



ENSINO SIGNIFICATIVO DE ENERGIA ELÉTRICA USANDO REPARO DE LÂMPADAS LEDS

PROPOSAL FOR SIGNIFICATIVE LEARNING OF ELECTRIC ENERGY THROUGH LED LAMPS REPAIR

CLAUDIO MENEZES ^{*1}, MARCELO OLIVEIRA DA COSTA PIRES  ^{†1}

¹Universidade Federal do ABC - UFABC

Resumo

O relatório do IPCC (2023) alerta para a necessidade urgente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa para evitar um aumento médio de 2°C na temperatura global em menos de uma década. Este aumento intensifica eventos climáticos extremos, como enchentes e secas. A recomendação é a substituição de matrizes energéticas baseadas em combustíveis fósseis por fontes sustentáveis como solar, eólica e hidrogênio. Por outro lado, uma ação de consciência individual é crucial para um uso crítico e sustentável da energia, o que exige conhecimento científico, que pode ser promovido nas escolas. O ensino de física, especialmente eletrodinâmica, pode incentivar reflexões críticas sobre consumo energético e sustentabilidade. Nesse contexto, foi desenvolvida uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) com oito aulas, incluindo experimentos, vídeos e uma oficina técnica para habilitar de forma dialógica e problematizadora o reparo de lâmpadas LED. Essa proposta foi aplicada a alunos do 2º ano do ensino médio em Mauá, integrando ciência e sustentabilidade para promover uma aprendizagem significativa. A avaliação dessa aplicação foi positiva por indicar nos alunos a aprendizagem significativa sobre o assunto após eles terem participado da sequência de aulas e propiciar a significação da importância da sustentabilidade nos alunos.

Palavras-chave: Eletrodinâmica. Uso sustentável. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. Lâmpadas de Led. Transporte eletrônico.

*c_menezes2012@hotmail.com

†marcelo.pires@ufabc.edu.br

Abstract

The IPCC report (2023) warns of the urgent need to reduce greenhouse gas emissions to prevent an average global temperature rise of 2°C within less than a decade. Such an increase intensifies extreme weather events, such as floods and droughts. The recommendation involves replacing fossil fuel-based energy matrices with sustainable sources like solar, wind, and hydrogen. On the other hand, individual awareness is crucial for critical and sustainable energy use, which requires scientific knowledge promoted in schools. Physics education, particularly electrodynamics, can encourage critical reflections on energy consumption and sustainability. In this context, a Potentially Significant Teaching Unit (PSTU) was developed, comprising eight lessons that included experiments, videos, and a technical workshop designed to dialogically and problematically train students in LED lamp repair. This proposal was applied to 12th-grade students in Mauá, integrating science and sustainability to promote meaningful learning. The assessment of this application was positive, as it indicated that students achieved meaningful learning on the topic after participating in the lesson sequence and fostering the understanding of the importance of sustainability among students.

Keywords: *Electrodynamics. Sustainable uses. Potentially Significant Teaching Unit. Led lamps. Electronic transport.*

I. INTRODUÇÃO

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) apresentou, em 2022, um relatório alertando os governos a regularem e reduzirem imediatamente o uso de fontes energéticas que emitem gás carbônico e gases de efeito estufa (IPCC, 2023). Se o mundo continuar com nível atual de emissão desses gases, em menos de uma década a Terra terá um aumento da média da temperatura global de 2°C. O prelúdio das consequências desse aumento começam a ser sentidas com uma frequência maior de eventos climáticos extremos (HANSEN, 2022). Afinal, tufões, enchentes, secas prolongadas são manchetes semanais de jornais e portais de informação. Confiando na ciência, os governos devem revisar e transformar o uso de suas respectivas matrizes energéticas para a produção com baixa emissão de gases evitando, com isso, o consumo de carvão e combustíveis fósseis (IPCC, 2023). Dessa forma, devem substituir as fontes de energia tradicionais por fontes energéticas de baixo carbono como energia gerada por fonte eólica, solar, célula de hidrogênio ou hidrelétrica. Se por um lado, está claro o que deve ser feito para mitigar os efeitos da emissão de gases de efeito estufa, por outro os custos dessas energias limpas são altos. Seja para ter uma infraestrutura para geração, como as hidrelétricas e as eólicas, como o desenvolvimento tecnológico necessário para desenvolver usinas com fontes renováveis. Além disso, o próprio relatório da IPCC traz a possibilidade de construir uma cadeia econômica de geração sustentável de energia, porém não informa que, para tanto, deve-se destruir a cadeia econômica de produção tradicional já estabelecida. Como resultado, a humanidade está em uma encruzilhada onde o custo de eliminar a cadeia econômica de

produção energética tradicional é alto e poucos países, inclusive as grandes potências, estão dispostos a fazer (CASTRO et al., 2024).

Devido à condição de país em desenvolvimento, o Brasil constitui-se de uma sociedade desigual em que a redução ou substituição de fontes energéticas irá afetar camadas da sociedade mais vulneráveis economicamente (LIMA, 2012). Certamente o custo dessa mudança virá na conta de luz do cidadão comum. Para essa população, a situação agrava-se na medida que o desenvolvimento social necessário para mudar a realidade necessita de fontes energéticas. Seja na periferia das grandes regiões metropolitanas, seja nos confins dos estados mais vulneráveis da federação, o desenvolvimento social está ligado ao desenvolvimento econômico e esse, invariavelmente, depende das fontes energéticas. Se por um lado o uso atual das fontes energéticas leva a um futuro certo da civilização que aumentará mais ainda as distâncias entre as camadas sociais, por outro o não uso impede o desenvolvimento econômico necessário para mudar a realidade da população mais marginalizada. Nesse cenário, faz-se fundamental repensar o uso da energia elétrica e de que modo pode-se, com o conhecimento científico, usar essa energia de forma racional e crítica (PNE2050, 2020).

O uso crítico e racional das fontes energéticas para o desenvolvimento econômico e, ao mesmo tempo, de forma sustentável exige o encontro do cidadão com um conhecimento mínimo sobre a ciência. Com base nisso, a escola desempenha um papel fundamental ao proporcionar esse aprendizado. Porém, para que esse encontro seja efetivo, o cidadão deve ser crítico e se basear em conhecimentos prévios presentes na própria escola. Entender o que os líderes mundiais costumam a entender e agir, de forma consciente, pode partir do ambiente escolar.

A área do conhecimento em que o aluno pode discutir sobre consumo de energia elétrica de forma sustentável é a física. Em especial, levanta-se, com esse trabalho, a possibilidade do estudo da eletrodinâmica e do transporte eletrônico em fornecer o conhecimento inicial para que o aluno seja crítico em relação ao consumo de energia elétrica e as ações que podem ser feitas para contribuir, de modo consciente, com a questão da sustentabilidade. Dessa maneira, fomenta-se a necessidade de compreensão por parte dos alunos para equilibrar a sustentabilidade com o desenvolvimento econômico de sua comunidade.

A aprendizagem significativa proposta por Ausubel (MOREIRA, 1999) mostra-se adequada para essa possibilidade, pois considera a existência de uma estrutura cognitiva dos alunos na qual ocorre a organização e a integração dos conhecimentos e a aprendizagem como sendo uma constante interação entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios de cada indivíduo. De modo metodológico, Moreira (2011) aperfeiçoa e materializa a aprendizagem significativa com uma proposta facilitadora de uma aprendizagem significativa constituída de uma sequência de aulas conhecida como Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.

Para tanto, desenvolve-se, nesse trabalho, uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino de transporte eletrônico agregado à discussão da sustentabilidade e ao uso consciente e crítico de energia elétrica. A UEPS é composta de 08 aulas apoiadas por dois experimentos sendo que um deles possui um caráter do cotidiano para o aluno onde possa caracterizar e reparar lâmpadas LED, uma simulação, um vídeo e uma oficina técnica integradora. A UEPS foi aplicada em cinco turmas de 2º ano do ensino médio na cidade de Mauá.

No presente trabalho, faz-se uma introdução na seção I. O conteúdo de transporte eletrônico e seu contexto na produção, transporte e uso de energia elétrica, bem como seu uso para proporcionar o funcionamento de dispositivos eletroeletrônicos, é desenvolvido na seção II. A metodologia adotada para a problematização e a aprendizagem significativa é tratada na seção III. A UEPS é descrita na seção IV e os principais resultados e a análise de dados da pesquisa estão na seção V. Finaliza-se com uma conclusão na seção VI.

II. ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica está presente no vocabulário dos alunos do Ensino Médio. Porém o entendimento sistematizado do conceito sobre energia elétrica contida no currículo escolar está distante desse entendimento não formal (MIRANDA, 2020). Nessa seção, apresenta-se uma maneira sistematizada, como um guia de estudos ao professor do ensino médio, para o entendimento do conceito físico sobre energia elétrica no transporte eletrônico, repercutindo no funcionamento de vários dispositivos eletroeletrônicos. Partindo da quantificação da energia elétrica nos possíveis geradores, apresenta-se a eletrodinâmica em dispositivos que transmitem a energia elétrica em outro tipo de energia. De fato, nesse texto destaca-se a importância do transporte eletrônico para definição, conceitualização e contextualização da energia elétrica, bem como o seu uso e conversão em outras energias. O conteúdo no capítulo do livro *Introduction to Electrodynamics* escrito pelo professor David J. Griffiths (2013) foi fonte inspiradora para a presente revisão do tópico de eletrodinâmica.

Em uma distribuição de cargas elétricas, o potencial elétrico gerado por ela em uma posição do espaço pode ser medido por instrumentos, como o voltímetro. Conhecido esse valor nesse ponto, um objeto ou um portador de carga elétrica posicionado nele possui energia potencial elétrica dada por, $U = q \cdot V$, onde q é a carga do portador e V é o potencial obtido pelo voltímetro. De fato, o potencial de 1 volt (1 V) em um ponto do espaço próximo a uma distribuição faz com que uma carga de 1 coulomb (1 C) possua uma energia potencial de 1 joule (1 J) caso seja posicionado no ponto mensurado.

Um portador de carga com uma energia potencial elétrica pode transformar essa energia em energia cinética fazendo com que o portador possua uma velocidade, v . Em um sistema que tenha inúmeros portadores de carga na presença de uma diferença de potencial, forma-se um fluxo de carga devido à transmutação da energia potencial para energia cinética. Esse fluxo pode ser medido contando a quantidade de carga que passa por uma área transversal por unidade de tempo. Essa medida, conhecida como corrente elétrica, $I = q / \Delta t$, é proporcional às cargas do portador e, portanto, às suas velocidades. A corrente de 1 ampere (1 A) corresponde a um fluxo de 1 C que atravessa uma seção transversal ao fluxo em um intervalo de um segundo, 1 s.

Para uma análise de consumo da energia elétrica, é necessário conhecer a potência do objeto que está submetido a uma força externa. A potência é definida como uma taxa de trabalho por unidade de tempo. A potência de 1 watt (1 W) correspondente a um sistema termo-eleto-mecânico, indica que esse sistema produz ou consome 1 joule de energia no intervalo de 1 s. Dado que a variação de energia potencial elétrica está relacionada com o trabalho que um portador de carga presente em um campo elétrico, a potência que o portador de carga realiza pode ser obtido por, $P = (dq \cdot \Delta s \cdot \Delta V) / \Delta t$, onde dq é a densidade

linear de carga do portador, Δs o deslocamento da carga, ΔV é a diferença de potencial e Δt o intervalo de tempo. Para um intervalo de tempo diminuto, a razão $\Delta s/\Delta t$ tende a velocidade instantânea do portador de carga, $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (\Delta s/\Delta t)$. Como a corrente de portadores é definida como $I = dq \cdot v$, tem-se uma relação da potência conhecendo-se a diferença de potencial e a corrente de portadores de carga, $P = \Delta V \cdot I$.

Conhecida a definição da potência elétrica, tem-se que essa quantidade é fornecida pelo gerador de energia elétrica e é consumida pelos dispositivos elétricos. Para um melhor entendimento sobre como se obtém essa relação, faz-se a análise de alguns dispositivos elétricos e de que forma eles consomem essa potência elétrica realizando tarefas, atividades e funcionalidades.

Ao ligar algum equipamento eletro-eletrônico na tomada, submete-se esse objeto a uma diferença de potencial conduzindo uma corrente elétrica de forma circuital que passa e atravessa dispositivos e/ou elementos eletro-eletrônicos. Tais elementos realizam alguma funcionalidade do equipamento transformando a energia elétrica contida no portador de carga em energia mecânica, térmica, luminosa entre outras.

Dispositivos eletro-eletrônicos apresentam curvas características ao ser submetidos por uma diferença de potencial. As curvas características demonstram a causa com o surgimento de uma corrente elétrica devido à diferença. Em geral, os dispositivos realizam uma função de transformar e transmutar a energia elétrica fornecida ao portador de carga em uma outra forma de energia. Como exemplo, os dispositivos resistivos transmutam a energia elétrica em energia térmica (Efeito Joule). Em um experimento de conectar, em série, um resistor a uma bateria, observa-se, usando como instrumento o multímetro, uma curva característica em que a corrente elétrica do portador é proporcional à diferença de potencial. Essa lei é conhecida como lei de Ohm, $\Delta V = R \cdot I$, onde a constante de proporcionalidade, R , dessa curva é a resistência elétrica do dispositivo. Um dispositivo que possua uma resistência de 1 ohm (1Ω) passa por ele uma corrente de 1 ampère ao ser submetido a uma diferença de potencial de 1 volt.

Microscopicamente, o portador de carga em um circuito elétrico é quantizado por uma partícula subatômica de carga negativa conhecida como elétron. Em um dispositivo resistivo, ao ser submetido a uma diferença de potencial, os elétrons presentes no dispositivo são acelerados e, com uma determinada frequência, colidem com os núcleos atômicos das moléculas que compõem o dispositivo. As colisões inelásticas fazem com que os elétrons tenham, em média, uma velocidade constante e, como consequência, uma corrente elétrica constante. A parte da energia potencial fornecida aos elétrons se perde nas colisões inelásticas fazendo com que as moléculas do dispositivo recebam uma energia térmica que faz com que a temperatura do dispositivo aumente.

A resistência depende do dispositivo resistivo, ou seja, cada dispositivo apresenta um valor de resistência. Ao considerar dispositivos resistivos constituídos de alguma substância ou mistura homogênea, pode-se observar que a resistência depende de fatores geométricos como a área de secção transversal, A , que atravessa a corrente elétrica e a distância, L , em que o portador de carga deve percorrer dentro do dispositivo. Em boa aproximação, observa-se na resistência uma relação proporcional à distância que o portador deve percorrer e inversamente proporcional à área seccional da corrente elétrica. Essa relação pode ser expressa por, $R = \rho \frac{L}{A}$, onde ρ , é a constante de proporcionalidade

conhecida como resistividade e depende, tão somente, da substância ou da mistura que compõem o dispositivo.

Na natureza, há um conjunto de substâncias e misturas que possuem uma resistividade elétrica alta (entre $10^5 - 10^{16} \Omega \cdot m$) e são considerados como isolantes elétricos. Nesse conjunto pode-se citar madeira, plásticos, vidros, cerâmicas. Por outro lado, observa-se um conjunto de materiais que apresentam baixíssimas resistividades elétricas (entre 10^{-8} a $10^{-5} \Omega \cdot m$). Esses materiais são considerados bons condutores e pode-se citar como exemplo os metais. Microscopicamente, os materiais bons condutores possuem moléculas em que parte dos elétrons possuem uma baixa energia de ligação aos núcleos atômicos dessas moléculas. Esses elétrons se comportam como partículas carregadas livres que, ao aplicar uma mínima diferença de potencial, respondem imediatamente ao campo elétrico formado, com uma corrente elétrica. A colisão desses elétrons com as moléculas do dispositivo resistivo fazem aquecê-lo de tal forma que, a depender de sua disposição geométrica, fazem emitir uma radiação térmica visível aos olhos humanos. Desse modo, ao submeter esse elemento resistivo, conhecido como lâmpada incandescente, a uma diferença de potencial, transmuta-se a energia elétrica contida na fonte em energia térmica cujo efeito corresponde ao filamento irradiar como um corpo negro na temperatura em que o filamento alcance.

A associação de dois ou mais dispositivos resistivos apresenta respostas diferentes a depender da maneira de como é configurada esses dispositivos. Ao colocar em série os dispositivos, a diferença de potencial não se altera. Porém a carga elétrica que atravessa os dispositivos percorrerá uma trajetória maior e a perda energética é proporcional a essa trajetória. Desse modo, pode-se associar os resistores em série a um resistor cuja resistência seja a soma de todas as resistências. Por outro modo, ao colocar em paralelo os dispositivos resistivos, a corrente elétrica que passa em cada resistor será proporcional à área seccional de cada resistência. Desse modo, a associação em paralelo de resistores equivale a um dispositivo resistivo cujo inverso da resistência é igual a soma dos inversos das resistências de cada resistor. Como a resistência equivalente de resistores em série é maior que a resistência de resistores em paralelo, a corrente que passa em uma associação em paralelo é maior que em uma associação em série para uma diferença de potencial fixa. Devido a esse fato, a potência dissipada em uma associação em paralelo é maior que em série.

De fato, as lâmpadas incandescentes são limitadas em transformar somente uma parte da energia elétrica em luz visível. O espectro, i.e. a energia luminosa para determinada frequência da onda eletromagnética, gerado pelo filamento da lâmpada incandescente contém uma intensidade luminosa suficiente para iluminar, porém a energia foi também usada para produzir uma radiação ultravioleta e infravermelha. Esses tipos de radiações não contribuem para a função essencial da lâmpada fazendo-a ser limitada em transmutar a energia elétrica em luz visível.

A tecnologia para dispositivos eletroeletrônicos avançou de modo a incorporar em seu funcionamento mecanismos que requerem o conhecimento da física quântica. Um desses dispositivos é conhecido pela sigla em inglês de diodo de emissão de luz (LED - light emission diodo) (SANTOS, 2015).

Na física clássica, os elétrons, portadores de carga elétrica em dispositivos resistivos, apresentam comportamento corpuscular sendo objetos idênticos que possuem uma massa, uma carga elétrica mas não possuem forma geométrica sendo considerados como um

ponto no espaço (KITTEL, 2005). Como sua estrutura e seu comportamento dentro dos átomos estão em uma escala espacial muito pequena e os efeitos e fenômenos ligados a eles apresentam anomalias diante do programa de física clássica, deve-se descrevê-los sob outro paradigma da física. Esse novo paradigma é conhecido como física quântica devido aos objetos nessa descrição possuírem energia quantizada ou energia de valores discretos quando são confinados em uma região do espaço.

A física quântica consolidou-se no transporte eletrônico pois foi capaz de descrever, de maneira convincente, a razão de existir substâncias condutoras e isolantes (KITTEL, 2005). Em um sólido, os elétrons são postos em uma condição de confinamento na qual apresentam energias quantizadas distribuídas em níveis. A depender da estrutura dos átomos e moléculas dentro do sólido, esses níveis podem se agrupar formando bandas de energias separadas por lacunas. Em um sistema de baixa temperatura, os elétrons se distribuem por essas bandas de forma a preencher do nível menos energético para o mais energético. Ocorre que esse preenchimento se deve ao número de elétrons presentes no sólido. Há certas substâncias que esse preenchimento completa as bandas menos energéticas exigindo um campo elétrico externo de alta intensidade para poder retirar elétrons dessas bandas preenchidas e fazer com que eles saltem a lacuna para bandas de maior energia porém vazias e, com isso, possam ser transportado através do sólido. Pela dificuldade energética de movimentar os elétrons, essas substâncias são consideradas isolantes. Por outro lado, substâncias que possuem um preenchimento incompleto da banda de energia exigem uma menor intensidade do campo elétrico externo para realizar o transporte eletrônico visto que não é necessário um elétron fazer um salto quântico energético para superar a lacuna. Nesse caso, devido à facilidade de mobilização dos elétrons, tem-se um material condutor.

A descrição quântica para o fenômeno de condutividade elétrica dos materiais leva-se em consideração que a temperatura é baixa. Porém, os efeitos térmicos que possam energizar elétrons para outros níveis de energia podem transformar certas substâncias isolantes em baixa temperatura, em substâncias condutoras em alta temperatura devido ao valor pequeno da lacuna entre as bandas. Essas substâncias são consideradas semicondutoras e possuem uma enorme relevância no desenvolvimento de dispositivos eletroeletrônicos.

Uma outra maneira de transformar um semicondutor de isolante para condutor ou vice-versa é colocar na estrutura da substância outros elementos que possam acrescentar elétrons ao material ou níveis de energia nas lacunas entre as bandas. A esse processo chama-se de dopagem. São dois tipos de dopagem, a dopagem tipo-n onde o novo elemento coloca excesso de elétrons no material e a dopagem tipo-p onde o novo elemento retira elétrons do material. O dispositivo mais simples que isso ocorre é o diodo onde existe somente uma interface que separa as duas junções. Nessa interface surge, devido à redistribuição de cargas no material e, portanto, uma diferença de potencial que favorece a corrente elétrica do material tipo-p para o material tipo-n dificultando a corrente inversa. Desse modo, o dispositivo funciona como uma válvula que favorece a corrente por uma polaridade e a curva característica de corrente por tensão apresenta uma assimetria tornando-se bem diferente da curva característica de um material resistivo.

Para certas substâncias semicondutoras, a dopagem e a formação de um diodo com essa substância faz com que o elétron perca energia quando atravessa a interface. A dopagem tipo-p e tipo-n em certos semicondutores gera níveis energéticos na lacuna que possuem

diferenças entre as duas dopagens. Essa diferença energética é sentida pelo elétron que emite uma radiação cuja frequência seja proporcional a essa diferença. O LED corresponde ao diodo cuja diferença energética emite fótons visíveis. Nesse processo, toda a energia dada ao elétron pelo campo externo para que ele atravesse a interface é transformada em cinética para movimentá-lo e para a emissão da radiação visível. Como o gasto térmico é desprezível, tem-se um processo de um dispositivo muito mais eficaz em gerar radiação visível que a lâmpada incandescente.

A capacidade de iluminar de um dispositivo eletroeletrônico pode ser mensurado em comparação a capacidade de uma vela iluminar um ambiente (HALLIDAY, 2013). De fato, uma vela produz uma intensidade luminosa de aproximadamente 1 candela (cd). A unidade candela é a unidade no sistema internacional da intensidade luminosa de um objeto. Sua definição mais precisa atribui a unidade a emissão de uma determinada intensidade luminosa produzida por uma fonte de radiação monocromática de frequência 540 THz e que gere uma intensidade radiante nessa direção de $\frac{1}{683}$ watt por esferorradiano. Por dificuldades técnicas, a medida da intensidade luminosa por esferorradiano não é apropriada para mensurar a capacidade luminosa de um dispositivo eletroeletrônico. Em geral, é usado a unidade lúmen (lm) que corresponde a intensidade luminosa gerada na emissão por toda a esfera que compreenda a fonte luminosa. Ou seja, para cada lúmen tem-se 4π cd.

Comercialmente, as lâmpadas incandescentes e LED possuem capacidade luminal equivalente. Uma lâmpada incandescente de 40W gera 470lm, enquanto uma lâmpada de LED de 6W gera 480lm (ABNT, 2013). Para comparar a eficiência desses dois dispositivos, deve-se observar a capacidade luminal de cada lâmpada por potência gasta. Enquanto a lâmpada incandescente possui uma eficiência de 11.75 lm/W, a lâmpada de LED apresenta uma eficiência de 80 lm/W. Outro ponto a destacar é a vida útil dessas lâmpadas. Devido ao estresse sentido pela lâmpada incandescente por ser percorrida por uma corrente altíssima elevando a temperatura próxima a sua temperatura de fusão e poder, eventualmente, ser submetida a uma enorme variação de temperatura fazendo, aos poucos, danificar a estrutura do filamento, a lâmpada incandescente possui uma vida útil 30 vezes menor que a lâmpada de LED.

Para além desses detalhes técnicos necessários para desenvolver a proposta didática presente neste trabalho, é mister agregar uma metodologia com a qual os alunos possam aprender de modo significativo esse conteúdo.

III. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E A UEPS

Os conceitos e as informações levantadas na seção anterior necessitam de uma metodologia de aprendizagem que leve o aluno para além de utilizar fórmulas e procedimentos. Com essa metodologia, espera-se que o aluno, ao assimilar o conteúdo de física do transporte eletrônico e a transmutação de energia elétrica em dispositivos, aprimore o seu conhecimento sobre a importância da sustentabilidade para o seu futuro e tenha um comportamento crítico indispensável para concluir seu papel sobre o uso de energia elétrica de forma sustentável.

Nesse contexto, é notório que a aprendizagem mecânica, caracterizada pela apresentação do professor sobre o tema seguido de exemplos e avaliado por exercícios de forma a esperar uma resposta correta dos alunos, não atende aos objetivos pedagógicos necessários para

formar esse ser crítico. De fato, na aprendizagem mecânica os temas seriam apresentados de forma instrucional com o objetivo de esperar a resposta correta na avaliação. Como não há a preocupação de que os conceitos e as proposições tenham significados para os alunos, boa parte dos alunos não serão capazes de alcançar o comportamento crítico esperado com essa aprendizagem. Sem essa criticidade, os alunos não poderão compreender seu papel na contribuição para a sustentabilidade.

Para evitar essa situação, propõe-se uma sequência de aprendizagem elaborada como uma estratégia de ensino cujo objetivo seja aproximar o conteúdo do currículo, as preocupações sobre sustentabilidade e o conhecimento dos alunos. O entendimento que os conceitos e as proposições sobre o transporte eletrônico e funcionamento de dispositivos luminais deve passar por uma aprendizagem cognitiva que leve em consideração a importância dos significados. Nesse cenário, mostra-se apropriado uma metodologia que seja baseada na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel (AUSUBEL, 1968).

A teoria de Ausubel se baseia em um modelo de aprendizagem cognitivista. O aluno ao entrar na sala de aula apresenta uma estrutura cognitiva precária elaborada de forma empírica sobre as novas ideias e informações que o professor tratará. Em sala de aula, o processo de assimilação dos novos conceitos e proposições se realiza no aluno partindo de uma estrutura primária sobre o assunto na qual, segundo Ausubel, recebe o nome de subsunçores.

Não havendo os subsunçores para que as novas informações sejam assimiladas, é necessário prover atividades para formar uma estrutura cognitiva mínima para haver a assimilação pela aprendizagem significativa. Essas atividades devem ser planejadas pelo professor através de organizadores cognitivos prévios para a aprendizagem significativa.

Para Ausubel, a interação dos novos conceitos e proposições com os subsunçores ocorre por dois movimentos não necessariamente ordenados. O primeiro movimento é a diferenciação progressiva onde o que quer ensinar é algo específico e deve servir e seguir como exemplo para conceitos mais generalista presente na estrutura cognitiva do aluno. O outro movimento é a reconciliação integrativa onde uma proposição ou um conceito geral é assimilado pela estrutura cognitiva do aluno através de diversos subsunçores independentes existente na estrutura cognitiva do aluno.

Como consequência desses movimentos na aprendizagem significativa, observa-se que a nova estrutura cognitiva altera o subsunçor original e, na estrutura cognitiva do aluno, o significado inicial do tema a ser assimilado. O encadeamento dessa aprendizagem ao longo dos movimentos gera uma natural organização sequencial do conteúdo assimilado. A assimilação por alguma atividade relacionada à aprendizagem significativa torna-se frágil caso não haja uma atividade que consolide todo o processo. De fato, os subsunçores podem desaparecer caso não sejam constantemente estimulados.

Diante dos princípios da teoria de Ausubel, o papel do professor consiste em facilitar e promover a aprendizagem significativa. Para tanto, Moreira (2011) sugere quatro tarefas nas quais foram considerados neste trabalho. Duas destas tarefas exigem ações do professor antes das atividades em sala de aula. São elas: 1. Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino; 2. Identificar quais os subsunçores relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado. As demais tarefas exigem a mudança do trabalho do professor em sala de aula. São elas: 3. Diagnosticar aquilo que o aluno já sabe;

4. Ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a aquisição da estrutura conceitual da matéria de ensino de uma maneira significativa.

No trabalho estas tarefas foram implementadas através de atividades ao longo das sequências de aula. Para identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria, foi utilizado nos primeiros encontros um vídeo que tratava da obsolescência programada de lâmpadas incandescentes. Na sequência, os subsunçores relevantes foram identificados por um experimento de montagem de um circuito elétrico simples. Com isso, o professor pode diagnosticar o conhecimento do aluno e prove recursos que possam facilitar a aquisição da estrutura conceitual usando os movimentos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

De fato, Ausubel alerta que, para qualquer proposta que leve em consideração sua teoria de aprendizagem, é necessário que os alunos estejam interessados em aprender significativamente e que o material instrucional das atividades de aprendizagem significativa seja potencialmente significativo (AUSUBEL, 1978). A primeira condição não está no controle do professor. Porém, para a segunda condição, pode ser elaborado um material instrucional significativo.

Esse trabalho consiste em uma proposta baseada numa aprendizagem significativa tendo como material instrucional uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.

Como forma de auxiliar e tornar um instrumento para pesquisa sobre a aprendizagem significativa, Moreira (2011) propõe um conjunto de atividades sequenciais baseado na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel que permite, ao professor, produzir um material instrucional potencialmente significativo conhecido como Unidades de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Nas palavras do próprio Moreira a UEPS é constituída de,

(...) sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula. (MOREIRA, 2006, p. 2).

A sequência didática da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) segue uma estrutura didática de oito passos que promove a aprendizagem significativa. De fato, a UEPS contém as quatro tarefas supra mencionadas para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa que permita ao professor identificar os subsunçores e facilitar a aquisição de uma estrutura conceitual da matéria. Nela, percebe-se de modo claro os movimentos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa do assunto tratado. Para destacar a prática desses movimentos nessa proposta, apresenta-se detalhadamente os passos realizados na UEPS.

O primeiro passo consiste na definição do tópico a ser abordado, com sua adequação ao currículo escolar dos alunos participantes. No segundo, realiza-se uma etapa inicial em sala de aula com atividades voltadas para identificar os subsunçores presentes em alguns alunos e criar organizadores prévios para aqueles que não os possuem. O terceiro passo marca o início da assimilação significativa, propondo uma situação-problema elementar que

funciona como organizador prévio, permitindo que o novo conhecimento faça sentido e contribua para a formação de modelos mentais. No quarto passo, ocorre a diferenciação progressiva, com atividades que levam os alunos a explorarem aspectos gerais e específicos do tema, culminando em uma reconciliação integradora, na qual subsunções diferenciados são assimilados em proposições gerais. O quinto passo aprofunda essa assimilação com atividades mais complexas, realizadas colaborativamente, seguidas de apresentações e discussões em grupo. O sexto passo reforça a aprendizagem significativa com uma avaliação somativa, enquanto o sétimo promove a consolidação dos conhecimentos adquiridos. Por fim, o oitavo passo avalia a eficácia da própria UEPS como estratégia pedagógica.

IV. METODOLOGIA

É preconizado no PCN+ (BRASIL, 2002) que a atividade experimental e a contextualização dos assuntos tratados no currículo devem ser incentivados por atividades propostas em sala de aula. De forma concomitante, a BNCC (BRASIL, 2018) prima pela possibilidade de tratar temas transversais e atividades autônomas como instrumentos para a melhora do ensino médio.

Por um lado, o tema sobre eletrodinâmica sofre por ser tratado como um tema propedêutico e, por outro, o entendimento sistematizado sobre a preservação dos recursos naturais e os efeitos maléficos do uso indiscriminado da natureza não encontra espaço para ser discutido ao longo do ensino médio. Nesse desafio, apresenta-se uma proposta de aprendizagem significativa do transporte de cargas em dispositivos e sua relação com o consumo comparando dois tipos de lâmpadas. Para agregar a concretização dessa ação em sala de aula, a proposta leva o aluno a reparar uma lâmpada LED usando os conhecimentos adquiridos ao longo da sequência de aula.

Para a realização da metodologia, propõe-se oito encontros presenciais sendo cada encontro correspondente a uma aula de 45 minutos. Para além das avaliações ao longo do processo, ao final os alunos participam de uma avaliação individual somativa. A sequência didática termina com um feedback dos alunos em relação a propostas experimentadas por eles. Essas aulas são descritas em um site (MENEZES, 2024) na qual, qualquer professor que queira aplicar a metodologia em suas turmas, encontra um guia de como proceder.

Antes de iniciar a metodologia, propõe-se um questionário de avaliação e sondagem sobre o conhecimento informal sobre o tema de eletrodinâmica. Esse questionário é refeito pelos alunos ao final da aplicação como forma de avaliar o produto. Seus resultados serão discutidos e apresentados na próxima seção. Independente do questionário de avaliação e para melhor organização, a construção e aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), estruturou-se de forma que ocorresse em oito aulas. Na Tabela 1 é exposto o conteúdo de cada encontro, bem como, o objetivo, situação proposta e avaliação.

Aula	Objetivo	Situação proposta	Avaliação
Aula 1 Energia e Consumo	Investigação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre consumo e energia, grandezas físicas de componentes eletrônicos, consumo e utilização de aparelhos elétricos e o entendimento de sustentabilidade por parte do aluno.	Discussão a partir de um documentário A conspiração da lâmpada (<i>The light bulb conspiracy</i>) (UNIVERSAL, 2024) acompanhado de um questionário que permita prospectar o conhecimento prévio dos alunos.	Participação dos estudantes individualmente e em grupos. Questões de verificação dos temas abordados.
Aula 2 Tensão carga e corrente. Funcionamento de um circuito elétrico simples.	Analisar de maneira livre o funcionamento de um circuito elétrico simples, identificando a associação deles para a geração de luz visível em um LED, bem como a identificação das grandezas físicas presentes no circuito.	Os alunos, em grupo de quatro integrantes, recebem o desafio de construir um circuito elétrico simples a partir de um Kit contendo os componentes necessários para a execução da tarefa. Também são orientados a identificar situações que podem ocorrer no circuito, tal qual o motivo do LED não acender, após o circuito ser montado.	Análise qualitativa da construção do circuito elétrico.
Aula 3 Resistência elétrica, lei de Ohm e efeito Joule.	Entender o funcionamento de uma lâmpada incandescente do ponto de vista eletrodinâmico cujos aspectos dos fenômenos estão descritos na lei de Ohm e no efeito Joule, sendo evidenciados nessa aula.	Em uma reconciliação integradora dos saberes verificados até o presente momento, os estudantes, reunidos novamente em pequenos grupos devem construir mapas mentais no formato 3D se utilizando de componentes eletrônicos distribuídos pelo professor, evidenciando elementos presentes em circuitos elétricos, tais como resistência elétrica, fios condutores entre outros, bem como o efeito Joule, presente nas lâmpadas incandescentes.	Análise qualitativa da construção de Mapa Mental 3D.

Continua na próxima página

Aula	Objetivo	Situação proposta	Avaliação
Aula 4 Potência Elétrica, Energia e Consumo	Investigar a relação entre potência, tensão e corrente elétrica, associando também as questões relacionadas ao consumo de energia em relação a potência e tempo de uso de um aparelho ou componente eletrônico.	Problematização do consumo de energia elétrica em uma residência. Reflexão sobre o consumo responsável e sustentável de energia. A aula propõe verificar o consumo residencial de energia do estudante perfazendo o caminho da diferenciação progressiva.	Análise quantitativa que consiste em calcular o custo mensal de energia em KWh, a partir de estimativa de uso de aparelhos como o chuveiro elétrico, por exemplo.
Aula 5 Investigar as transformações de energia em diferentes tipos de lâmpadas e as condições para que o consumo de energia elétrica seja sustentável.	Compreender como ocorre a transformação de energia em diferentes tipos de lâmpadas (incandescentes, fluorescentes e lâmpadas de LED), entender e reforçar a questão do consumo de energia nesses diferentes tipos de lâmpadas e demais aparelhos eletrônicos.	Análise prática do conteúdo a partir de um circuito elétrico que contém as lâmpadas mencionadas, onde os alunos podem interagir com o material utilizado na aula, retirando conclusões sobre os temas abordados. Nesse momento haverá o movimento do mais específico ao mais geral fazendo a reconciliação integradora.	Avaliação qualitativa das interações dos estudantes com o professor e entre seus pares em busca da identificação da construção e evolução dos conhecimentos propostos.
Aula 6 Problematização associada a construção de circuitos elétricos em Série, paralelo e Misto com a utilização de um simulador (Phet Colorado).	Verificar os subsunçores dos estudantes em relação ao funcionamento de circuitos elétricos que se encontram ligados em forma de circuitos em série, paralelos e misto analisando o funcionamento de resistores presentes no mesmo.	Um desafio que consiste na utilização de simulador Phet Colorado (PHET, 2024), com orientações em uma folha impressa para se construir um circuito elétrico, associando lâmpadas em série e paralelo com o objetivo de analisar o seu funcionamento quando a mesma se encontra presente no circuito.	Entrega de folha impressa com questões relacionadas a associação dos resistores e observações efetuadas no simulador Phet colorado.

Continua na próxima página

Aula	Objetivo	Situação proposta	Avaliação
Aula 7 Re- paração de lâmpadas de LED.	Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de lâmpadas de LED, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos, para propor ações que visem o consumo consciente de energia e a sustentabilidade.	Experimentos de baixo custo utilizando os conceitos de eletrodinâmica estudados até o presente momento, transformando os saberes adquiridos em práticas com olhar no consumo consciente e na sustentabilidade que estão relacionados ao tema das aulas. Orientações aos estudantes de forma prática dos procedimentos e conhecimentos necessários para os reparos, com a preparação dos estudantes para compartilharem com os demais estudantes da unidade escolar as competências e saberes adquiridos nas aulas.	Avaliação qualitativa da Interação individual e em grupo através de questões propostas de forma oral. Interação de forma prática na execução dos procedimentos para o reparo das lâmpadas.
Aula 8 Evidências de aprendi- zagens significativas	Repasar todos os conteúdos estudados com os alunos revisando os mesmos e aprofundando alguns conceitos tais como a transformação de energia que correm nas lâmpadas de LED e seu devido funcionamento, a fim de preparar os estudantes para uma apresentação na forma de Oficina Técnica, onde os mesmos deverão compartilhar as competências e os conhecimentos adquiridos junto aos demais estudantes da Unidade Escolar.	Realização de Oficina de Reparação de Lâmpadas de LED aberta, com a participação de todos os estudantes da Unidade escolar, em evento de extensão. Os alunos em grupos efetuaram de forma prática, a demonstração de como é possível efetuar reparos em lâmpadas de LED, ao mesmo tempo que evidenciam os benefícios sociais e sustentáveis envolvidos nesses procedimentos. Na mesma exposição serão destacados como se dá o funcionamento dos demais tipos de lâmpadas, objetos de estudo nas aulas do projeto. A oficina também deve promover a interação dos alunos presentes, a fim de que os mesmos também possam identificar a construção dos saberes necessários para a realização dos reparos.	Avaliação qualitativa da apresentação em grupo dos conteúdos aprendidos em forma de Oficina Técnica. Capacidade do estudante de compartilhar os conhecimentos adquiridos e de interação com os demais alunos, indicando os conhecimentos construídos no decorrer das aulas

Tabela 1: O conteúdo, objetivo, situação proposta e avaliação de cada encontro na UEPS. *Fonte:* Os autores.

V. RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS

Os alunos que participaram dessa sequência de aulas fazem parte de uma comunidade marcada por expressiva vulnerabilidade social. Esses participantes, moradores da cidade de Mauá, na região metropolitana de São Paulo, enfrentam desafios econômicos significativos, como o baixo poder econômico, o acesso limitado a recursos e infraestrutura básica, e altos índices de desemprego e violência. Certamente, esses fatores influenciam diretamente as oportunidades educacionais e a qualidade de suas vidas e de suas famílias.

O contexto social também ressalta a vulnerabilidade desses alunos e familiares diante das mudanças climáticas. Comunidades com menores recursos, como a de Mauá, estão mais suscetíveis aos impactos ambientais, como enchentes, crises de abastecimento de água e ondas de calor, que agravam as condições de vida precárias. Nesse cenário, o consumo de energia e o desperdício de recursos têm consequências diretas sobre a sustentabilidade e o bem-estar dessa população.

Dada essa realidade, foi crucial desenvolver a atividade educacional proposta que sensibilize os estudantes sobre a redução do consumo energético e a adoção de práticas sustentáveis. O ensino da energia elétrica, quando associado ao debate sobre a sustentabilidade, permitiu que os alunos compreendessem, não apenas o funcionamento técnico, mas também a relevância de atitudes cotidianas que contribuem para a melhoria do ambiente em que vivem. A construção dessas compreensões por parte dos estudantes, já ocorreu na primeira aula onde um debate foi promovido entre os estudantes com a mediação do professor para identificar os subsunçores preconizados por Ausubel. Nesse debate, o professor questionou a turma sobre a percepção do aluno e de seus familiares sobre se considerar como sendo consumista. Mostra-se, abaixo, algumas respostas que indicam suas percepções e exemplos dessa atitude.

“na minha casa compramos coisas que nem utilizamos”. (ENTREVISTA, 2024)

“meu pai comprou um aparelho de ginástica e nunca usou”(ENTREVISTA, 2024)

“já comprei coisas que usei muito pouco e depois não usei mais” (ENTREVISTA, 2024)

“Lá em casa não consertamos nada, se quebrar vai para o lixo” (ENTREVISTA, 2024)

Como ponderação final ao debate o professor procurou direcionar o assunto para a questão da sustentabilidade, fazendo os alunos refletirem sobre o impacto do consumo nas questões da sustentabilidade e como se pode contribuir para que o meio ambiente seja o menos afetado possível através de ações, onde os alunos seguiram participativos e com respostas pertinentes ao assunto.

Entre Maio e Junho de 2024, o produto educacional foi aplicado na Unidade Escolar E.E Padre Afonso Paschotte, localizada na cidade de Mauá- SP, e foi encerrado com a oficina Técnica de reparos em lâmpadas de LED, no mês de agosto. Ao longo da aplicação, foram oito encontros presenciais semanais de 45 minutos nas aulas de Física de cinco turmas do último ano do ensino médio. Duas turmas eram constituídas de 30 alunos matriculados e as demais de 20 alunos matriculados.

A questão ambiental foi tratada desde o início na apresentação do vídeo sobre obsolescência programada. Essa atividade situou o aluno como parte de um processo econômico que está insustentável. Os exemplos trazidos em sala sobre o hábito consumista das famílias e de como isso é incentivado e promovido pela sociedade capitalista levou ao final do

encontro a soluções de como impedir ou contribuir para um movimento que levasse a ideia de um consumo mais sustentável e consciente. No decorrer da aplicação discutiu-se o descarte inapropriado dessas lâmpadas e como isso afeta o equilíbrio do planeta. Alertado a esse motivação, o tema de eletrodinâmica tomou-se um caminho mais crítico, por parte dos alunos, pois a busca de dispositivos que fossem econômicos, eficientes e duráveis trouxe uma reflexão mais próxima às questões que eles sentem em seu cotidiano e ponderou-os para atitudes mais ativas perante a capacidade de agir de forma mais adequada atingindo a sustentabilidade.

Durante todo o decorrer da proposta educacional, foram realizadas avaliações quantitativas e qualitativas que foram analisadas. A parte quantitativa envolveu a contagem de respostas corretas para medir o domínio conceitual dos alunos, efetuados através de questionários. Já a avaliação qualitativa concentrou-se na compreensão demonstrada por meio de explicações e raciocínios, identificando dificuldades e interpretações equivocadas sobre os temas. Essa etapa foi conduzida por meio da montagem de circuitos elétricos simples, da construção de mapas mentais em três dimensões e da oficina técnica de reparos das lâmpadas de LED.

Nas avaliações quantitativas, comparou-se o mesmo questionário antes da aplicação do produto e após a aplicação. A aprendizagem foi identificada pela evolução no número de acertos nas questões que envolviam a aprendizagem de conceitos teóricos e fundamentais relacionados à eletrodinâmica. Essa evolução é mostrada em todas as questões na Tabela 2 exceto para a questão 4 onde os alunos tiveram dificuldades em associar a tensão e a energia fornecida ao dispositivo para realizar sua função.

Questões	Fração de acertos pré-UEPS	Fração de acertos pós-UEPS
1) Qual a diferença da tomada de 110V para a de 220V?	13%	32%
2) Se o chuveiro elétrico funciona com eletricidade, por que não tomamos choque ao tomar banho?	70%	90%
3) O que significa a lâmpada queimar?	24%	51%
4) Se uma lâmpada de 110V for ligada a uma bateria de 3V, ela não funciona. Por quê?	58%	47%
5) O que é a potência de uma lâmpada?	36%	72%
6) Como funciona uma lâmpada de LED?	46%	80%
7) Um chuveiro elétrico tem uma d.d.p de 220V, sendo percorrido por uma corrente de 10A. Sua resistência é:	51%	81%
8) Qual a corrente elétrica que percorre o filamento de uma lâmpada de 120V e 60W?	42 %	84%

Continua na próxima página

Questões	Fração de acertos pré-UEPS	Fração de acertos pós-UEPS
9) Um chuveiro elétrico possui potência de 5000W. Sabendo que nessa casa moram cinco pessoas e que cada uma toma dois banhos diários de 15 min, determine o consumo de energia elétrica mensal	31%	72%
10) De acordo com os seus conhecimentos sobre eletricidade, as unidades de medida da tensão, corrente elétrica e potência de acordo com o S.I., são:	34%	68%

Tabela 2: Questões feitas no questionário e a fração de acertos antes da aplicação da UEPS e após a aplicação da UEPS. *Fonte:* Os autores.

Nas avaliações qualitativas, a constante participação dos estudantes nas tarefas propostas indica uma evolução de conceitos, teorias e aplicações práticas dos saberes identificados nas aulas que permitiram verificar a aprendizagem significativa.

Como evidências dessa aprendizagem pode-se constatar, o comportamento dos estudantes no decorrer das aulas, tal como o fato do compartilhamento e diálogo entre eles e um avanço conjunto das turmas que se mostravam indo dos conhecimentos mais gerais para os mais específicos, aprofundando os conhecimentos vistos anteriormente.

Os pontos que fortalecem essa percepção de aprendizagem significativa podem ser ilustrados e identificados de forma mais concreta em quatro atividade propostas: a exibição do filme, a construção de um circuito elétrico simples, a construção de mapas mentais em 3D e na Oficina Técnica de reparo de lâmpadas de LED.

A tarefa inicial, realizada através da exibição do Filme a Conspiração da Lâmpada - Obsolescência Programada, foi muito exitosa em identificar os subsunçores dos estudantes tanto no tema da eletrodinâmica quanto nas questões de sustentabilidade, pois através dos diálogos promovidos e das reflexões propostas, foi possível verificar na participação dos estudantes e os seus interesses em saber mais sobre o tema.

Nas aulas de execução da atividade de montar um circuito elétrico simples, foi possível perceber a diferenciação progressiva na manipulação a categorização dos dispositivos na montagem do circuito. Desse modo, foi possível observar a assimilação dos conteúdos através da aplicação, organização e troca de saberes para se atingirem o resultado esperado.

Na elaboração em grupo de um mapa mental 3D sobre os dispositivos eletroeletrônicos, os alunos foram capazes de ter um raciocínio lógico para associar a prática e os saberes desenvolvidos. Observa-se que essa atividade permitiu a reconciliação integradora. Os indicadores desse objetivo alcançado pode ser exemplificado em algumas respostas dos alunos ao final da atividade. Para ilustrar, segue algumas delas:

“Vamos utilizar os resistores e os fios e mencionar o efeito Joule presente nos circuitos” (ENTREVISTA, 2024)

“Vamos usar uma lâmpada de LED e apontar que não ocorre efeito Joule” (ENTREVISTA, 2024)

“Como a gente pode relacionar os fios e baterias no nosso mapa mental” (ENTREVISTA, 2024)

Finalmente, a oficina realizada, proporcionou o compartilhamento de saberes e competências entre os outros alunos da Unidade Escolar de tal maneira que eles também aprenderam o conteúdo proposto. Os estudantes realizaram essa proposta em grupos que se auxiliavam tanto nas apresentações, quanto nas interações promovidas junto aos demais alunos. Dessa forma, ficou evidente o aprimoramento dos alunos em relação a conceitos iniciais da eletrodinâmica de forma significativa que foram sendo construídos ao longo das aulas do produto até a sua conclusão dentro da proposta, com o funcionamento, a transformação de energia, o consumo de energia e por fim o possível reparo de uma lâmpada de LED que fora identificada como “queimada” em um determinado momento.

A UEPS foi exitosa pois os estudantes foram capazes de retirar dúvidas daqueles que assistiram a apresentação, tais como:

“Mas como saberei qual é o Led que está queimado?” (ENTREVISTA, 2024)

“Se um Led queimou, como os demais Leds podem continuar funcionando?” (ENTREVISTA, 2024)

“As lâmpadas de Led, esquentam muito?” (ENTREVISTA, 2024)

Por fim, na oficina de reparos, a aprendizagem significativa da proposta promoveu saberes e habilidades nos estudantes fazendo-os compartilhar os mesmos com os demais estudantes da Unidade Escolar. A oportunidade da interatividade proposta na oficina que promove a aproximação dos estudantes de mesmo ou de outros períodos foi muito frutífera para todos os participantes, sejam apresentadores ou a plateia.

As atividades contidas na UEPS foram realizadas integralmente por todos os estudantes. Ao final, foi notório perceber o compartilhamento de saberes por parte dos alunos ao serem capazes de realizar rapidamente e entusiasticamente as tarefas propostas. Nesses momentos, o professor se posicionou como facilitador, sempre interagindo com os alunos com pequenas orientações que direcionavam a execução das atividades, nas quais os estudantes foram capazes de superar os desafios presentes nelas.

VI. CONCLUSÃO

Foi possível desenvolver uma UEPS sobre o ensino de eletrodinâmica para alunos de 2º ano em uma escola pública na periferia da cidade de Mauá. Nessa UEPS levou-se em consideração atividades para promover o diálogo com os alunos sobre a sustentabilidade e atividades experimentais como montagem de circuitos elétricos e reparos de lâmpadas LED para promover a interação entre os alunos pelo conhecimento e aproximar problemas cotidianos para o conhecimento formal desenvolvido na escola.

As atividades de diferenciação progressiva foram fundamentais para aproximar os conhecimentos e conceitos novos e formais da eletrodinâmica aos subsunçores presentes nos alunos. O fomento do diálogo em temas presentes no cotidiano entre aluno-professor e aluno-aluno motivou o interesse do conhecimento e proporcionou a aprendizagem significativa determinada por Ausubel. De fato, a análise dos dados obtidos na avaliação quantitativa mostrou um aumento de acertos em relação a mesma atividade antes do aluno ter passado pela UEPS e a participação da Unidade de Ensino, a postura dos alunos e a qualidade dos diálogos observados na oficina permitiu a análise da avaliação qualitativa como sendo favorável evidente para a ocorrência na turma de uma aprendizagem significativa.

De fato, a oficina colocou o verdadeiro e sonhado papel da educação na sociedade pois, conforme já mencionado anteriormente, fez com que houvesse a comunhão de experiências pessoais emaranhado com os conhecimentos formais presentes no ensino de eletrodinâmica em aulas de física do ensino médio.

Editora Responsável: Maria de Fátima da Silva Verdeaux

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT IEC TS 62504:2013 Iluminação de estado sólido (SSL) Termos e definições*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AUSUBEL, D. P. *Educational psychology: a cognitive view*. 1. ed. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968, 685 p.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Educational psychology: a cognitive view*. 2. ed. Nova York: Holt, Rinehart and Winston, 1978, 733 p.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <<https://www.bncc.mec.gov.br>>. Acesso em: 26 ago. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais +: Ensino Médio*. Brasília, DF: MEC/SEMTEC, 2002.

CASTRO, F. F. et al. *Transição energética para fontes de energia renováveis e sua dependência por minerais críticos: aspectos geoeconômicos*. Brasília, DF: Ipea, out. 2024.

ENTREVISTA, Entrevista concedida ao autor. Mauá, jun. à set. 2024.

GRIFFITHS, D. J. *Introduction to Electrodynamics*. 4th ed. Boston: Pearson, 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentals of Physics*. 10th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013.

HANSEN, J.; SATO, M.; RAMANATHAN, V. et al. *Global warming in the pipeline*. 2022. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2212.04474>>. Acesso em: 14 fev. 2025.

KITTEL, C. *Introduction to Solid State Physics*. 8th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2005.

LIMA, R. A. A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima. *Revista Eletrônica Direito e-Nergia*, v. 5, n. 4, p. 1-27, 2012.

MENEZES, C.; PIRES, M. O. C. *UEPS para o ensino de energia elétrica sustentável*. Disponível em: <<https://sites.google.com/view/led-em-ueps/in%C3%ADcio>>. Acesso em: 27 nov. 2024.

MIRANDA, I. R. S.; JÚNIOR, C. A. B. S. Uma proposta de ensino de eletrodinâmica com o método Peer Instruction. *Revista do Professor de Física*, v. 4, n. 2, p. 130-144, Brasília, 2020.

MOREIRA, M. A. *Teoria de aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda., 1999.

MOREIRA, M. A. *Teoria da Aprendizagem Significativa: Implicações para a Instrução*. Brasília: Editora UnB, 2006.

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

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS IPCC. *Resumo para formuladores de políticas*. In: Mudança do Clima 2023: Relatório de Síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Equipe de Redação Principal, H. Lee e J. Romero (eds.)]. Genebra, Suíça: IPCC, 2023.

PHET. *Condutividade*. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/conductivity>. Acesso em: 26 ago. 2024.

PNE2050, *Plano Nacional de Energia 2050*. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.

SANTOS, T. S. *et al.* Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 4, p. 595602, 2015.

UNIVERSAL, C. *A Conspiração da Lâmpada: versão estendida do documentário exclusivo legendado*. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ERcC3fjOnpA>>. Acesso em: 26 ago. 2024.