sistemas complexos, pode ser extremamente difícil ou mesmo impossível analiticamente. Nesses casos, utilizam-se métodos aproximados, como a teoria do campo médio ou métodos numéricos avançados (Levine, 2014; Zettili, 2009; McQuarrie, 2008; Shankar, 1994).

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi(\vec{r})+V(\vec{r})\Psi(\vec{r})=E\Psi(\vec{r}) \quad (1)$$

Nessa equação $\hbar$ é a constante de Planck dividida por 2π , ∇^2 é o operador laplaciano da função de onda (Ψ). O potencial $V(\vec{r})$ é dado pelo potencial coulombiano entre duas cargas elementares. As soluções dessa equação são autofunções, cada uma associada a um valor de energia (E), e essas autofunções são caracterizadas por três índices: um para a solução da parte radial (n), um para a parte polar (l) e um para a parte azimutal (m_l). Ainda, para respeitar o Princípio de Exclusão de Pauli, os elétrons precisam ser caracterizados por um quarto índice, já que, de contrário, teríamos dois elétrons no mesmo estado. Esse quarto índice vem da orientação do spin do elétron (s) (McQuarrie, 2008).

Esses quatro índices, que são números naturais (ou semi-inteiros, no caso do s), nessa mesma ordem, receberam os nomes de número quântico principal, secundário, magnético e de spin. Além disso, existem várias formulações diferentes das equações de Schrödinger, que são usadas em diferentes contextos como, por exemplo, a equação de Dirac que, no limite de massa igual a zero, se reduz à equação de Hermann Weyl, que se trata de uma equação de onda relativística que descreve partículas desprovidas de massa com spin $1/2$, denominadas férmions (McQuarrie, 2008).

O índice que representa o número quântico principal (n), possui relação direta com as camadas eletrônicas, pois quanto maior o valor de n , maior é a energia do elétron e mais distante ele está do núcleo (Brown *et al.*, 2016). Já o

número quântico secundário (l), conhecido também como número quântico azimutal, está relacionado ao momento angular do elétron, que descreve o subnível ou orbital do elétron, todavia, vale lembrar que o spin de uma partícula independe se ela está ou não em um orbital. Ele determina a forma tridimensional do orbital e pode ter valores de 0 a $n - 1$. Por exemplo, se $n = 2$, os possíveis valores para l são 0 e 1, correspondendo aos orbitais s e p , respectivamente, e assim por diante (Brown *et al.*, 2016).

Por conseguinte, o número quântico magnético (m_l) descreve a orientação espacial específica do orbital. Ele pode ter valores que variam de $-l$ a $+l$, incluindo zero (Belançon, 2018). Por exemplo, se $l = 1$, os possíveis valores para m são -1 , 0 e $+1$, representando as três orientações espaciais dos orbitais p , de acordo com a Tabela 1.

Além das representações espaciais para as possibilidades nos quatro orbitais, o número quântico de spin (m_s) descreve o sentido de rotação intrínseco do elétron em torno de seu próprio eixo. Ele pode ter dois valores: $+1/2$ ou $-1/2$. Esses valores representam os dois sentidos possíveis de rotação do elétron (Chang, 2010).

Processos metodológicos

Foi utilizada como metodologia as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) (Moreira, 2011b), fundamentadas teoricamente pela Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) (Ausubel, 1982; 2003). A proposta metodológica foi aplicada para uma turma de 27 estudantes do Módulo 1 do curso Técnico em Comércio e desenvolvida a partir de uma página da internet chamada “Quimiquanti”, que foi construída e utilizada como depósito para as animações e materiais de ensino, a qual contém um artigo científico (Belançon, 2018) para a Tertúlia Dialógica Científica (Calzolari *et al.*, 2020), a proposta de sequência didática UEPS (Moreira, 2011b; Merlim *et al.*, 2019) e os questionários para verificação da aprendizagem mista (Zabala, 1998), observando as evidências de aprendizagem significativa (Moreira, 2011a). As etapas de aplicação da metodologia estão dispostas na Figura 1.

A UEPS foi aplicada em seis aulas, divididas em oito etapas com a finalidade de promover uma aprendizagem significativa do conteúdo de números quânticos, a qual foi

Tabela 1: Relação entre os números quânticos e os orbitais. Fonte: Autores (2023), adaptado de Belançon (2018).

n	l	m_l	m_s	Orbital
1	0	(0)	($\uparrow\downarrow$)	1s ²
2	0	(0)	($\uparrow\downarrow$)	2s ²
2	1	(-1, 0, 1)	($\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$)	2p ⁶
3	0	(0)	($\uparrow\downarrow$)	3s ²
3	1	(-1, 0, 1)	($\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$)	3p ⁶
3	2	(-2, -1, 0, 1, 2)	($\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$)	3d ¹⁰
4	3	(-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)	($\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$, $\uparrow\downarrow$)	4f ¹⁴

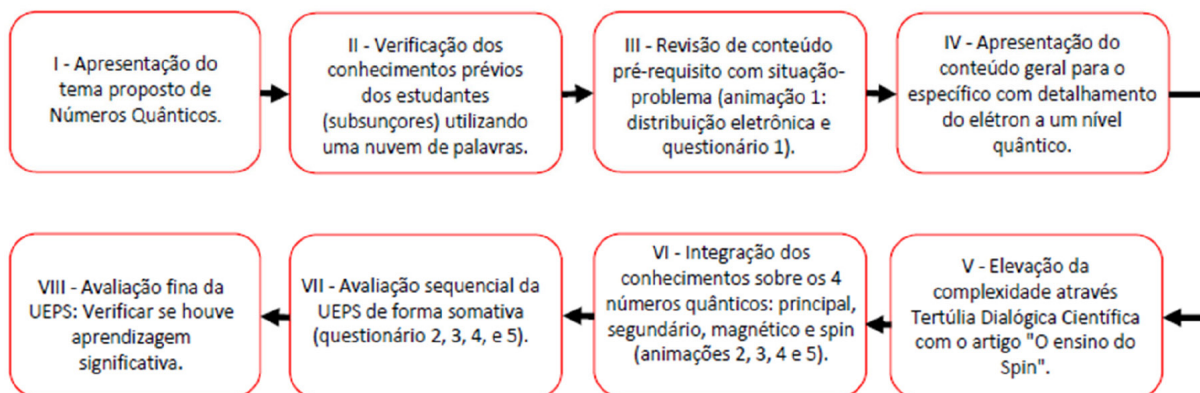


Figura 1: Etapas de a aplicação da UEPS. Fonte: Autores (2023), adaptado de Moreira (2011b) e Merlim *et al.* (2019).

medida por questionários utilizados como ferramenta de coleta de dados para tabulação dos resultados de aprendizagem num total de 25 questões de Química, abordando: estrutura atômica, níveis, subníveis de energia e os números quânticos, considerando os princípios de máxima multiplicidade e de exclusão de Pauli, além da percepção dos indícios de aprendizagem durante toda a aplicação da metodologia.

Toda a proposta metodológica passou por processo de validação com os pares (11 professores) da área de Ciências da Natureza. Além disso, o projeto de pesquisa relacionada à metodologia foi submetido ao Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) e aprovado sob o número 6.273.070 e Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) número 71065123.9.0000.5072, com toda documentação e os termos necessários. A aplicação da metodologia foi realizada após a aprovação no CEP e assinatura dos termos pelos participantes.

Resultados e discussão

Para aplicação da proposta metodológica UEPS, foi necessário realizar o acesso a uma página da internet, criada especificamente como material potencialmente significativo com acesso livre, intitulada “Quimi quanti”, conforme disposto na Figura 2.



Figura 2: Vista da página inicial da página “Quimi quanti”. Fonte: Autores (2023). Disponível em: <https://sites.google.com/view/numerosquanticos/inicio>

No primeiro momento, após o estudantes terem realizado o acesso e feitas as orientações relacionadas aos comandos da página, foi iniciada a primeira e a segunda etapa da metodologia, apresentando o tema proposto de Números Quânticos (etapa 1) e verificação dos subsunoçores (etapa 2), por meio de uma nuvem de palavras (Figura 3), na qual, os estudantes expuseram os assuntos e temas que já tinham ouvido falar anteriormente ou que eles já possuíam algum conhecimento prévio advindo do cotidiano.



Figura 3: Verificação dos subsunoçores utilizando nuvem de palavras. Fonte: Autores (2023).

Os estudantes inseriram palavras de cunho relevante para o assunto principal da pesquisa, pois, segundo eles, enfatizaram os conhecimentos prévios de conteúdos escolares e do cotidiano. Foi possível observar diversas palavras relacionadas ao estudo do átomo e suas características, nas quais os estudantes expuseram para toda a turma de que forma aprenderam e/ou qual a proveniência de cada conhecimento prévio inserido na nuvem de palavras.

Todos os estudantes participaram trazendo seus conhecimentos prévios e assim foi possível perceber indícios da aprendizagem significativa baseados nos termos diretamente relacionados ao tema principal (Moreira e Masini, 2006), utilizados como organizadores prévios que serviram de pontos de ancoragem para o aprofundamento do tema e inserção dos conceitos subsequentes.

Na terceira etapa, foi realizada a revisão do conteúdo de distribuição eletrônica contemplado na primeira animação, de acordo com a Figura 4.



Figura 4: Estudantes acessando as animações. Fonte: Autores (2023).

Após os estudantes assistirem à animação, foi realizada a avaliação por meio de questionário com questões objetivas, contemplando o conteúdo de distribuição eletrônica e camadas eletrônicas. Como cada um dos estudantes acessaram à animação de forma individual, todos com um fone de ouvido, foi possível perceber que alguns estudantes assistiram-na mais de uma vez, a fim de compreender todos os conceitos abordados para posterior resolução do questionário de verificação da aprendizagem (Figura 5), que deve ser predominantemente formativa e recursiva, ou seja, é necessário buscar evidências de aprendizagem significativa, ao invés de querer determinar se ocorreu ou não (Moreira, 2011a). O autor ainda enfatiza que é importante a recursividade, permitindo que o aprendiz refaça, mais de uma vez se for o caso, as tarefas de aprendizagem. É importante que os estudantes externalizem os significados que estão captando, que expliquem e justifique suas respostas.

As respostas dos questionários respondidos pelos estudantes, após assistirem à animação, foram disponibilizadas no menu de resultados, que possibilitaram a análise e comparação dos níveis de aprendizado dos estudantes de acordo com a quantidade de acertos. Em seguida, na quarta etapa, foi realizada a abordagem e discussão do tema, elevando-o a um nível mais específico, tendo como base a teoria, disponível na página.

Uma das aplicações mais recente do xenônio, que possui número atômico 54, foi feita em faróis de veículos. A vantagem é que o dispositivo passa a iluminar três vezes mais, e ainda consome 40% menos de bateria do que os faróis comuns, além de conferir um ar esportivo nos veículos. Considerando os dados do texto, a distribuição eletrônica do xenônio termina em

- ☐ 4d¹⁰, 5p⁶
- ☐ 3d¹⁰, 4p⁶
- ☐ 3d¹⁰, 4d⁶
- ☐ 4s², 3d⁶
- ☐ 4d⁶, 5p⁶



A imagem abaixo possui informações sobre o gás nobre Og (oganessonônio).

O conjunto dos quatro números quânticos do último elétron do oganessonônio são, respectivamente

118 (294)

Og

[Rn]5f¹⁴6d¹⁰7s²7p⁶

☐ n=7, ℓ=1, m=+1, ms=+1/2

☐ n=6, ℓ=3, m=+2, ms=-1/2

☐ n=5, ℓ=0, m=+1, ms=-1/2

☐ n=5, ℓ=1, m=+3, ms=+1/2

☐ n=6, ℓ=2, m=+2, ms=+1/2

Camadas ou níveis Subníveis (s, p, d ou f)

K	1	1s ²
L	2	2s ² 2p ⁶
M	3	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰
N	4	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴
O	5	5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ¹⁴
P	6	6s ² 6p ⁶ 6d ¹⁰
Q	7	7s ² 7p ⁶

O elemento titânio (Z=22) é empregado na produção de ϵ possui características de alta resistência ao calor gerado o ar, devido as altas velocidades alcançadas pelos caças geração, assim como também é um material considerado densidade), em relação aos outros metais.

Com relação ao titânio, pode-se afirmar que a sua distrib

Os estudantes foram orientados a acessar à aba do embasamento teórico, a qual foi utilizada para uma explicação mais específica do tema de Números Quânticos, detalhando o que foi apresentado na primeira etapa, de maneira expositiva e dialogada, deixando também explícitas as competências específicas relacionadas ao conteúdo. Não se tratou apenas de um enfoque dedutivo, mas sim, de uma abordagem na qual os pontos mais relevantes foram introduzidos a partir do que foi proposto desde o início (Moreira, 2011a).

A quinta etapa, cujo tema foi elevado a um nível mais complexo, contemplou-se a realização da Tertúlia Dialógica Científica (Figura 6), na qual houve participação unânime dos estudantes. Essa etapa foi realizada com a leitura inicial do artigo “O ensino do spin: uma abordagem integrada a tecnologia e sociedade” (Belançon, 2018) e, subsequentemente, a discussão.

O artigo foi disponibilizado, previamente, para que os estudantes realizassem a leitura (a maioria dos estudantes optou pelo texto impresso, para realização de marcações dos trechos mais relevantes) e, no momento da Tertúlia, sob forma ordenada de cada fala durante a discussão do tema, todos levantaram questões que possibilitaram a participação coletiva da construção do conhecimento acerca do conteúdo proposto de forma contextualizada, levantando situações-problema voltadas para a aplicação e utilização da Química Quântica a nível de elétron e suas contribuições para a tecnologia e sociedade.

Alguns levantamentos relevantes feitos durante a realização da Tertúlia, dentro do tema proposto, estão transcritos a seguir:

“Quando a gente fala de elétron, o que me vem à cabeça é a eletricidade, tipo essa que chega nas casas para ligar a luz, televisão, geladeira e outras coisas que temos em casa” (sic) (E11).

“Esse tal de magnetismo me lembra muito aqueles metais que atraem o ferro” (sic) (E23).

“Acho que você quis dizer ímã, né? Uma vez eu vi um vídeo falando sobre um tipo de Trem que levita

Figura 5: Vista parcial dos questionários de verificação da aprendizagem. Fonte: Autores (2023). Disponível em: <https://sites.google.com/view/numerosquanticos/in%C3%ADcio>



Figura 6: Realização da Tertúlia Dialógica Científica. Fonte: Autores (2023).

sobre os trilhos, pois ele tem ímãs nos trilhos. Eles andam muito rápido, acho que a mais de 400 km/h, eu acho” (sic) (E10).

“As bússolas funcionam como um ímã, que apontam pra um lado da terra. Era assim que as pessoas conseguiam ir para os lugares antigamente. Hoje é tudo facinho, só olhar no gps” (sic) (E13).

“Sei lá, vêi! Será que os spins, que tem no artigo, tem a ver com os celulares quando a gente toca na tela?” (sic) (E21).

“Parece aquele filme do Homem Formiga, que eles vão para o mundo Quântico, mas lá tem um monte de pessoas muito pequenas e monstros que lutam com eles” (sic) (E8).

As falas dos estudantes sobre o tema, durante a realização da Tertúlia, possibilitaram a contextualização da temática, sendo possível observar evidências da aprendizagem significativa, pois foram capazes de relacionar a teoria com situações reais do cotidiano (Moreira, 2011a), visto que o ensino de números quânticos, que está atrelado à estrutura atômica, possui conceitos extremamente teóricos. Também foi possível perceber uma abordagem interdisciplinar, em que alguns estudantes relacionaram o tema com conceitos oriundos da disciplina de Física.

Pautado nas observações e comentários dos estudantes registrados no diário de bordo durante a realização dessa etapa, foi possível alcançar o objetivo proposto para a Tertúlia Dialógica Científica, que se trata de um tipo de Atuação Educativa de Êxito voltada para práticas educativas, com o objetivo de demonstrar resultados que busquem a máxima aprendizagem de um conteúdo ou tema proposto (Calzolari *et al.*, 2020).

Após a Tertúlia, foi realizada, na sexta etapa, a integração dos conteúdos sobre os quatro números quânticos, assistindo às animações sobre os números quânticos principal, secundário, magnético e spin. Para cada animação que foi assistida, foi respondido um questionário sobre cada número quântico, cujos resultados foram coletados via formulário e disponibilizados, instantaneamente (Figura 7), conforme proposto na sétima etapa.

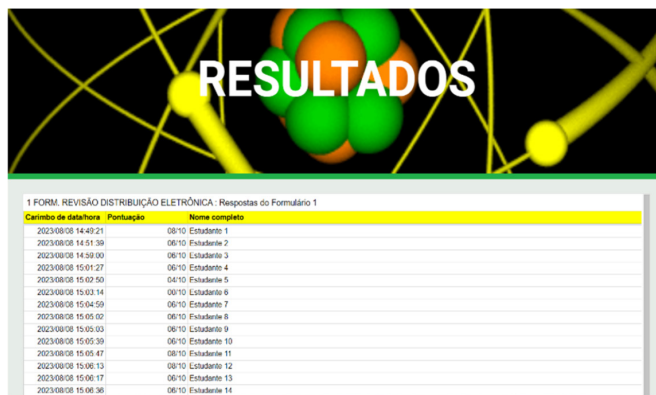


Figura 7: Resultados dos questionários avaliativos. Fonte: Autores (2023).

As respostas foram coletadas em tempo real após a finalização de cada questionário e utilizadas para verificação da aprendizagem, para saber se a UEPS foi exitosa, representada pela etapa 8, que foi a última etapa da UEPS.

Na tabulação dos resultados dessa etapa, na qual os nomes dos estudantes foram substituídos pelos termos “E1” ao “E27”, foi possível verificar o desempenho (Figura 8) referente aos resultados coletados nos questionários sobre distribuição eletrônica e dos quatro números quânticos.

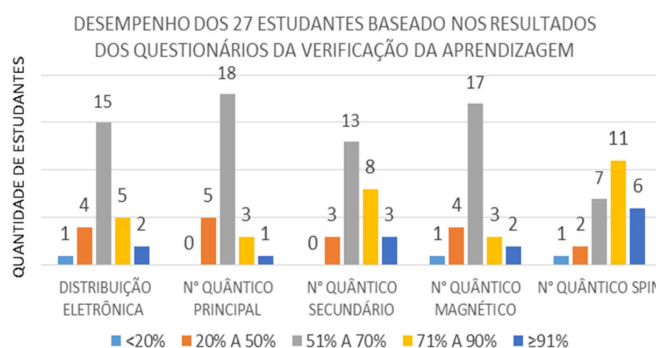


Figura 8: Gráfico de desempenho dos estudantes nos questionários referente às animações. Fonte: Autores (2023).

Foi possível detectar por meio dos formulários de verificação da aprendizagem, que 1 estudante obteve um desempenho <20%, 4 estudantes entre 20% e 50%, 15 estudantes com desempenho entre 51% e 70%, 5 estudantes com desempenho entre 71 e 90%, e com desempenho em níveis mais elevados, 2 estudantes alcançaram acertos ≥91%. É importante observar que baixos níveis de compreensão do conteúdo de distribuição eletrônica implicam diretamente no aprendizado dos números quânticos, pois para determiná-los é necessário distribuir corretamente os elétrons e entender os níveis e subníveis de energia.

Já na verificação da aprendizagem do número quântico principal, foi possível detectar que não houve estudante com desempenho <20%. Foram detectados 5 estudantes com desempenho entre 20% e 50%, 18 estudantes entre 51% e 70%, 3 estudantes entre 71 e 90% e, por fim, 1 estudante com desempenho ≥91%. Nesse caso, como na verificação do conteúdo pré-requisito de distribuição eletrônica,

percebeu-se que a maior parte dos estudantes alcançaram nível de aprendizagem entre 51% e 70%.

Na verificação da aprendizagem do número quântico secundário azimutal, foi possível perceber um aumento na quantidade de estudantes com desempenho entre 71% e 90%. Foram tabulados 0, 3, 13, 8 e 3 para os níveis de desempenho <20%, entre 20% a 50%, 51% a 70%, 71% a 90% e ≥91%, respectivamente. Novamente, não houve estudante com desempenho abaixo de 20%.

Os resultados referentes ao número quântico magnético, o qual exige maior quantidade de informações e conceitos para determinação do elétron em um dado orbital, foi possível detectar que, novamente 1 estudante alcançou desempenho <20% na verificação da aprendizagem, 4 estudantes entre 20% e 50%, entretanto, com 17 estudantes, ainda predominou perante aos demais níveis de aprendizagem, o desempenho entre 51% e 70%. Já os dois últimos níveis de aprendizagem, entre 71% e 90% e os que obtiveram desempenho ≥91%, foram alcançados por 3 e 2 estudantes, respectivamente.

Os resultados do último número quântico, denominado número quântico spin, foi possível observar 1 estudante com desempenho <20%, 2 estudantes entre 20% e 50%, 7 estudantes entre 51% e 70%, 11 estudantes entre 71% e 90% e, por fim, 6 estudantes com desempenho ≥90%. É necessário ressaltar que o número quântico spin, que representa o sentido de sua rotação, exige menos detalhes para ser determinado a nível de ensino médio, sendo assim, foi possível detectar mais estudantes com desempenho entre 71% e 90% do que entre 51% a 70%, como ocorreu nos demais resultados.

A avaliação geral da aprendizagem foi realizada a partir das duas etapas da avaliação mista, considerando 50% da nota atribuída para a participação dos estudantes na etapa de discussão do tema durante a UEPS, subsunçores, Tertúlia Dialógica Científica e frequência durante as etapas. Nessa etapa todos os alunos participaram e obtiveram desempenho máximo na primeira metade da pontuação. Os outros 50% foram atribuídos a nota média dos resultados dos 5 questionários de verificação da aprendizagem referente às 5 animações, sendo uma delas sobre distribuição eletrônica e as outras quatro sobre os números quânticos. Sendo assim, analisando rendimento total, por estudante, pôde-se observar ainda mais detalhadamente o desempenho individual em função do nível de aprendizagem, conforme a Figura 9.

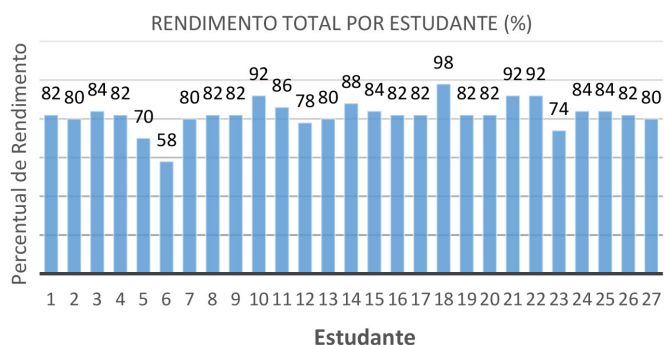


Figura 9: Gráfico do rendimento total por estudante. Fonte: Autores (2023).

Observando o desempenho geral de cada estudante e que o conteúdo de números quânticos, no campo da Química, traz consigo um nível detalhado de informações necessárias à sua compreensão, é possível observar que o estudante 6 alcançou um baixo desempenho (<60%), que teve relação com o desempenho menor que 20% em 3 dos 5 questionários, que foi o de distribuição eletrônica, número quântico magnético e o número quântico spin. Se não há compreensão e assimilação da configuração eletrônica dos elementos, não é possível compreender os números quânticos, a regra de Hund e o princípio de exclusão de Pauli com clareza. Os demais estudantes obtiveram rendimentos iguais ou acima de 70%, entretanto, dois estudantes se sobressaíram, alcançando o nível de desempenho mais alto (≥91%).

Fazendo um comparativo entre os resultados de verificação da aprendizagem mista (Zabala, 1998), que contemplou a avaliação dos resultados qualitativos e quantitativos durante todas as etapas de desenvolvimento da UEPS (Moreira, 2011b) e os resultados apenas das etapas quantitativas, que foram os questionários de distribuição eletrônica e dos quatro números quânticos, foi possível identificar uma diferença entre os métodos de avaliação (Figura 10).

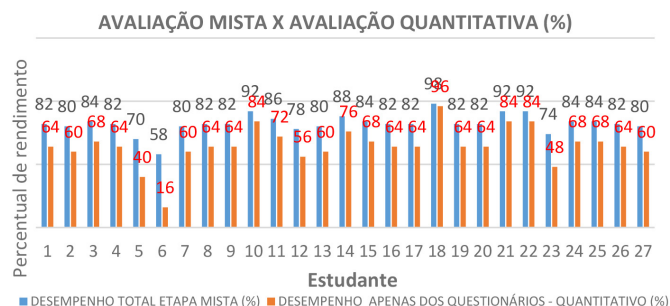


Figura 10: Gráfico comparativo entre a etapa de avaliação mista e a etapa quantitativa. Fonte: Autores (2023).

Foi possível verificar que os melhores resultados de aprendizagem foram os da avaliação com abordagem mista, qualitativa e quantitativa, que evidenciou que a UEPS foi exitosa. A avaliação é considerada como um instrumento sancionador e qualificador, em que o sujeito da avaliação é o aluno e o objeto da avaliação são as aprendizagens realizadas de acordo com os objetivos propostos em todas as etapas (Tabela 2) e de maneiras diversificadas (Zabala, 1998).

Os resultados de todas as etapas da metodologia, tanto das etapas qualitativas durante a aplicação, quanto na etapa quantitativa, referente aos questionários com questões sobre distribuição eletrônica e os quatro números quânticos foram coletados e tabulados, o que viabilizou a verificação da aprendizagem dos estudantes em todas as etapas da aplicação da UEPS de maneira detalhada.

Além das evidências de aprendizagem significativa (Moreira, 2011a) voltadas para a diferenciação progressiva como forma de traçar relações de significado com situações cotidianas e emergindo delas conceitos científicos que podem ir do mais geral aos mais específicos, foi possível encontrar aproximações com os resultados de Gomes e Souza (2023),

Tabela 2: Tabulação dos resultados de todas as etapas da metodologia. Fonte: Autores (2023).

Estudante	Participou da discussão do tema? (12,5 = SIM; 0 = NÃO)	Trouxe algum Subsuncor? (12,5 = SIM; 0 = NÃO)	Participou da Tertúlia (12,5 = SIM; 0 = NÃO)	Frequência durante as UEPS? (12,5 = 100%)	Quest. 1 - Dist. Eletrônica	Quest. 2 - N° Q. Principal	Quest. 3 - N° Q. Secundário	Quest. 4 - N° Q. Magnético	Quest. 5 - N° Q. Spin	Desempenho quantitativo apenas dos questionários	Desempenho total etapa mista - qualitativa e quantitativa
E1	12,5	12,5	12,5	12,5	80%	60%	60%	60%	60%	64%	82%
E2	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	60%	60%	80%
E3	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	80%	60%	80%	68%	84%
E4	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	80%	64%	82%
E5	12,5	12,5	12,5	12,5	40%	40%	40%	40%	40%	40%	70%
E6	12,5	12,5	12,5	12,5	0%	40%	40%	0%	0%	16%	58%
E7	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	60%	60%	80%
E8	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	80%	64%	82%
E9	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	80%	60%	60%	64%	82%
E10	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	100%	100%	100%	84%	92%
E11	12,5	12,5	12,5	12,5	80%	80%	80%	60%	60%	72%	86%
E12	12,5	12,5	12,5	12,5	80%	60%	60%	40%	40%	56%	78%
E13	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	40%	80%	60%	80%
E14	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	100%	60%	100%	76%	88%
E15	12,5	12,5	12,5	12,5	80%	60%	80%	60%	60%	68%	84%
E16	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	80%	64%	82%
E17	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	80%	64%	82%
E18	12,5	12,5	12,5	12,5	80%	100%	100%	100%	100%	96%	98%
E19	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	80%	64%	82%
E20	12,5	12,5	12,5	12,5	40%	40%	80%	60%	100%	64%	82%
E21	12,5	12,5	12,5	12,5	100%	80%	80%	80%	80%	84%	92%
E22	12,5	12,5	12,5	12,5	100%	80%	80%	80%	80%	84%	92%
E23	12,5	12,5	12,5	12,5	40%	40%	40%	40%	80%	48%	74%
E24	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	100%	68%	84%
E25	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	100%	68%	84%
E26	12,5	12,5	12,5	12,5	40%	40%	80%	80%	80%	64%	82%
E27	12,5	12,5	12,5	12,5	60%	60%	60%	60%	60%	60%	80%

que trouxe evidências de aprendizagem semelhantes em que os estudantes, que inicialmente não conseguiram compreender e relacionar conceitos científicos mais específicos, durante as abordagens no decorrer da UEPS, obtiveram aproximações dos termos específicos do conteúdo, relacionando o tema proposto com situações reais do cotidiano.

O uso do material potencialmente significativo incluindo as animações para o ensino dos números quânticos despertaram maior interesse dos estudantes, baseado nos resultados de aprendizagem de conceitos químicos de nível submicroscópico, coletados nos questionários referentes ao conteúdo das animações. Esses resultados convergiram com Gomes e Souza (2023), que com o uso das ferramentas TICs no ensino de Química dentro da temática de oxirredução na aplicação da UEPS, oportunizou aos participantes o interesse que viabilizou a assimilação dos conceitos nos diferentes níveis de representação do conhecimento químico, tanto

no submicroscópico, quanto no macroscópico e simbólico.

Também pôde ser observado que 96% (26 dos 27 estudantes) compreenderam satisfatoriamente a temática, baseado nos resultados de desempenho geral dos estudantes, semelhante aos resultados obtidos por Ferreira *et al.* (2020), que evidenciou indícios de aprendizagem significativa durante a aplicação de uma UEPS sobre Óptica geométrica, na qual 86% dos estudantes responderam aos questionários de forma satisfatória.

Conclusão

Os resultados indicaram, em diversos momentos, indícios de aprendizagem significativa durante a aplicação da metodologia, destacando a necessidade de sempre utilizar estratégias diferenciadas para apoiar aqueles que enfrentam dificuldades de assimilação de conteúdo específico e isso

inclui a importância do ensino progressivo, como foi realizada na abordagem sobre distribuição eletrônica, antes de abordar tópicos mais avançados como números quânticos.

Além disso, a pesquisa ressaltou a importância de uma avaliação mista, combinando avaliações qualitativas e quantitativas para obter uma imagem completa do progresso dos estudantes. Isso é importante para identificar lacunas e orientar os estudantes de forma mais eficaz, além da necessidade de adaptar abordagens de ensino para atender às necessidades individuais dos estudantes e despertar o interesse pelo tema, especialmente em disciplinas complexas como a Química, na qual a compreensão de conceitos prévios é fundamental.

Por fim, a pesquisa destacou que a complexidade de ensinar tópicos específicos, como números quânticos, pode ser facilitada utilizando materiais de ensino atrativos, como o uso de ferramentas TIC e animações, atrelados a métodos de

avaliações abrangentes dentro de metodologias consistentes como a UEPS.

Fabrizio Rodrigues Pereira (fabrizio.r.pereira@gmail.com) é licenciado e bacharel em Química pela Faculdade de Tecnologia FAESA, especializado em Engenharia de Produção pela Faculdade de Tecnologia FAESA, mestre em Química pelo IFES e doutorando em Química pela UFES. Atualmente é professor da Secretaria de Estado da Educação do Espírito Santo-SEDU, Vila Velha, ES – BR. **Bruno Magela de Melo Siqueira** (brunosiq15@gmail.com) é licenciado em Química pelo IFES, mestre em Bioquímica e Farmacologia pela UFES e doutor em Química na área de Ensino de Química pela UFES, Vitória, ES – BR. **Wanderson Romão** (wanderson.romao@ifes.edu.br) é licenciado e bacharel em Química pela UFES, mestre em Físico-Química e doutor em Ciências, ambos pela UNICAMP. Atualmente é docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Química da UFES e diretor de pesquisa do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vila Velha, ES – BR. **Paulo Rogério Garcez de Moura** (paulomoura.ufes@gmail.com) é bacharel em Química e especialista em Educação pela UNICRUZ, mestre em Filosofia pela UFSM e doutor em Educação em Ciências pela UFRGS. Atualmente é professor na UFES. Vitória, ES – BR.

Referências

AUSUBEL, D. P. *A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982.

AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano, 2003.

BELANÇON, M. P. O ensino do spin: uma abordagem integrada a tecnologia e a sociedade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 4, e5402, 2018.

BROWN, T., LEMAY, H. E. e BURSTEN, E. *Química: a ciência central*. 13ª ed. Prentice-Hall, 2016.

CALZOLARI, A.; BATISTETI, E. N. e MELO, R. R. Tertúlia Dialógica Científica: atuação Educativa de êxito para educação Científica e Tecnológica. *Dialogia*, v. 36, p. 441-457, 2020.

CHANG, R. *Química Geral: Conceitos Essenciais*. São Paulo: McGraw-Hill, 2010.

KUMAR, B. S. 3D Animation as an Effective Learning Tool. *International Research Journal of Engineering and Technology*, v. 31, n. 11, 392-394, 2016.

FERREIRA, M. L. G. *Uma proposta de Ensino baseada nos saberes locais para a promoção da Aprendizagem Significativa em Química*. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; MOREIRA, M.A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O. e NOGUEIRA, D. X. P. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 42, e20200057, 2020.

GOMES, D. C. e SOUZA, K. S. Unidades de Ensino

Potencialmente Significativas (UEPS) e a Aprendizagem da Oxirredução. *Revista REAMEC*, v. 11, n. 1, e23004, 2023.

LEVINE, I. N. *Química Quântica: Fundamentos e Aplicações Modernas*. Porto Alegre: Bookman, 2014.

MCQUARRIE, D. A. *Quantum Chemistry*. 2ª ed. Mill Valley (California, EUA): University Science Books, 2008.

MERLIM, R. S.; SARAIVA, V. S. M.; MENEGUELLI, D. C. S.; MACHADO, C. H. e CALDAS, R. L. Unidade de ensino potencialmente significativa: análise da aplicação sobre efeito fotoelétrico. *Revista Thema*, v. 16, n. 2, p. 284-300, 2019.

MOREIRA, M. A. Afinal o que é Aprendizagem Significativa? *Revista Currículo*, v. 25, p. 29-56, 2012.

MOREIRA, M. A. e MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. 2ª ed. São Paulo: Centauro, 2006.

MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Gen, 2011a.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011b.

SHANKAR, R. *Principles of Quantum Mechanics*. Berlim: Springer Science & Business Media, 1994.

TOSTA, L. F. *Desenvolvimento de animações 3D como ferramentas didáticas para o ensino de química*. Dissertação de Mestrado em Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

ZABALA, A. A avaliação. In: *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZETILLI, N. *Quantum Mechanics: Concepts and Applications*. Hoboken (Nova Jersey, EUA): John Wiley & Sons, 2009.

Abstract: *Potentially Meaningful Teaching Units - PMTU: an approach to the theme of quantum numbers using ICT tools and animations.* This study investigated the effectiveness of teaching quantum numbers, included in the Potentially Meaningful Teaching Units (PMTU) methodology using animations. Quantum mechanics, focusing on the electronic level, was approached in a contextualized way within the scope of this research, which is based on the production, validation and application of teaching material using information and communication technology (ICT) tools, linked to meaningful learning theory (MLT). The objective was to promote meaningful learning of specific concepts, on the subject of quantum numbers, taking into account their previous knowledge, called subsumers. The research related to the concepts of electronic distribution and electronic layers with the main, secondary (or angular momentum), magnetic quantum number and electronic spin. The analysis of the results was carried out using a mixed approach, which showed evidence of significant learning in the qualitative stages based on the relationships established by the students between the proposed theme and different real everyday situations, as well as the results of Ferreira *et al.* (2020), and in the quantitative stage, 96% of students achieved satisfactory learning results in the questionnaires, as well as the results of Gomes and Souza (2023).

Keywords: Chemistry teaching, meaningful learning, information and communication technology