

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS CONSIDERANDO A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS: UMA PROPOSTA PARA ENSINAR FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO

Open Problem Solving considering Meaningful Learning and Conceptual Field Theory: A proposal to teach Quantum Physics in High School

Giovana Espíndola Batista (giovanabatista@gmail.com)

Ederson Staudt (ederson.staudt@uffs.edu.br)

Jorge Rodolfo Silva Zabadal (jorge.zabadal@ufrgs.br)

Karen Cavalcanti Tauceda (ktauceda@gmail.com)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Campus Litoral Norte

Rodovia RS 030, 11.700, Km 92 CEP 95590-000 – Tramandaí – RS.

Recebido em: 18/05/2020

Aceito em: 15/09/2021

Resumo

O presente trabalho tem o objetivo de produzir uma análise da estratégia de resolução de problemas abertos com o enfoque da Aprendizagem Significativa e da Teoria de Campos Conceituais. Assim, busca-se aperfeiçoar as habilidades de investigar, interpretar e resolver situações-problemas de maneira a promover a autonomia do aluno. Metodologicamente foi realizada uma sequência didática para a resolução de problemas abertos, com a abordagem dos conceitos de física quântica, relacionando-os aos avanços tecnológicos e científicos considerando pressupostos teóricos da aprendizagem significativa e dos campos conceituais. A proposta foi desenvolvida no decorrer do ano de 2018 em uma turma de 3º ano do Ensino Médio de uma escola da rede pública estadual situada em Porto Alegre - RS. Dentre os resultados obtidos, pode-se destacar a maior participação em aula, autonomia para realizar investigações e trabalhar em grupo e capacidade para interpretar questões mais complexas. Em razão disto, conclui-se que a metodologia dos problemas abertos aliada à teoria da Aprendizagem Significativa e dos Campos Conceituais contribui para desenvolver as habilidades pertinentes ao ensino da física e indica possibilidades para uma aprendizagem significativa e contextualizada, considerando conhecimentos cotidianos e da física quântica no âmbito escolar, relacionando-os também com o debate sobre os avanços científicos e tecnológicos desta temática.

Palavras chaves: Problemas abertos, Ensino de física, Campos Conceituais, Aprendizagem Significativa

Abstract

The present work aims to produce an analysis concerning the strategy of solving open problems with the approach of meaningful learning and the Theory of Conceptual Fields. Thus, it seeks to improve the investigative skills, interpretation and solving of problem situations in order to promote student autonomy. Methodologically, a didactic sequence was performed to solve open problems, with the approach of quantum physics concepts relating them to technological and scientific advances. The proposal was developed over the course of 2018 in a 3rd year high school class at a state public school located in Porto Alegre - RS. Among the results obtained, we can highlight the greater participation in class, autonomy to carry out investigations and work in groups and discernment to interpret more complex issues. Because of this, it has been concluded that the methodology contributes to develop the skills relevant to the teaching of physics and indicates possibilities for meaningful and

contextualized learning, considering everyday knowledge and quantum physics in the school environment, also relating them to the debate about scientific and technological advances in this area.

Keywords: Physics teaching, Conceptual Fields, Meaningful Learning

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas os avanços científicos têm aguçado o interesse dos jovens para temas relacionados à tecnologia, e aprender Física Contemporânea é imprescindível para compreendê-los. Frente a tais desafios é necessário e motivador pensar estratégias de ensino que os contemple. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) também orientam para a necessidade de modernização no ensino de física incentivando a aludir tópicos de Física Contemporânea. Pereira (1997) defende que é função da escola incluir no seu currículo de Ciências Naturais e Sociais os assuntos relevantes a compreensão do mundo contemporâneo para a formação de um cidadão esclarecido sobre o que o cerca.

Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de articular a teoria dos Campos Conceituais (TCC) e a Aprendizagem Significativa (AS) para apresentar uma abordagem contextualizada, especificamente da Física Quântica, e que permita, de um modo geral, a compreensão da ciência enquanto construção humana além de suas contribuições e implicações para o desenvolvimento tecnológico e social. Para tanto, optou-se pela estratégia de resolução de problemas abertos que, dentre outros, pode contribuir para que os alunos desenvolvam a capacidade argumentativa e a autonomia na busca de informações para a construção do seu conhecimento e por consequência, melhorar a aprendizagem destes conceitos. Segundo Echeverría e Pozo (1998), o objetivo principal da aprendizagem através da resolução de problemas abertos é desenvolver no aluno o hábito de enfrentar a aprendizagem como um desafio, para o qual se deve, além de encontrar uma resposta, compreender a sua construção. De acordo com estes autores, a metodologia possibilita ao aluno estabelecer relações entre o conteúdo e o cotidiano, instiga sua curiosidade, fomenta a argumentação e o debate, estimula a confiança na tomada de decisões para resolver o problema desenvolvendo o pensamento crítico ao induzir a análise e a interpretação de dados.

A metodologia e a análise dos resultados encontrados neste trabalho estão norteadas nos referenciais da teoria (TCC) de G. Vergnaud e da (AS) de D. Ausubel.

As situações-problemas abertos oportunizam a ressignificação dos conceitos através do trabalho colaborativo e investigativo. Segundo Vergnaud (2017), é através das situações/problemas que gradualmente um conceito vai adquirindo sentido para o sujeito. Para Ausubel (2011), uma maneira de evidenciar a aprendizagem significativa é propor diferentes problemas que exijam a máxima transformação do conhecimento adquirido.

A proposta é promover uma abordagem contextualizada e inovadora sobre os conceitos da Física Contemporânea para a aprendizagem significativa e a alfabetização científica apropriada aos nossos dias. É importante destacar que esta reflexão decorre de parte das conclusões construídas no trabalho Resolução de problemas abertos: uma proposta para o ensino de Física Quântica (Batista, 2019).

Assim, a questão orientadora da pesquisa é: Os problemas abertos, considerando suas interlocuções com as teorias/metodologias da AS e TCC, podem contribuir na melhoria da aprendizagem em física quântica, considerando seus aspectos conceituais relacionada à Física

Contemporânea, e a contextualização com a evolução da ciência e tecnologia, considerados temáticas atuais ¹?

2. PROBLEMAS ABERTOS E A RELAÇÃO COM A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E COM OS CAMPOS CONCEITUAIS

Nos problemas abertos, ou de enunciados intencionalmente incompletos, não são informados todos os dados necessários para a sua resolução direta/imediata e, conseqüentemente, não há uma resolução pré-estabelecida. De acordo, como Gil Pérez (1992), os problemas abertos são situações de dificuldades para as quais não existe uma solução definida, incentivando assim uma atividade investigativa por parte do solucionador. Ou seja, são considerados problemas abertos as situações que oportunizam a reflexão por parte do solucionador, a projeção de hipóteses e a tomada de decisões na busca de resolvê-los. Portanto, a cada releitura uma nova condição de hipótese poderá ser estabelecida o que, eventualmente, poderá resultar numa solução distinta da(s) anterior(es).

As questões abertas são genuinamente problemáticas e assemelham-se a tarefa fundamental do trabalho científico de investigar problemas (Gil Pérez, 1992). Para as aulas de Física a proposta de construir enunciados abertos proporciona a liberdade pela busca da solução e, conseqüentemente, permitindo o entendimento do processo de construção do conhecimento, característico da própria ciência.

A resolução de problemas abertos também pode diferenciar-se das metodologias tradicionais se estimular as pesquisas por investigação e o trabalho, permitindo explorar a comunicação e a argumentação através do debate e da troca de informações. Vergnaud (2012), atribui grande importância a conceitualização e por conseqüência a linguagem é igualmente fundamental. Portanto, para o autor, a colaboração e a interação social são fatores importantes no processo de ensino aprendizagem. Assim, o professor deve atuar como mediador na resolução dos problemas estimulando o debate, o raciocínio crítico, a participação, o trabalho colaborativo, a releitura da questão analisando e explorando diferentes aspectos.

Nesta perspectiva propor problemas abertos² oportuniza situações para construir o conhecimento. A abordagem vem ao encontro de uma didática construtivista, que permite a participação efetiva do aluno no processo de ensino/aprendizagem.

3. A TEORIA DE CAMPOS CONCEITUAIS E A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

De acordo com Vergnaud (1998), o conhecimento está organizado em campos conceituais, que o sujeito se apropria ao longo do tempo por meio da experiência, da aprendizagem e da maturidade. Um campo conceitual é definido como um conjunto de diferentes problemas, situações, conceitos, relações, estruturas de conteúdos e operações de pensamento, que no processo de aquisição, conectam-se uns aos outros.

O conceito torna-se significativo através da variedade de situações e de problemas que o aluno encontra e progressivamente domina. Isso significa que a resolução de problemas, ou as

¹ Gil Pérez e Solbes (1993) discorrem justificativas em prol da introdução da Física Contemporânea na Educação Básica, entre elas, possibilitar ao estudante perceber a influência da Física Contemporânea na sociedade, seja em termos das aplicações tecnológicas, como também pela influência no pensamento e na cultura do seu tempo.

² As situações-problemas abertos são consideradas materiais potencialmente significativos, pois a organização metodologia permite que o aluno resolva as situações considerando seus conhecimentos prévios, e este, consideram a realidade e conhecimentos de cada aluno.

situações de resolução de problemas, são essenciais para a contextualização e aquisição de conhecimento (Moreira, 2002).

Outro conceito fundamental para Vergnaud é o de esquema. O autor chama de esquema a organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações. Ou seja, os esquemas são constituídos dos invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação), a organização e resolução de um determinado problema depende dos conhecimentos contidos nos esquemas.

Nesse sentido, cabe ao professor o papel fundamental de identificar os invariantes operatórios para auxiliar o aluno a ampliar, reorganizar e a diversificar seus esquemas, tornando-os capazes de enfrentar situações cada vez mais complexas. Para tanto, as situações devem ser enriquecedoras, diversificadas e dentro da zona proximal do aluno, pois é através da ação que o sujeito desenvolve e adquire novos esquemas.

No intuito de atingir a zona proximal do aluno, é necessário identificar quais são suas concepções prévias e tais concepções devem ser consideradas como precursoras dos conceitos científicos a serem construídos. De acordo com Moreira, as ideias de Vergnaud sobre os conhecimentos prévios assemelham-se aos de Ausubel e a AS Para Ausubel (2011), o conhecimento prévio é o principal fator, que influencia a aquisição de novos conhecimentos.

A aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação se ancora em conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz e, na medida em que novos conceitos são aprendidos de maneira significativa, ocorre o crescimento e elaboração do subsunçores iniciais (Moreira, 2011). Desta forma, percebe-se que nas duas perspectivas teóricas AS e CC os conhecimentos prévios dos alunos são fator de relevância que facilita e enriquece o trabalho do professor, pois indicam o ponto de partida do seu trabalho.

Para Vergnaud a concepção de Campo Conceitual é progressiva e não substitutiva. Assim, o domínio de certo Campo Conceitual é um processo lento e progressivo. Portanto, uma aula expositiva, com a apresentação de teorias, mesmo que de maneira clara, objetiva e organizada, pode ser insuficiente para a aprendizagem. O autor chama esta prática de “ilusão pedagógica”, porque é através de situação de resolução de problemas que os conceitos se desenvolvem e através destas situações que os conceitos se tornam significativos para o aluno. Cabe observar que, embora a resolução de problemas seja essencial para a conceitualização, de acordo com Vergnaud (1990 apud Moreira 2002, p.211), um problema não é um problema para um indivíduo a menos que ele tenha conceitos que o tornem capaz de considerá-lo um problema para si mesmo. Novamente, é fundamental conhecer as concepções prévias do aluno no intuito de fornecer situações ou problemas que despertem seu interesse em resolvê-las, pois situações já conhecidas ou compreendidas de nada contribuem para o processo desejado. Inversamente e no mesmo sentido, situações demasiadamente complexas contribuem para o desânimo ou desistência da atividade.

Portanto, o domínio de um campo conceitual não é um processo rápido, mas as dificuldades serão superadas na medida em que forem enfrentadas. A resolução de problemas também tem um papel de destaque na A S. Moreira (2002, p. 164) afirma que para Ausubel, a resolução de problemas, em particular de situações problemáticas novas e não familiares que requerem máxima transformação do conhecimento adquirido, é a principal evidência da aprendizagem significativa.

Outro fator de relevância na A S de acordo com Moreira (2002) é a linguagem, ou seja, uma vez aprendido determinado conceito o aluno conseguirá explicá-lo com suas próprias palavras. Assim, oportunizar e estimular momentos que permitam a oralidade do estudante é fundamental porque através da fala o aluno consegue expressar sua compreensão sobre determinado conceito, revelando ao professor quais conceitos foram assimilados. Na apresentação de resultados através da escrita, algumas vezes, essa demonstração é ocultada pela transcrição do conceito sem compreensão. Assim, a aprendizagem de resolução de problemas permite desenvolver várias habilidades que

oportunizam aprendizagens significativas, permitindo cada vez mais autonomia ao aluno sobre as formas de resolução.

Portanto, para a TCC as diferentes situações permitem a análise da forma predicativa (oralidade e escrita) e da forma operatória (agir em ação) sendo, neste contexto, as situações-problemas abertos a estratégia metodológica que oportuniza espaços para emergir tais informações. E, de posse de tais informações, é possível diagnosticar e agir para tornar a aprendizagem significativa, propondo modificações na estrutura conceitual dos problemas abertos/situações-problema.

3. METODOLOGIA

A sequência didática foi desenvolvida através do trabalho colaborativo em grupos sendo que os alunos foram orientados para organizarem-se em grupos de trabalho por afinidade. O grupo é fundamental para o desenvolvimento desta proposta, pois possibilita a troca de informações, a argumentação e o esclarecimento de dúvidas. Também oportuniza que, no decorrer do processo, os problemas sejam organizados e distribuídos conforme as dificuldades e necessidades reveladas por cada grupo, identificação que será possível com o olhar atento do professor. Posteriormente, a sequência didática foi dividida em quatro etapas de modo a avaliar adequadamente a evolução dos alunos na execução das atividades. Os momentos principais foram os seguintes:

1º momento: Mobilizar os organizadores prévios através de um questionário investigativo, tendo como principal objetivo identificar os subsunçores dos discentes. De acordo com Ausubel (1980), os organizadores prévios são “pontes cognitivas”, ou seja, materiais introdutórios que permitem ao professor perceber quais são os conhecimentos dos alunos acerca do assunto e partir desta informação de modo a sanar carências evidenciadas para fazer a ancoragem dos novos conceitos. As respostas obtidas no questionário serviram de subsídios para o debate inicial sobre o assunto.

Após esse primeiro momento, a sequência didática sempre ocorreu de maneira cíclica através dos seguintes momentos.

2º momento: Aulas dialogadas-expositivas e com situações problematizadoras. Os diálogos-expositivos iniciais serviram para investigar as concepções iniciais dos alunos acerca dos conceitos, ou seja, conceitos-em-ação, com breve explanação sobre determinados assuntos relevantes para a compressão dos conceitos. O objetivo era fornecer subsídios para a resolução das situações-problemas. Após eram entregues distintos problemas abertos para os diferentes grupos. Neste momento foi disponibilizado o laboratório de informática e acesso à biblioteca para que os estudantes efetuassem as consultas necessárias para a construção das respostas.

3º momento: Resolução dos problemas. Com o propósito de que a metodologia de resolução de problemas abertos seja significativa é imprescindível a participação efetiva do aluno, ou seja, que ele se envolva na leitura e interpretação do problema, selecionando corretamente as informações pertinentes dentre as tantas encontradas e identificar as que estão faltando, elaborando hipóteses e sintetizando respostas, colaborando com os debates, expondo e argumentando suas ideias e construindo continuamente novos significados a partir dos estudos desenvolvidos. Para tanto é fundamental orientar o aluno para quais itens são necessários na resolução de problemas sem a totalidade de dados. Assim, as orientações das etapas de resolução dos problemas estão baseadas nas ideias de dois autores. No primeiro, (G. Polya, 1995) percebemos a importância das etapas seguintes:

a- Compreender o problema - Ler e reler o problema percebendo claramente o que é necessário para reunir informações sobre o problema; O que se quer? O que é desconhecido?

b- Delinear um plano - Selecionar as informações pertinentes e delinear como serão utilizadas. Quais informações são importantes? Como será resolvido?

c- Implementação do plano: Executar o plano traçado para a resolução;

d- Olhar retrospectivamente: o solucionador deve avaliar a solução obtida. Nenhuma informação foi deixada de lado? É possível encontrar outra resposta? É possível verificar o resultado? A retrospectiva é fundamental para análise e entendimento do problema.

A identificação das fases indica o caminho a ser percorrido no sentido de auxiliar na resolução. No segundo, (Pozo ,1998), extraímos que durante a resolução do problema é vital:

a- Habituar o aluno a tomar suas próprias decisões e refletir sobre as mesmas, dando-lhe autonomia;

b- Fomentar a cooperação entre os alunos, incentivar o debate sobre os diversos pontos de vista e analisar as soluções diferentes;

c- Realizar um trabalho de apoio dirigido para fazer perguntas ao invés de dar as respostas às perguntas dos alunos.

Assim, para melhor análise dos processos construídos pelos alunos durante a resolução dos problemas abertos, foi solicitado aos estudantes que descrevessem as etapas de resolução, tais como: a interpretação do problema, as hipóteses lançadas que pudessem ser relevantes para a compreensão e elaboração de uma solução mais detalhada, as investigações citando as informações encontradas em sites e nos livros e a respectiva solução. Os procedimentos cognitivos coletados no decorrer das resoluções em grupo, através da escrita e da oralidade, demonstram as interações dos esquemas-situações. Vergnaud (2011), considera o conceito de esquema composto por conceito-em-ação e teorema-em-ação como a base conceitual implícita ou explícita que permite obter as informações pertinentes para abordar determinada situação.

4º momento: Apresentação da solução do problema. Nas aulas destinadas às apresentações dos problemas, cada grupo leu o seu problema e comentou a sua resolução. Após as apresentações, as resoluções foram debatidas com toda a turma, com o intuito de explorar as hipóteses propostas e as respostas construídas com a retomada dos conceitos trabalhados na aula dialogada, estabelecendo relações entre o conceito e suas aplicabilidades. Para Moreira (2012), a oralidade é fator importante na AS e na TCC pois contribui para transformar o conhecimento implícito em explícito fator fundamental para o ensino de ciências.

Assim, a análise das respostas dos alunos na resolução dos problemas abertos/situações-problemas significativos, considerou a perspectiva dos pressupostos da AS e da TCC.

4. CONTEXTO DA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO

A sequência didática foi desenvolvida durante 27 aulas, seguindo os momentos descritos acima, em uma turma de 3º ano do Ensino Médio com 28 alunos no ano de 2018. A escola faz parte da rede estadual de ensino e é localizada na região central de Porto Alegre, contemplando o Ensino Médio e o técnico profissionalizante.

No 1º momento - as concepções prévias identificadas através do questionário investigativo foram subsídios fundamentais para a elaboração dos primeiros problemas contribuindo para a diferenciação progressiva e após, para a reconciliação integradora.

Em seguida, a metodologia de resolução de problemas abertos foi desenvolvida, considerando o desenvolvimento dos momentos (2º,3º,4º) de forma cíclica, conforme explicado anteriormente.

Assim, os problemas foram implementados com progressivo aumento do grau de dificuldade. Sendo que os primeiros problemas tinham como objetivo explorar as concepções prévias como também instruir o aluno para a metodologia. Na fase inicial os problemas não oferecem grandes dificuldades conceituais. Posteriormente, na medida em que o aluno se apodera do método e vai adquirindo confiança, desenvolvendo a autocrítica e adquirindo subsídios mais elaborados, os problemas tornam-se mais complexos.

É importante frisar que os aspectos considerados estão em consonância com a TCC. Conforme Vergnaud (2013), o papel do professor é o de suscitar situações problemas cuidadosamente selecionadas em nível crescente de complexidade para mediar e analisar a captação de significados por parte do aluno.

Ademais a Base Nacional Comum Curricular orienta para um conjunto de capacidades a serem alcançadas no ensino de ciências que são: a comunicação, a investigação, a compreensão e a contextualização sociocultural. Tais capacidades são desenvolvidas no decorrer das etapas de resolução dos problemas abertos demonstrando que a metodologia está em consonância com as capacidades pertinentes ao ensino de ciências. Neste trabalho serão apresentados a resolução de três problemas abertos pertinentes para a compreensão da quantização da energia e suas consequências.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES DO ORGANIZADOR PRÉVIO:

A física é organizada em vários campos conceituais como, por exemplo: Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo, Ondulatória. No âmbito da Física Quântica vários são os conceitos que permeiam esse Campo Conceitual tais como: o espectro de radiação de um corpo, quantização da energia, efeito fotoelétrico, dualidade onda-partícula, função de onda, etc. O objetivo neste trabalho é analisar a aprendizagem dos conceitos do espectro de radiação de um corpo e da quantização da energia. Tais conceitos foram inicialmente abordados através de um questionário investigativo (organizadores prévios) e no decorrer da sequência didática com específicas situações-problemas.

Assim, o questionário investigativo (organizador prévio)³, constituído de questões problematizadoras é o ponto de partida do trabalho desenvolvido e abordava questões ordinárias, ou seja, explorava situações do dia-a-dia e de fácil compreensão. O objetivo era investigar as concepções prévias dos alunos acerca da Física Quântica, ou seja, seus subsonçores. Abaixo decorre a transcrição das respostas mais recorrentes do questionário investigativo e análise desta sondagem inicial.

1º problematização: Qual é a distinção entre a Física Clássica e a Física Contemporânea?

Sujeito A: *A Física Clássica era estudada antigamente e a Física Contemporânea são os estudos atuais.*

Sujeito B: *Não sei qual é a diferença, mas sei que a Física Contemporânea está relacionada a nanotecnologia.*

³ Para Ausubel os organizadores prévios são materiais introdutórios. Para, Moreira (2011) os organizadores são “pontes cognitivas” que servem para estabelecer relações e conexões entre o que o aluno já conhece e o que deve ser aprendido.

A Física Contemporânea (FC) permeia os meios de comunicação através da divulgação de informações em jornais e revistas sobre os estudos tecnológicos realizados nesta área. Ao analisar as respostas, se percebe que um número significativo de discentes assimilam a relação entre as tecnologias atuais e a FC e estas percepções foram exploradas, no decorrer das aulas, para aguçar o interesse na compreensão desta área do conhecimento. Os conteúdos relacionados a Física Clássica são comumente explorados ao longo dos três anos no Ensino Médio, portanto, como as concepções da FC ainda não foram exploradas, já era esperado que os discentes não apresentassem conhecimentos prévios acerca da diferenciação entre as duas áreas de estudos. Neste sentido, o objetivo da questão era promover uma reflexão inicial sobre a distinção entre a Física Clássica e Contemporânea e fornecer ideias-âncora⁴ para desenvolver um olhar atento a esta problematização.

Ademais, as respostas apresentadas no questionário investigativo foram o ponto de partida para uma aula dialogada e expositiva que explorou o contexto histórico e científico no início do século XX dando início as concepções iniciais relacionadas à Física Quântica.

2º problematização: Quais fatores contribuíram para o surgimento da Física Quântica?

Sujeito A: *As novas tecnologias.*

Nesta questão, um número significativo de alunos não conseguiu estruturar a solução. Ademais, há uma visão equivocada em algumas respostas, pois, na maior parte o avanço tecnológico advém dos estudos realizados nesta área e não o contrário. Para a compreensão das ideias iniciais da Física Quântica, é necessário perceber as barreiras conceituais encontradas na Física Clássica, principalmente com relação as explicações da radiação térmica, no que se refere ao estudo da radiação do corpo negro. Portanto, a resolução da problematização é informação não familiar ao discente o que pressupõem a inexistência de conhecimentos prévios. Assim, o objetivo da questão eram fomentar e instigar a percepção do advento da Física Quântica. Neste contexto, as problematizações servem como ancoragem inicial e possibilitam que no decorrer da metodologia novos subsonçores sejam elaborados para a compreensão das ideias iniciais que colaboram para o surgimento da Física Quântica.

Como já explicado anteriormente as respostas apresentadas no questionário investigativo foram lançadas na primeira aula expositiva e fomentaram o debate inicial.

3º problematização: Qual é o significado da palavra quantum?

Sujeito A: *A palavra quantum significa a quantidade de elementos químicos.*

Sujeito B: *Se refere a certa quantidade.*

⁴ De acordo, com Moreira (2011), os organizadores prévios podem fornecer ideias relevantes para a aprendizagem significativa do novo material ou suprir a falta de conceitos, ideias ou proposições importantes para a aprendizagem desse material.

Verifica-se que muitos alunos estruturam uma analogia entre a palavra quantidade e quantum, nas suas respostas fica perceptível essa expertise, porém não conseguem identificar a que aspecto isso se refere, outros definiram como sendo a quantidade de elementos químicos e alguns desconheciam o assunto. O objetivo desta problematização é a familiarização com o termo quantum, pois a compreensão da quantização da energia como uma solução matemática para o problema da radiação do corpo negro é fundamental na construção da Física Quântica. Novamente, a intenção era fomentar ideias e lançar questionamentos que se conectem com os assuntos posteriormente abordados.

4º problematização: Atualmente, a maioria das portas de lojas, shoppings, supermercado abrem automaticamente devido a um sensor fotoelétrico. Como funciona tal dispositivo?

Sujeito A: *As portas abrem automaticamente devido a um sensor com percepção de calor.*

Sujeito B: *Isso ocorre devido ao sensor que capta o movimento de aproximação das pessoas.*

Em virtude, das inúmeras aplicabilidades cotidianas do efeito fotoelétrico e a familiaridade tecnológica destes dispositivos, tais como: controle automático de portas de elevadores, sistemas de iluminação de residências e alarmes de segurança, alguns conhecimentos prévios foram identificados. Algumas respostas abordam a função do sensor de detectar e responder a estímulo como, por exemplo, calor, movimento e luz. As células fotoelétricas são comumente reconhecidas, nestes dispositivos, e associadas como sensores capazes de medir a intensidade luminosa. Embora o termo, células fotoelétricas, não foi citado em nenhuma resposta, é possível que a compreensão básica do seu funcionamento permeie as concepções iniciais dos educandos. Isso revela, como mencionado inicialmente, o contato dos estudantes com os resultados tecnológicos, mas o desconhecimento de sua origem ou teoria de formulação que permite a sua concepção.

As primeiras problematizações oportunizaram um olhar inicial acerca da FC, desenvolvendo uma atmosfera que foi explorada, no decorrer da metodologia, para assimilar significativamente novos conhecimentos. A metodologia de resolução de problemas abertos permite que, a cada problema debatido, os conceitos trabalhados sejam novamente retomados e explorados, aprimorando e ampliando a aprendizagem.

Para Moreira (2011), ao entrar em contato com materiais potencialmente significativos, progressivamente o subsunçor vai ficando mais estável, mais rico em significado, facilitando cada vez mais novas aprendizagens. Assim, as respostas obtidas no questionário investigativo demonstraram os subsunçores utilizados pelos estudantes e de posse destas informações, o objetivo era ressignificar a compreensão dos conceitos e fornecer novos elementos pertinentes a consolidação da aprendizagem significativa. Para tanto, foram elaborados problemas abertos que oportunizaram a reflexão das concepções anteriores, bem como, no decorrer dos debates das resoluções apresentadas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS PROBLEMAS ABERTOS

Serão apresentados neste trabalho a resolução de algumas situações-problemas pertinentes para a compreensão de como a TCC corrobora para a AS e conseqüentemente, para o ensino de Física. A escolha das situações/problemas abertos é decorrente das expressivas informações apresentada pelos grupos e coletadas pela professora durante o processo de resolução.

É necessário elucidar que, as informações apresentadas a seguir são oriundas das observações da professora através da oralidade e da escrita apresentadas pelos educandos e que permeou toda a sequência didática.

A oralidade presente nos debates iniciais, na negociação de ideias para a resolução do problema e na apresentação da solução, como também, a escrita através da interpretação inicial do problema, das hipóteses geradas e da elaboração da resolução são informações preciosas para a prática docente. Estas informações são indicativos dos conhecimentos implícitos dos discentes. E, de acordo com Vergnaud (2017), cabe ao professor identificar os conhecimentos implícitos (invariantes operatórios) dos alunos por meio de diagnósticos/processos investigativos e torná-los explícitos.

No concernente a resolução dos problemas abertos que estão descritas abaixo e pertencentes aos momentos 2º, 3º e 4º de desenvolvimento da metodologia:

1º Situação-problema: Partindo do fato de que todos os corpos irradiam energia, explique por que normalmente não conseguimos enxergar pessoas e alguns corpos no escuro?

Objetivo da questão: Retomar as concepções abordadas no questionário investigativo (perguntas 1 e 2). Explorar os conceitos do espectro de radiação de um corpo e quantização da energia.

Hipótese do grupo: *Não enxergamos pela ausência da luz.*

Ao elaborar a hipótese o grupo demonstra quais são os conhecimentos prévios sobre o assunto, para tanto, utiliza-se dos esquemas evidenciando os possíveis invariantes operatórios existentes na estrutura cognitiva. De acordo, com Vergnaud (2017), os alunos utilizam de invariantes operatórios implícitos que, em muitos casos, são equivocados ou errôneos para resolver determinada situação, tornar esses conhecimentos explícitos contribui para a elaboração dos verdadeiros conceitos científicos.

Possíveis invariantes operatórios apresentados até o momento de acordo com a hipótese do grupo:

- A luz visível é a única radiação emitida pelo corpo.

Conforme explicado anteriormente, antes da entrega das situações-problemas, ocorre uma aula expositiva e dialoga, na qual foi possível investigar os conhecimentos prévios demonstrados pelos alunos, soma-se a isto as informações coletadas no questionário investigativo. Portanto, percebe-se que no decorrer destes três momentos diferentes (questionário investigativo - aula dialogada – hipótese elaborada pelo grupo) as respostas estão em concordância com os conceitos da Física Clássica.

Assim, constata-se que após explanar em aula que a radiação é o processo de transferência de energia por intermédio de ondas eletromagnéticas e explicar o conceito de corpo negro, essa abordagem é deficitária. Pois, o grupo, ao elaborar a hipótese do problema, associa radiação apenas como a parte de luz visível do espectro eletromagnético. Estas concepções são coerentes com a óptica geométrica abordada pela Física Clássica.

Para alcançar o domínio do novo Campo Conceitual, ou seja, a Física Quântica, é necessário reorganizar as ideias e compreender os limites teóricos da Física Clássica. Neste sentido, os debates têm papel fundamental para consolidar a aprendizagem dos conceitos necessários. Ademais, Vergnaud (2017), esclarece que a compreensão de um Campo Conceitual é morosa. De acordo com

Pozzo (2009), aprender Física requer uma mudança conceitual nas estruturas que sustentam as supostas teorias dos alunos.

Solução apresentada: “... a radiação emitida por um corpo depende de sua temperatura. Com o aumento da sua temperatura o corpo emite mais radiação térmica...”.

Ao resolver o problema o grupo demonstrou incoerência entre a sua hipótese e sua resolução, o que talvez configure em uma reorganização dos seus conhecimentos prévios no decorrer da resolução do problema. Esta mudança é um dos objetos da metodologia, se almeja que durante o processo de investigação o grupo consiga refletir e reavaliar a sua hipótese modificando e reorganizando suas ideias. E, por intermédio deste movimento, construa e consolide a sua aprendizagem. O grupo, também demonstrou compreender a relação existente entre temperatura e radiação térmica, porém, apresentou dificuldades na interpretação da solução do problema sobre o aspecto da correlação entre temperatura, emissão da radiação e frequência. Novamente, os conceitos da Física Clássica permeiam a explicação da solução do problema através da relação infinita entre aumento de temperatura e radiação emitida pelo corpo. Sendo assim, embora o grupo tenha compreendido a relação entre temperatura e frequência é necessário reorganizar a compreensão sobre o conceito de quantização.

Quais os possíveis invariantes operatórios utilizados na resolução do problema:

- A radiação emitida pelo corpo é proporcional a sua temperatura.

Ao analisar os invariantes operatórios é possível perceber a que distância o grupo encontra-se dos conceitos científicos almejados.

A situação-problema explora a relação entre frequência e energia e esta relação é fundamental para a compreensão do campo conceitual de quantização da energia. Todos os corpos irradiam energia na temperatura ambiente, essa energia concentra-se na região do infravermelho, ou seja, de frequência na ordem de 10^{12} Hz do espectro eletromagnético. Assim, essa radiação não é visível, pois a frequência que sensibiliza nossa retina encontra-se na frequência da ordem de 10^{14} Hz.

Assim, entende-se que à ação do professor deve ser a de ajudar o aluno a construir conceitos e teoremas explícitos e cientificamente aceitos.

As perguntas são algumas das intervenções, propostas pela professora, no decorrer do debate com o objetivo de aprofundar ideias e reorganização da solução do problema:

- O que entendemos por luz?
- Qual é o conceito de corpo negro?
- Quais as características da radiação?
- Se existe uma relação entre temperatura e radiação qual é essa relação?

A metodologia de resolução de problemas abertos é uma atividade colaborativa que oportuniza a interação social e a negociação de significados e estes aspectos são fundamentais para a aprendizagem significativa de acordo com Moreira (2011).

2º situação-problema: Alguns detergentes de roupas anunciam que seus produtos deixam as roupas ainda mais brancas, mas isso se trata, realmente, de limpar profundamente o tecido e eliminar manchas por completo?

Objetivo da questão: Revisitar as concepções abordadas no problema anterior. Retomar a terceira pergunta do questionário investigativo e aprofundar a compreensão de quantização de energia.

Hipóteses do grupo: *Existe alguma diferença na composição química entre os diferentes detergentes de roupa.*

Se o detergente limpa melhor significa que foram adicionados outros produtos químicos.

Ao analisar a hipótese elaborada constata-se que o grupo apresentou dificuldade de interpretação do problema, e, portanto, não utilizou dos invariantes operatórios necessários para a sua resolução.

Possíveis invariantes operatórios apresentados até o momento:

- Composição química do sabão.

Ademais, no decorrer do processo investigativo através da oralidade foi possível constatar concepções tais como: reflexão e absorção da luz branca.

A interpretação e a investigação são caracterizadas pela procura e seleção de informação que identificam os conceitos-em-ação disponíveis pelo sujeito e nos teoremas-em-ação subjacentes à sua conduta. Ou seja, para Vergnaud (2017), os conceitos-em-ação que possuímos permitem-nos identificar elementos conhecidos nas situações que enfrentamos e os teoremas-em-ação fornecem-nos as regras que vinculam esses elementos e que nos permitem resolver uma dada situação e agir em consequência.

Solução apresentada: *A função do sabão é quebrar a tensão superficial da água. O sabão possui em sua composição uma parte apolar que interage com as moléculas de gordura e uma parte polar que interage com a água. A eficiência do sabão está relacionada com a quebra da película da água permitindo que ele penetre no tecido e remova a sujeira.*

Como o grupo interpretou o problema inadequadamente não conseguiu estabelecer relação com os conceitos abordados em aula e, conseqüentemente, não obteve êxito na sua resolução.

Quais os possíveis invariantes operatórios utilizados:

- Ligações químicas.
- Moléculas polares e apolares.
- Reflexão da luz.

A metodologia utilizada permite sempre, a cada releitura do problema, a reorganização das ideias.

A segunda situação-problema é complexa e ao debater esse problema é fundamental reconstruir a ideia de reflexão da luz, ou seja, a luz penetra no tecido ocasionando o espalhamento ressonante da luz e reemissão em certos espectros de luz visível. As diferentes substâncias presentes no sabão apresentam diferentes espectros de emissão de luz visível, ou seja, vermelho, verde, azul, entre outras, proporcionando a homogeneidade do sistema e a interpretação da emissão identificada então como luz branca. Isso então significa que visualizar as roupas mais brancas não pode ser diretamente associado a remoção de sujeiras, mas sim com a introdução de componentes que aumentam o espectro de espalhamento da luz visível.

Assim, foi possível abordar essa questão sobre diferentes enfoques e direcioná-la para o entendimento dos branqueadores ópticos abordando novos conceitos como a compreensão do espalhamento da luz e retomar os conceitos trabalhados na questão anterior.

Um ambiente que propicie a aprendizagem significativa deve retomar e abordar novos assuntos estabelecendo suas relações. No intuito reorganizar a interpretação e solução do problema algumas questões foram propostas para o debate:

A propaganda do detergente de roupa está correta? É possível “clarear” o tecido?

Ao retirar a roupa da máquina de lavar temos a percepção do tecido estar mais branco?

As problematizações realizadas pela professora neste momento contribuíram para a compreensão do problema e se evidenciou, no decorrer do debate, a compreensão dos conceitos de quantum e da quantização da energia.

Propor debates como a finalidade de reorganizar e aprofundar as ideias é fundamental pois oportuniza a verbalização dos conceitos contribuindo para a consolidação da aprendizagem. E para o docente, tais informações, corrobora com a identificação de quais as concepções ainda precisam ser construídas. De acordo, com Moreira (2011), uma proposição explícita pode ser debatida e assim o caráter do conhecimento muda se for comunicável, debatido e compartilhado.

3º situação-problema: Uma das grandes fontes da radiação ultravioleta é o Sol. Assim, para os dias de veraneio na praia é fundamental a escolha correta do guarda-sol. Imagine-se em uma loja para comprar um guarda-sol, quais modelos escolher para filtrar os raios ultravioletas e por que tais modelos filtram os raios?

Objetivo: Revisitar as concepções abordadas no problema anterior e aprofundar a compreensão do espectro de radiação de um corpo e quantização da energia.

Hipóteses do grupo: *O tipo de material e a cor devem ser considerados na compra do guarda sol.*

Através da elaboração da hipótese percebe-se que o grupo interpretou corretamente o problema e lançou ideias coerentes com as concepções abordadas nas aulas. Também se constatou melhor elaboração dos conceitos durante a aula e no decorrer do processo investigativo.

Possíveis invariantes operatórios apresentados até o momento:

- Identificação do espectro de radiação de um corpo.
- As grandezas envolvidas na emissão de radiação do corpo.

Solução apresentada: *Na compra do guarda-sol a escolha do tecido e sua cor são fatores que precisam ser considerados. Deve-se dar preferência aos tecidos de algodão e lona, evitar os tecidos de nylon e optar pelas cores mais escuras. Materiais como fibras sintéticas e com o seu interior de cor prateada bloqueiam ainda mais a radiação.*

Observou-se significativas mudanças da compreensão da metodologia pois, além do grupo resolver o problema corretamente, demonstrou clareza na apresentação de sua solução, abordando e explicando porque a espessura do tecido e a cor prateada internamente contribuem para a proteção da radiação ultravioleta. Assim, os conceitos sobre quantização da energia e as relações entre temperatura, radiação e frequência foram aprofundados no decorrer do processo.

A coerência conceitual apresentada entre a elaboração da hipótese e a aprofundada na solução do problema demonstram a consolidação dos conceitos almejados, como também a verbalização correta dos mesmos são importantes indicativos da aprendizagem significativa.

Quais os possíveis invariantes operatórios utilizados:

- Identificação do espectro de radiação de um corpo.
- As grandezas envolvidas na emissão de radiação do corpo.
- Identificação da correlação frequência e energia.
- Interação radiação e matéria.

A terceira situação-problema retoma de maneira mais abrangente os conceitos trabalhados nos dois problemas anteriores. A cor, espessura e tecido são fatores que influenciam na proteção dos raios ultravioletas. O guarda-sol de algodão ou lona por serem tecidos espessos tem uma proteção adequada, além disso, cores mais escuras apresentam melhor absorção da radiação.

Com o objetivo de aprimorar a resposta do grupo algumas questões pertinentes foram lançadas para a turma.

Por que a espessura do tecido influencia na proteção?

Existem outros fatores que influenciam na proteção e não foram abordados pelo grupo?

Ao analisar a evolução das concepções apresentadas no decorrer da metodologia, se percebe que a construção e consolidação de conceitos é um processo custoso. Para Vergnaud (2017), o domínio de certo Campo Conceitual é um processo paulatino. Assim, para a consolidação da quantização da energia foram necessários vários movimentos como: as problematizações iniciais, as situações-problemas e a fomentação de vários debates com o intuito de reorganizar os conceitos. Contudo, é necessário ressaltar que esta compreensão é inicial e compatível com o nível médio do ensino formal. Tais concepções devem e podem ser aprofundadas ao longo de outros estudos e esse processo será facilitado porque os conhecimentos necessários já existem na estrutura cognitiva do aluno.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho pretendeu desenvolver a metodologia de resolução de problemas abertos e analisá-los sobre a luz da Aprendizagem Significativa e a Teoria dos Campos Conceituais bem como identificar os invariantes operatórios utilizados pelos grupos na resolução dos problemas.

No intuito de desenvolver o campo conceitual da Física Contemporânea e enriquecer a aprendizagem elaborou-se uma sequência didática com vários problemas abertos sendo que, neste trabalho, analisamos a resolução de três situações-problemas.

O conceito que quantização de energia é fundamental para a consolidação do Campo Conceitual da Física Quântica, pois é a base conceitual inicial que a permeia e é gerador que desencadeia o estabelecimento de uma nova teoria. Neste trabalho, demonstrou-se que foram necessários três situações-problemas para construir o entendimento desse conceito, pois em consonância com a Teoria dos Campos Conceituais, são as várias situações/problemas que dão sentidos aos novos conhecimentos.

Ao analisar as primeiras soluções apresentadas pelos grupos se percebe que os subsunçores da Física Clássica permeiam as resoluções dos grupos sendo que essa postura já havia sido evidenciada em outros trabalhos que norteiam o Ensino de Física Contemporânea como, por exemplo, Greca e Moreira (2001). Os autores, afirmam que os estudantes possuem uma imagem concreta do átomo; tendem a usar os conceitos de movimento, trajetória, conservação e massa ao explicar propriedades dos átomos, ignorando as crises no desenvolvimento da Física Clássica. Neste trabalho, se percebeu a compreensão fixa sobre o conceito de energia relacionando-a de maneira contínua.

Segundo Pozo (2009) para aprender física é necessária uma mudança na lógica em torno da qual os alunos organizam suas ideias e teorias, ou seja, uma mudança epistemológica. No desenvolver da metodologia percebeu-se que mesmo após a explicação teórica inicial e a resolução do problema envolvendo o mesmo conceito, os alunos ainda demonstrava dificuldade de identificar e compreender os conceitos. Essa situação, por exemplo, foi constatada sobre a compreensão da interação da radiação com a matéria, tendo em vista de que nos primeiros problemas esse conceito não foi explorado pelos grupos durante a resolução e a apresentação da solução. Apenas na terceira situação-problema ele é identificado com um possível invariante operatório e verbalizado na apresentação evidenciando que a metodologia colaborou para a reorganização de ideias e a aproximação dos conceitos almejados. De acordo com Vergnaud (1990) campo conceitual é um conjunto de situações, cujo domínio é lento e requer o domínio de vários conceitos de natureza distintos.

As situações-problemas tem o objetivo de garantir a diversidade de conteúdos e experiências fundamentais para o domínio do campo conceitual explorado. A cada nova situação espera-se que o aluno revise, avalie e reorganize suas concepções modificando e melhorando sua compreensão dos conceitos. Ao analisar a evolução das concepções apresentadas no decorrer da metodologia, se percebe que a construção e consolidação de conceitos é um processo custoso mas possível.

A metodologia também contribuiu para melhorar a oralidade nas apresentações de trabalhos. A organização das apresentações foi estabelecida através da leitura do problema, sua resolução e posterior explicação. Neste momento, o aluno verbalizava sua explicação utilizando-se da teoria/conceitos físicos e neste esforço desenvolve sua oratória e a melhora sua compreensão dos conceitos. Ao professor, como mediador da construção do conhecimento propicia identificar e sanar as dúvidas ou conceitos mal compreendidos/formulados pelos alunos. Moreira (2011), destaca que a linguagem verbal é igualmente importante para o ensino de Física. Para Pozo (2009), o ensino de ciência deverá consistir em uma aproximação progressiva das ideias dos alunos aos conceitos científicos. Para Vergnaud (2017), um campo conceitual é o conjunto de situações problemáticas cujo domínio requer a compreensão de vários conceitos e para tanto a linguagem é fundamental.

A metodologia colabora para o desenvolvimento das capacidades pertinentes ao ensino de ciências. No decorrer das atividades a autonomia de ler e interpretar o problema, organizar, sistematizar a investigação e elaborar coletivamente a solução da questão foram habilidades desenvolvidas e fortalecidas.

Nesse sentido, percebe-se que a metodologia ensina a resolver situações-problemas de modo ativo e autônomo colaborando para a aprendizagem significativa. Pois é no exercício de resolver as inúmeras situações-problemas abertos que os alunos vão compreendendo os conceitos, significados e linguagens pertencentes a Física e através deste movimento a aprendizagem torna-se significativa.

A análise da metodologia de problemas abertos na perspectiva da Teoria de Campos Conceituais permite identificar as aprendizagens e as dificuldades conceituais dos alunos no decorrer das resoluções dos problemas. Tais informações podem ser investigadas através dos invariantes operatórios e, se necessário, corrigi-los. No intuito de contribuir para a apropriação do Campo Conceitual da Física Quântica, além de diversificar as situações-problemas é fundamental retomar os conceitos diversas vezes com o objetivo de clarificar a compreensão. Percebe-se que a metodologia favorece tais posturas e corrobora com os debates.

Ademais, para Moreira (2011) o domínio de situações prévias é importante para o domínio de novas situações, ou seja, é fundamental investigar e trabalhar com os conhecimentos prévios. O questionário investigativo teve o objetivo de investigar e lançar ideias iniciais que foram retomadas ao longo da metodologia.

Assim, quando o aluno compreende significativamente um conceito, seu esquema de ação, ou seja, seus modelos mentais são ampliados, modificados e se aproximam da alfabetização científica desejada, o que predispõe a capacidade de novas aprendizagens neste campo conceitual.

8. REFERÊNCIAS:

AUSUBEL; GIL-PÉREZ, D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 11, n. 2, p.197-212, 1993.

BATISTA, G. E. **Resolução de problemas abertos. Uma proposta para o ensino de Física Quântica**. 2019. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, 2019.

GIL-PÉREZ, D., SOLBES, J. The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, London, v. 15, n. 3, p. 255-260, 1993.

GIL-PÉREZ, D.; GONZÁLEZ, E. Las prácticas de laboratorio en física en la formación del profesorado (1) Un análisis crítico. *Revista de Enseñanza de la Física*, v.6, n.1, p. 47-61, 1993.

MOREIRA, M. A. *Teorias de aprendizagem*. 2 ed. São Paulo: EPU, 2011.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

POLYA, G. **A arte de resolver problemas**: um novo aspecto do método matemático. Rio de Janeiro: Interciência, 1995.

POZO, J. I. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. Porto Alegre: Artmed, 2009.

POZO, J. I. **A Solução de Problemas**: Aprender a resolver, resolver para aprender. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

____RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS NO ENSINO DE FÍSICA: UMA REVISÃO DA LITERATURA. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 39, nº3, 2017.

VERGNAUD, G. O que é aprender? O iceberg da conceitualização. Porto Alegre: GEEMPA, 2017.