

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS
DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ADRIANE GRIEBELER

**Porto Alegre
2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS
DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA**

ADRIANE GRIEBELER

**Dissertação de Mestrado apresentada no programa de pós-graduação
em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob
orientação do Prof. Dr. Marco Antonio Moreira, como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.**

**Porto Alegre
2012**

Agradecimentos

Sou muito grata ao Prof. Marco Antonio Moreira, pela ideia original do trabalho e pelo respeito, seriedade e motivação com que orientou as atividades ao longo do curso. O apoio, as conversas e a confiança depositados pelo Prof. Moreira foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Um especial agradecimento à colega e amiga Thaís Rafaela Hilger que sempre esteve disposta a compartilhar seu conhecimento e dedicar parte do seu tempo para permitir a realização deste projeto. O meu sincero reconhecimento pelo incentivo, críticas e sugestões que contribuíram para o enriquecimento deste trabalho.

Aos demais professores e colegas do curso, o agradecimento pelo incentivo e pelas sugestões que se somaram às ideias iniciais e contribuíram para o êxito do trabalho.

Aos alunos participantes, os quais foram fonte de inspiração na hora de elaborar as atividades e montar o material de apoio. Agradeço também à Direção e Supervisão da Escola E. E. M. Dr. Carlos Antonio Kluwe que apoiou este projeto e forneceu as condições físicas necessárias para que ele fosse desenvolvido.

Às queridas amigas Cheisa e Maria Fernanda, pela amizade, pelo apoio e incentivo.

Como agradecimento final, gostaria de expressar a imensa gratidão que sinto para com meu esposo Jocemar. Com certeza ele foi peça fundamental para a concretização desse ideal, mostrando-se sempre amigo, compreensivo e disposto a cuidar do nosso filho, o João Pedro, enquanto eu me ausentava.

Dedicatória

Dedico esta dissertação ao meu filho João Pedro e ao esposo Jocemar.

Resumo

Inserir conteúdos de Física Quântica no Ensino Médio torna-se um desafio para os professores, tanto por uma possível falta de preparo como pela falta de incentivo. Apesar da existência de materiais didáticos disponíveis, raramente os professores sentem-se preparados para abordar tais conteúdos em sala de aula. Além disso, o atual currículo do Ensino Médio bem como o programa ENEM, não estimulam ao ensino do assunto aqui referido. No entanto, em função da importância da abordagem da Física Quântica, e também frente à propagação de versões místicas e de representações sociais, é preciso continuar tentando contribuir para que essa inserção venha a ocorrer futuramente. Nesse sentido, foi elaborada uma unidade de ensino sobre tópicos de Física Quântica com a intenção de estimular o interesse e a curiosidade do aluno. Como referencial teórico foi utilizada a teoria de aprendizagem de David Ausubel, buscando desenvolver uma aprendizagem significativa dos conteúdos selecionados da Física Quântica a partir de conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva dos alunos. A proposta foi elaborada seguindo os passos das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS (MOREIRA, 2011) onde, num primeiro momento foi feito o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos, em seguida foi apresentado o conteúdo de uma forma mais geral e, a partir daí, cada assunto foi abordado de forma mais específica, visando à diferenciação progressiva e à reconciliação integradora. Os conceitos abordados foram *quantização*, *incerteza*, *estado* e *superposição de estados*, apresentados de acordo com os passos da UEPS. A implementação do trabalho foi realizada em quatro turmas de 3ª série do Ensino Médio da E. E. E. M. Carlos Antonio Kluwe, em Bagé, RS, durante os meses de outubro, novembro e dezembro de 2011. As quatro turmas, denominadas A, B, C e D, foram divididas em dois grupos. O primeiro grupo, formado pelas turmas A e B iniciou as atividades em 10 de outubro de 2011 e o segundo grupo, formado pelas turmas C e D iniciou as atividades em 31 de outubro. Dentre as atividades desenvolvidas são analisados de forma qualitativa os mapas mentais e mapas conceituais elaborados em duplas, bem como a comparação entre eles, e são mostrados os trabalhos livres confeccionados pelos alunos e o jornal de cada turma. Ainda são apresentados alguns comentários de estudantes sobre seu desenvolvimento na compreensão dos conceitos abordados na proposta. A análise feita a partir dos resultados obtidos forneceu indícios de aprendizagem significativa, que é o objetivo de uma UEPS. São apresentados também alguns comentários que indicam a boa receptividade da proposta, que encoraja novas aplicações.

Palavras-chave: Física Quântica, Aprendizagem Significativa, Ensino Médio.

Abstract

It has become a challenge to high school teachers to include contents of quantum physics in the school curriculum not only for the lack of due preparation but for the scarcity of incentive. In spite of available educational resources, teachers seldom feel ready to approach such contents in the classroom. Furthermore, the present high school curriculum as well as the National High School Exam (ENEM) do not seem to encourage the teaching of quantum physics. Nevertheless, because of the relevance of quantum physics and the dissemination of its mystical versions with their social representations, it is necessary to continue attempting at contributing to make this insertion possible in the near future. In this sense, a teaching unit on topics of quantum physics was developed with the purpose of motivating the students' interest and curiosity. David Ausubel's theory of meaningful learning was used as its theoretical framework, so as to facilitate the occurrence of meaningful learning of the chosen contents of quantum physics based on the students' prior knowledge about the subject. The proposal was developed in agreement with the steps of the Potentially Meaningful Teaching Units – PMTU (Moreira, 2011), according to which the first step was to make a survey of the students' prior knowledge followed by a general presentation of the contents. From there on, each topic received a more specific/extensive treatment aiming at progressive differentiation and integrative reconciliation. The concepts involved in this study were *quantization*, *uncertainty*, *state*, and *superposition of states* and they were presented according to the PMTU's steps. Implementation of this proposal occurred in four different classes of the 3rd year of high school at the State School E.M. Carlos Antonio Kluwe, Bagé, RS, Brazil, from October to December of 2011. These four classes, named A, B, C, and D, were divided into two groups. The first one, formed by classes A and B, started their activities on the October 10, 2011, while the second group, classes C and D, started them on October 31, 2011. The activities performed by the students, such as mind maps and concept maps drawn in pairs, as well as their comparison were qualitatively analysed. There are also shown free-choice works the students produced, as well as the newspaper that each of the classes put together. In addition, some of the students' comments on their own development regarding the concepts approached in this proposal are presented. The analysis based on obtained results suggested evidence of the occurrence of meaningful learning, which is the aim of a PMTU. Furthermore, some comments that might indicate a fair receptivity to the proposal are also set forth since they seem to encourage new implementations of this proposal.

Keywords: Quantum Physics, Meaningful Learning, High School.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	6
3. REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1. A Teoria da Aprendizagem de Ausubel.....	12
3.2 Teoria de Aprendizagem de Gowin.....	15
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DIDÁTICOS	17
4.1. <i>Teaching Learning Sequences</i> (TLS).....	17
4.2 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)	18
4.3 Mapas mentais e conceituais	22
5. A INTERVENÇÃO EM SALA DE AULA.....	23
5.1 Localização e contextualização.....	23
5.2 Descrição das turmas	25
5.3 As tarefas realizadas pelos alunos relacionadas aos passos propostos na UEPS.	26
5.4. Avaliação.....	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6.1 Mapas livres e mapas conceituais	31
6.2 Trabalhos de livre escolha	50
6.3 A avaliação individual.....	58
6.4 O jornal elaborado pelas turmas	58
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
BIBLIOGRAFIA	63
Apêndice I – UEPS-FQ	66
Apêndice 2 – Avaliação individual.....	70
Apêndice 2 – Capas dos jornais elaborados pelos alunos.	71
Apêndice 4 - Diários da Implementação.....	75
Texto de Apoio ao Professor de Física.....	84

Índice de Figuras

Figura 1 - Modelo triádico de ensino de Gowin.	16
Figura 2 - O losango didático de Méheut & Psillos.	18
Figura 3 - Mapa livre elaborado pela dupla A.	32
Figura 4 - Mapa conceitual elaborado pela dupla A.	33
Figura 5 - Mapa livre elaborado pela dupla B.	34
Figura 6 - Mapa conceitual elaborado pela dupla B.	34
Figura 7 - Mapa livre elaborado pela dupla C.	35
Figura 8 - Mapa conceitual elaborado pela dupla C.	36
Figura 9 - Mapa livre elaborado pela dupla D.	38
Figura 10 - Mapa conceitual elaborado pela dupla D.	39
Figura 11 - Mapa livre elaborado pela dupla E.	40
Figura 12 - Mapa conceitual elaborado pela dupla E.	41
Figura 13 - Mapa livre elaborado pela dupla F.	42
Figura 14 - Mapa conceitual elaborado pela dupla F.	43
Figura 15 - Mapa livre elaborado pela dupla G.	45
Figura 16 - Mapa conceitual elaborado pela dupla G.	46
Figura 17 - Mapa livre elaborado pela dupla H.	47
Figura 18 - Mapa conceitual elaborado pela dupla H.	47
Figura 19 - Mapa livre elaborado pela dupla I.	48
Figura 20 - Mapa conceitual elaborado pela dupla I.	49
Figura 21 - Resumo em formato de revista.	55
Figura 22 - Cartaz com a linha do tempo.	56
Figura 23 - Jogo de tabuleiro.	57

1. INTRODUÇÃO

Baseados nos avanços científicos e tecnológicos das últimas décadas, percebemos que o currículo da disciplina de Física do Ensino Médio (EM) se apresenta em parte desatualizado e descontextualizado. A partir dessa evidência, acentua-se a necessidade de aproximar essa realidade aos conteúdos a serem trabalhados em sala de aula, promovendo assim um maior significado para as aulas.

Os alunos que ingressam ao EM já têm uma história de vida, trazendo para a sala de aula diferentes visões de mundo, trazem consigo também uma bagagem de conhecimentos acerca do mundo que os rodeia, e também a curiosidade de saber como interagir e explorar mais todos os recursos tecnológicos que estão a seu dispor. Explorar essa bagagem e essa curiosidade pode facilitar o processo de ensino aprendizagem.

No entanto, isso geralmente não é feito na escola e os conteúdos de Física são apresentados de forma tradicional causando desmotivação e desinteresse por parte dos alunos, principalmente quando abordados de forma apenas expositiva e dialogada, desprovidos de recursos que possam chamar a atenção e despertar o interesse de uma geração fortemente ligada à tecnologia.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para Ensino Médio (PCNEM, 2000), não se trata de incorporar no ensino elementos da ciência contemporânea simplesmente por motivo de sua importância instrumental utilitária, e sim, de fazer com que os alunos desenvolvam uma visão de mundo atualizada, compreendendo técnicas e princípios científicos.

Segundo as Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para Ensino Médio (PCNEM+, 2002, p. 68), uma das competências

apresentadas para o Ensino de Física é *“compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir”*.

Considerando que a sociedade atual se encontra numa evolução tecnológica bastante acelerada e em grande parte graças à Física Quântica (FQ), é justificável a necessidade da inserção de, pelo menos, tópicos desse assunto em sala de aula. Sem a abordagem desse e de outros conteúdos da Física Moderna e Contemporânea (FMC) corre-se o risco de aumentar cada vez mais o desinteresse pelas aulas de Física, muitas vezes observadas na prática docente.

Fato constatado na prática e também afirmado por Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007) é que frequentemente os alunos comentam ou levam para a sala de aula matérias de jornais, revistas ou reportagens que viram na televisão sobre assuntos relacionados à Física, principalmente à FMC, que por serem atuais e estarem presentes no seu dia a dia, despertam maior interesse sobre os fenômenos envolvidos, o que pode facilitar o seu aprendizado. Assim, ainda para eles (op. cit, p.448)

“A lacuna provocada por um currículo de Física desatualizado resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno. Isso não permite que ele compreenda qual a necessidade de se estudar essa disciplina, que, na maioria dos casos, se resume em aulas baseadas em fórmulas e equações matemáticas, excluindo o papel histórico, cultural e social que a Física desempenha no mundo em que vive.”

Ainda sobre o que diz respeito aos conteúdos de Física ministrados em sala de aula, onde pouquíssimo ou quase nada sobre FMC é apresentado no EM, como consequência há assuntos relevantes para o entendimento e observação do modo de vida das novas gerações que deixam de ser abordados em sala de aula. De acordo com este pensamento, Ostermann e Moreira (2000) apontam algumas justificativas para que se ensine FMC no EM. Dentre elas pode-se destacar:

reconhecer a Física como empreendimento humano; despertar a curiosidade e entusiasmar os estudantes; apresentar aos estudantes o excitante mundo atual da pesquisa em Física; atrair jovens para a carreira científica; contribuir para dar uma imagem mais correta da Ciência e da natureza do trabalho científico.

Outro fator preocupante é o foco muito grande na preparação para exames de ingresso ao Ensino Superior. Diversas foram as opiniões que surgiram a respeito destas testagens, tornando o problema também uma questão política. Dentro desse contexto pode-se citar o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), cuja intenção difundida é a de facilitar o acesso ao Ensino Superior. O exame tem uma proposta de questões mais abrangentes e contextualizadas, envolvendo questões atuais. No entanto, o estudo da FMC não se encontra neste contexto.

Assim, acredita-se que a inserção de conteúdos de FQ no EM se apresenta como uma necessidade frente aos avanços tecnológicos e também frente à propagação de versões místicas e representações sociais que podem dificultar seu entendimento. Mas a sua abordagem não pode ser feita da forma tradicional. É um problema que precisa ser abordado de forma atraente, que se torne desafiador ao aluno.

Com base no exposto foi desenvolvida uma proposta de trabalho a fim de contribuir para a aprendizagem significativa de conceitos da FMC e, nesta dissertação, será feito um relato de experiência sobre a implementação dessa proposta em sala de aula, seus sucessos e dificuldades. Para isso, foi escolhido como objeto de estudo o ensino de conceitos da FQ e os tópicos abordados foram: *quantização, objeto quântico, incerteza, estado e superposição de estados*.

A questão de referência para o trabalho foi: *“Dadas as atuais circunstâncias de ensino na educação básica, é possível inserir tópicos de Física Quântica no Ensino Médio?”*

Na busca da resposta para essa questão foram utilizados os seguintes eixos norteadores:

- a) a elaboração de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa que envolvesse os conceitos de quantização, incerteza, estado e superposição de estados;
- b) a busca de evidências da aprendizagem significativa desses conceitos de FQ por parte de alunos do EM através da sequência de ensino desenvolvida;
- c) a tentativa de resgatar o prazer do aluno em aprender e a satisfação do professor em mediar esse processo.

A elaboração da proposta foi feita seguindo os passos das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS (MOREIRA, 2011). De acordo com os passos da UEPS, num primeiro momento foi feito o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos, sendo utilizados para tal a confecção de mapas livres e questionamentos iniciais. Em seguida, foi apresentado o conteúdo de uma forma mais geral através de um texto introdutório e, a partir daí, cada assunto foi abordado de forma mais específica, visando à diferenciação progressiva e à reconciliação integradora.

Para a implementação do trabalho foram escolhidas quatro turmas de 3ª série do EM da E. E. E. M. Carlos Antonio Kluwe, em Bagé, RS. Estas turmas já faziam parte da carga horária da professora desde o início do ano letivo. O período escolhido para a implementação foram os meses de outubro, novembro e dezembro de 2011. As quatro turmas, denominadas A, B, C e D, foram divididas em dois grupos. O primeiro grupo, formado pelas turmas A e B iniciou as atividades em 10 de outubro de 2011 e o segundo, formado pelas turmas C e D iniciou as atividades em 31 de outubro. Dividiram-se as turmas em dois grupos com a intenção de melhor avaliar a eficácia da proposta e também de poder fazer modificações no projeto inicial da UEPS, caso elas fossem necessárias.

Apresentamos na sequência um capítulo com uma breve revisão da literatura sobre pesquisa em ensino de FQ, tentando dar maior ênfase à pesquisa em nível do

EM, com intuito de situar a relevância do trabalho em termos de aplicação em sala de aula. Após, é feita uma também breve explanação sobre o referencial teórico usado. Nos capítulos seguintes são apresentadas as etapas do trabalho realizado, com um capítulo dedicado à metodologia, outro aos dados coletados e um para a análise dos resultados. As considerações finais encerram o trabalho, sendo que são apresentadas também as referências consultadas. A UEPS-FQ e o Texto de Apoio estão nos Apêndices 01 e 02, respectivamente.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Iniciou-se esta revisão com a consulta a artigos anteriores que tratam da revisão de literatura sobre o ensino de FMC no EM. Consultamos então as seguintes referências e trabalhos nela referenciados: Ostermann, F. e Moreira, M.A. (2000); Pereira, A. P. Ostermann, F. (2009); Silva, A. C. e de Almeida, M. J. P. M. (2011). A partir dos citados destes artigos, buscaram-se as referências para a presente revisão de literatura.

De acordo com a revisão realizada, constatou-se que diversas contribuições de diferentes tipos foram elaboradas nas últimas duas décadas com a intenção de trabalhar a FQ no EM e que a inserção da FMC no EM se apresenta como uma forte tendência para a renovação do currículo atual. Entretanto, conforme afirmado por Ostermann e Moreira (2000) em uma extensa revisão bibliográfica sobre FMC no EM, realizada através da consulta a diversos veículos tais como artigos em revistas, livros didáticos, dissertações, teses, projetos e navegações pela internet, ainda há uma carência de trabalhos que apresentem propostas efetivamente testadas em sala de aula com seus devidos resultados de aprendizagem. Afirmam, também, que há um grande número de publicações que apresentam temas de FMC em forma de divulgação ou como bibliografia de consulta para professores.

Pereira e Ostermann (2009) também apresentam uma revisão sobre o ensino de FMC, com 102 artigos publicados no período de 2001 a 2006. Desses artigos analisados, encontraram 26 que se referem à Mecânica Quântica e os autores constataram que, apesar do aumento de publicações que apresentam resultados de pesquisa, a maioria dos artigos ainda se refere a textos de consulta para professores. Embora haja um número considerável de estudos envolvendo propostas didáticas inovadoras, poucos investigam os mecanismos envolvidos no

processo de construção de conhecimentos em sala de aula. E também, a maioria dos trabalhos de pesquisas que avaliam propostas didáticas em sala de aula se refere ao conteúdo e ao rigor científico com que eles são apresentados.

Silva e Almeida (2011) fizeram uma revisão buscando apenas trabalhos que tratem da abordagem da FQ no EM. Ao todo, os autores encontraram vinte e três trabalhos em periódicos nacionais e internacionais que foram distribuídos em cinco categorias a fim de separar os artigos de acordo com seus objetivos. Segundo os autores, os trabalhos podem ser classificados de acordo com cinco categorias: *Revisão da literatura sobre o ensino de FQ/FMC; Análise curricular; Análise dos conteúdos em livros que abordam FQ/FMC; Elaboração e/ou aplicação de propostas de ensino; Concepções de professores sobre o ensino de FQ/FMC no EM.* As categorias com alguns dos trabalhos citados, escolhidos de acordo com relevância para elaboração desta dissertação, estão descritas a seguir:

- 1) *Revisão da literatura sobre o ensino de FQ/FMC:* foram destacadas publicações que abordam trabalhos desenvolvidos sobre os temas “ensino de Física Quântica” ou “ensino de Física Moderna e Contemporânea”. Dentre eles estão Ostermann e Moreira (2000) e Pereira e Ostermann (2009) já citados anteriormente.
- 2) *Análise curricular:* são apresentadas publicações que analisam currículos que abordem tópicos de Física Quântica. Dentre eles, Lobato e Greca (2005) que afirmam que a avaliação da adequação dos conteúdos de FQ escolhidos e a melhor forma de ensiná-los ainda requer muita pesquisa, afinal, seria muito difícil entender o que não se pode ver.
- 3) *Análise dos conteúdos em livros que abordam FQ/FMC:* foi selecionado apenas um trabalho que aborda a análise do conteúdo de FQ ou FMC presente em livros didáticos, de divulgação científica, ou de qualquer outro gênero: Velentzas et. al. (2007) investigaram a maneira como experimentos de pensamento sobre a teoria da Relatividade e a FQ são apresentados em livros-texto e livros de divulgação da Física e se eles

poderiam despertar o interesse de estudantes e agir como material educacional para familiarizá-los com as teorias modernas da Física. Segundo o trabalho, experimentos de pensamento seriam ferramentas conceituais que possibilitariam aos cientistas estudarem o mundo físico, tendo importante papel no avanço da Ciência.

- 4) *Elaboração e/ou aplicação de propostas de ensino*: são citadas publicações que apresentam propostas de como ensinar FQ e/ou avaliam resultados alcançados após a aplicação de propostas desenvolvidas com o intuito de ensinar FQ. Os autores dividem o tópico em propostas efetivamente testadas e as que não foram testadas em sala de aula. Algumas propostas que foram testadas em sala de aula são: a) Cuppari et. al. (1997), que introduziram a constante de Planck num estágio inicial do curso de Física usando exemplos clássicos de movimentos periódicos; introduziram o conceito de ação; discutiram a constante de Planck como o quantum de ação; discutiram os limites entre as Mecânicas Quântica e Clássica em termos da razão entre a ação do movimento e o quantum de ação, discutindo qualitativamente a quantização da energia em sistemas microscópicos. Um teste parcial da implementação do programa foi feito em uma turma de nível médio da Itália. Ele teria mostrado que não houve dificuldades particulares no que diz respeito ao entendimento das representações não usuais dos movimentos com variáveis do espaço de fase, em aceitar a ação como uma quantidade útil para descrever as situações e nem no entendimento da ordem de grandeza da constante de Planck. O teste teria sido encorajador, mostrando que é possível introduzir gradualmente conceitos importantes da FQ, num grau de formalismo comparável ao que é necessário ao entendimento da Mecânica Clássica. b) Fanaro et. al. (2009) propõem a introdução da FQ no EM através de conceitos de referência baseados no método da integral de caminho de Feynman, com uma abordagem não histórica e um formalismo complementar ao canônico. Uma turma selecionada de trinta estudantes (17-18 anos), com bom desempenho escolar e considerados com conhecimentos matemáticos e físicos requeridos, formaram o grupo

de estudo onde a proposta foi testada. A sequência didática foi composta por treze aulas, incluindo a explicação da distribuição de elétrons no experimento da dupla fenda. Como conclusão, os autores afirmam que o ensino de FQ requer uma ênfase na ideia de que a Física não trata da “realidade”, mas constrói modelos abstratos, dentro dos quais percepções já enraizadas são inapropriadas. Eles consideraram que a proposta é viável, mas apenas inicia a discussão, e que deve ser avaliada por físicos, pesquisadores em Ensino de Física e professores. c) Sales et. al. (2008) analisaram resultados da aplicação de um objeto de aprendizagem denominado “pato quântico”, que utiliza atividades de modelagem exploratória para estudar o efeito fotoelétrico e calcular a constante de Planck. Os autores propõem que o uso de ambientes computacionais seria uma ferramenta para facilitar a aprendizagem e concluem que a maior parte dos usuários teria considerado viável o uso desta tecnologia com o conteúdo proposto. Assim, os pesquisadores acreditam que a interação dos alunos com o ambiente virtual resultou em uma aprendizagem significativa do efeito fotoelétrico. d) Carvalho Neto et. al. (2009) descrevem os resultados da aplicação de uma proposta didática para ensinar aspectos da FQ, em especial, seu caráter preditivo probabilístico. Os autores basearam-se na teoria da aprendizagem significativa e fizeram uma apresentação da FQ sem referências analógicas à Mecânica Clássica, sugerindo uma distinção entre as ideias de ambas. Em geral, os autores concluíram que houve aprendizagem significativa sobre as previsões essencialmente probabilísticas da FQ. As evidências para tal foram que os estudantes reconheceram que o ato de preparar e observar um dado sistema físico, em uma dada circunstância, define o fenômeno como ondulatório ou corpuscular (do ponto de vista da complementaridade); os estudantes perceberam que o elétron não é nem uma partícula clássica nem uma onda clássica e que há diferença entre o estado quântico e o estado clássico. e) Paulo e Moreira (2004) procuram verificar como os estudantes do EM constroem alguns conceitos quânticos fundamentais. O estudo foi realizado em duas escolas da rede particular de Cuiabá com duração de doze a quinze aulas. Em uma das

implementações, participaram três turmas de primeira série do EM (cerca de oitenta alunos) e foi abordado o tópico “Experimento de Dupla Fenda e suas implicações filosóficas” (adotando-se a interpretação de Copenhagen) após os alunos terem tido aulas sobre mecânica ondulatória. A pesquisa foi refeita em outra escola, com turmas do segundo ano do EM, mas os alunos não tiveram contato anterior com a mecânica ondulatória. A avaliação foi composta de questões subjetivas e objetivas e a análise das respostas foi fenomenográfica. Segundo os autores, após a aplicação da metodologia didática, os alunos pareceram ter adquirido consciência de que, em Ciência, não há verdades absolutas. Com relação ao efeito dos conhecimentos prévios, a conclusão foi de que eles parecem não ter influenciado fortemente, uma vez que os resultados nas duas escolas foram bastante semelhantes. Disso surgem duas possíveis explicações a serem investigadas: ou os alunos não aprenderam Física Clássica significativamente, ou a Física Clássica não constitui um obstáculo epistemológico à aprendizagem de FQ.

- 5) *Concepções de professores sobre o ensino de FQ/FMC no EM:* Esta categoria se refere a publicações que tratam da opinião de professores sobre o ensino de FQ ou FMC no EM. Monteiro et. al. (2009) investigaram por que, embora a introdução de FMC no EM venha sendo sugerida por pesquisadores, alguns professores ainda não a tratam com a mesma prioridade. Após analisar o discurso de cinco professores de Física de uma região do nordeste brasileiro, os autores concluíram que, embora haja muitas justificativas para que se insira FMC no EM, não foi observado o mesmo entusiasmo entre os professores de Física questionados. Os professores encontrariam dificuldade em propor estratégias de ensino para a FMC com objetivo de possibilitar aos alunos a construção de uma visão cultural e coerente da Ciência, do trabalho científico e de suas implicações sociais. Dessa forma, os autores defendem mudanças urgentes na formação de professores de Física, a fim de que a introdução da FMC no EM seja, de fato, viabilizada.

A partir da revisão efetuada percebe-se que não é muito expressivo o número de trabalhos publicados e efetivamente testados em sala de aula que abordem a FQ no EM. Portanto, tornam-se importantes implementações como essa que está sendo apresentada, para mostrar que o estudo da FQ no EM pode ser realizado e que os resultados podem ser promissores.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente trabalho se insere na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa, TAS (AUSUBEL, apud MOREIRA 1999), e na teoria da Aprendizagem de Gowin (GOWIN, apud MOREIRA 2008) e está baseada nas indicações das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, UEPS (MOREIRA, 2011).

3.1. A Teoria da Aprendizagem de Ausubel

É fato observado na prática docente que os estudantes carregam consigo bagagens de conhecimentos acerca do mundo que os rodeia, possuem a curiosidade de saber como interagir e explorar mais todos os recursos tecnológicos que estão ao seu redor. Explorar esses conhecimentos prévios e a curiosidade agregada pode ser um veículo facilitador para que o processo de ensino aprendizagem se desenvolva.

A aprendizagem significativa, conceito central da teoria de Ausubel (apud Moreira, 1999), é um processo pelo qual uma nova informação se relaciona de maneira relevante com o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do indivíduo. Envolve a interação de uma informação nova com a estrutura de um conhecimento específico, que Ausubel define como subsunçor, que é uma ideia, um conceito, uma proposição pré-existente na estrutura cognitiva.

Ausubel (op.cit.) afirma que, para ocorrer a aprendizagem significativa, o novo conhecimento deve se ancorar, interativamente, em conhecimentos prévios já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, isto é, em subsunçores especificamente relevantes. Caso o novo conhecimento não se relacione com os

subsunçores que o indivíduo já possui, tem-se o que Ausubel chama de aprendizagem mecânica.

Para que ocorra aprendizagem significativa, um novo conteúdo deve ser potencialmente significativo, ou seja, deve relacionar-se com a estrutura cognitiva do estudante de forma não arbitrária e não literal. Assim, a nova informação relaciona-se de forma interativa com a estrutura cognitiva do sujeito, adquirindo significados, ficando retida e enriquecendo o conhecimento prévio, que se torna mais elaborado, mais diferenciado, mais capaz de funcionar como ancoradouro cognitivo para novos conhecimentos. Por um processo de “ancoragem”, o conceito subsunçor (inter)relaciona-se com o novo conceito facilitando a construção de significado para o mesmo e sua compreensão.

À medida que ocorre a interação entre os conceitos já presentes e os novos conceitos apresentados, ocorre um processo de diferenciação, tornando os conceitos pré-existentes mais específicos, detalhados ou abrangentes. Ocorre então a acomodação e incorporação do novo conceito à estrutura cognitiva, ampliando-a. Esse processo, por sua vez, comporá uma nova rede estável de subsunçores. Um exemplo citado por Moreira (1999, p.12) é o dos conceitos de Força e Campo que, uma vez presentes na estrutura cognitiva do aluno, podem servir como subsunçores para extensão de significados ao se conhecer os tipos de força e de campo (força e campo gravitacional, força e campo elétrico, etc.). A estrutura cognitiva em seu processo de constante (re)organização é caracterizada, assim, por uma hierarquia conceitual, onde conceitos mais específicos são ligados a conceitos mais gerais a partir de uma construção de significados, elaborados de forma subjetiva e não literal.

Quando o professor deseja trabalhar conteúdos com seus alunos e não há a certeza da presença de subsunçores ou então parte dos alunos não apresentam essas ideias prévias sobre o assunto proposto, Ausubel sugere que se trabalhe a partir de organizadores prévios que servirão de âncora para o desenvolvimento do novo conteúdo. De acordo com Moreira (1999), organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do conteúdo propriamente dito, com a finalidade de servir de ponte entre o que o estudante já sabe e o que ele deve aprender.

A aprendizagem significativa se dá principalmente por dois processos cognitivos (na prática, princípios programáticos): a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Na diferenciação progressiva, conceitos mais gerais devem ser vistos primeiramente e, depois, vão-se incluindo conceitos mais específicos. Portanto, a cada conceito construído, ocorre o aperfeiçoamento dos significados tornando-os mais precisos e específicos e, conseqüentemente, ocorre a reorganização da estrutura cognitiva. A cada hierarquia conceitual construída, mais diferenciados se tornam os conceitos envolvidos no processo e um conceito pode ser cada vez mais aprofundado e diferenciado através de novas interações, dependendo do interesse e da amplitude que se deseja dar ao estudo.

Para ocorrer a reconciliação integrativa, deve-se trabalhar com relações entre as ideias, identificando semelhanças e diferenças. Então, quando se propõe o estudo de um conteúdo novo, deve-se primeiro introduzir ideias básicas, depois conceitos chaves e progressivamente diferenciá-los.

Além disso, o aluno deve ter uma predisposição a aprender significativamente, ou seja, relacionar de maneira não arbitrária e não literal o novo conhecimento aos conhecimentos já existentes na sua estrutura cognitiva. Muitas vezes o aluno opta por aprender mecanicamente. Entretanto, se ele estiver disposto a aprender é também muito importante ter um material potencialmente significativo. Segundo Moreira (1999, p. 156):

“Uma das condições para a ocorrência da aprendizagem significativa é que o material a ser aprendido seja relacionável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não arbitrária e não literal. Um material com estas características é dito potencialmente significativo. Esta condição implica não só que o material seja suficientemente não-arbitrário em si, de modo que possa ser aprendido, mas também que o aprendiz tenha disponível em sua estrutura cognitiva os subsunçores adequados.”

O material de apoio elaborado para este trabalho busca contemplar estes princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), apresentando inicialmente

conceitos e proposições mais gerais e, depois, conceitos e proposições mais específicos. Também, ao longo do texto retomam-se os conceitos já apresentados nos módulos anteriores, relacionando-os com o novo conceito, na busca de semelhanças e diferenças.

3.2 Teoria de Aprendizagem de Gowin

Gowin, autor muito conhecido por ter desenvolvido um instrumento heurístico capaz de analisar a estrutura do processo de produção do conhecimento ou “desempacotar” conhecimentos documentados, o chamado Vê de Gowin ou Vê Epistemológico.

Em sua teoria de aprendizagem, Gowin propõe uma relação de três ângulos entre professor, aluno e material educativo, chamada por ele de relação triádica. Gowin propõe que essa relação triádica tem o objetivo de compartilhar significados. Segundo Moreira (2008),

“Para ele (Gowin), uma situação de ensino-aprendizagem se caracteriza pelo compartilhamento de significados entre o aluno e professor a respeito dos conhecimentos veiculados pelos materiais educativos do currículo.”

O professor, de acordo com sua metodologia, busca apresentar aos alunos os conhecimentos já compartilhados em relação ao assunto abordado. Cabe ao aluno demonstrar os significados que captou. E esse processo de compartilhar significados deve existir até que os significados que o aluno externalizar sejam aqueles que o professor pretende que ele tenha a partir dos materiais educativos apresentados. Aí, segundo Gowin, se consuma um episódio de ensino.

Na Figura 1 é apresentado o modelo de Gowin (apud MOREIRA, 2008) com a relação triádica entre professor, aluno e material educativo.

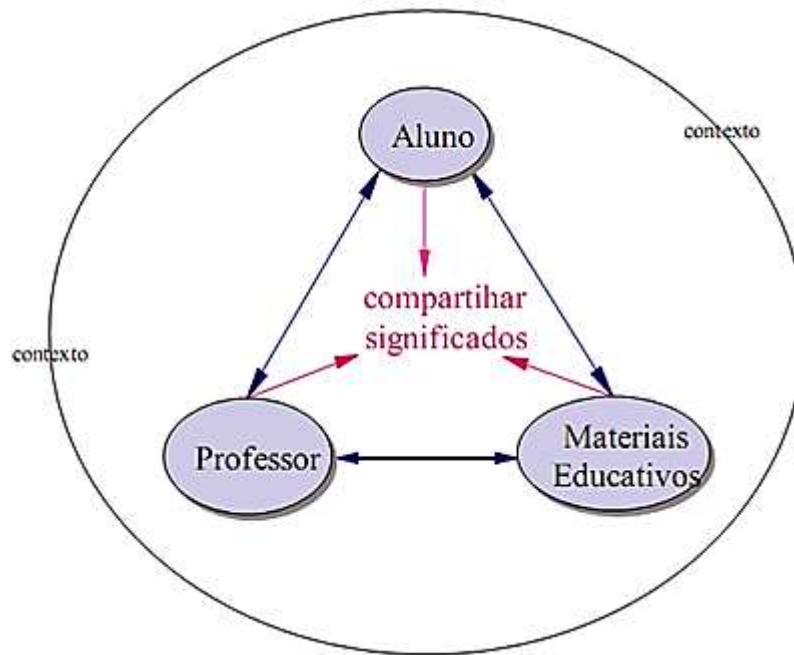


Figura 1 - Modelo triádico de ensino de Gowin.

Essa importância dada por Gowin para o material educativo pode indicar a importância e relevância que devem ser dados ao material de apoio para a aprendizagem significativa.

Uma vez feita a revisão da literatura e apresentando o referencial teórico que norteou a elaboração da proposta didática, que é objeto desta dissertação, passa-se agora aos procedimentos metodológicos.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DIDÁTICOS

O trabalho desenvolvido é uma estratégia didática desenvolvida em sala de aula com o intuito de buscar a aprendizagem significativa de conceitos de FQ para estudantes do Ensino Médio. A estratégia didática utilizada foi uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), desenvolvida por Moreira (2011), para o ensino de tópicos de FQ – UEPS-FQ.

A elaboração do material didático que foi utilizado para a implementação da proposta seguiu, inicialmente, a orientação de uma sequência didática que busca incorporar a ideia das *Teaching-Learnig Sequence* (TLS) proposta por Méheut & Psillos (2004). Entretanto, como o objetivo era buscar uma aprendizagem significativa, para tal foi utilizada, especificamente, a ideia de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) proposta por Moreira (2011).

4.1. *Teaching Learning Sequences* (TLS)

Uma das características das TLSs é apresentar os conteúdos de forma gradual para que ocorra um processo evolutivo com o objetivo de aproximar e relacionar as ideias do aluno ao conhecimento científico. Merecem destaque duas etapas para a implementação das TLSs: o *design* e a validação.

Na etapa do *design*, a importância está voltada para questões como situações-problema, atividades desenvolvidas, o papel nas tomadas de decisões, incluindo a análise do conteúdo, a epistemologia, bem como as concepções dos alunos, suas motivações e limitações, e as teorias pedagógicas. Como uma forma de organizar essa grande quantidade de informações, Méheut & Psillos (2004) fazem uso de um losango didático, apresentado na Figura 2. No eixo vertical está

representada a “dimensão epistêmica”, ou seja, como o conhecimento está relacionado com o mundo; e o eixo horizontal, a "dimensão pedagógica", isto é, como se darão as escolhas sobre os respectivos papéis a serem desempenhados pelo professor e pela turma.

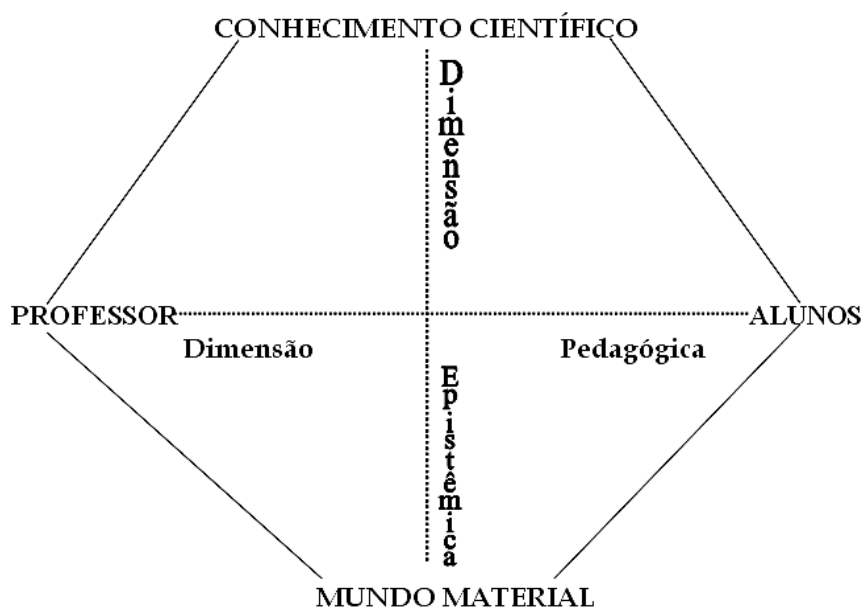


Figura 2 - O losango didático de Méheut & Psillos.

Na etapa da validação, o foco está na medida da eficácia da sequência em relação aos objetivos traçados. Essa etapa destaca-se tanto em termos de viabilidade e/ou eficácia das sequências de ensino-aprendizagem, quanto em uma abordagem analítica em termos do percurso da aprendizagem, descrevendo a validação das hipóteses.

4.2 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

As UEPS são compostas por etapas que buscam promover a aprendizagem significativa. Segundo Moreira (2011), as UEPS têm como princípios:

- o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa;

- organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;
- são as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos;
- situações-problema podem funcionar como organizadores prévios;
- as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade;
- a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino;
- a avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências;
- o papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados por parte do aluno;
- um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, professor e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino;
- essa relação poderá ser quádrlica na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo, mas também como mediador;
- a aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica.
- a aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés de memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono de narrativa em favor de um ensino centrado no aluno.

Conforme Moreira (op. cit.) são oito os passos das UEPS, sendo que cabe ao professor buscar a melhor forma de segui-los:

1. definir o tópico a ser abordado, identificando os aspectos declarativos e procedimentais de acordo com o tópico escolhido;
2. criar/propor situação(ões) – discussão, questionário, mapa conceitual, situação-problema, etc. - que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito

ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;

3. propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; estas situações-problema ainda que introdutórias devem envolver, desde já, o tópico a ser ensinado; são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas para isso o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente; modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios); estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino,..., mas sempre de modo acessível e problemático, isto é, não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo;

4. uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, isto é, começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;

5. em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (isto é, aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de uma breve exposição oral, de um recurso computacional, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora; após esta segunda apresentação, propor alguma outra

atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador; esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto,..., e deve necessariamente envolver negociação de significados e mediação do professor;

6. concluindo a unidade, dar continuidade ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser uma breve exposição oral, leitura de um texto, recurso computacional, audiovisual, etc.; o importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em nível mais alto de complexidade em relação às situações anteriores, essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do professor;

7. a avaliação da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação anotando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo da mesma; além disso, deve haver uma avaliação somativa após o quinto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na área; a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (registros do professor) como na avaliação somativa;

8. a UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa.

4.3 Mapas mentais e conceituais

A primeira ferramenta utilizada neste trabalho para tentar buscar a externalização dos subsunçores trazidos pelos alunos foram os mapas mentais. Isso se deve ao fato de que em um mapa mental o sujeito tem total liberdade para fazer associações entre seus conhecimentos, suas representações, suas cognições (BUZAN & BUZAN, 1994; ONTORIA, DE LUQUE & GÓMEZ, 2004). O mapa mental evidencia associações livres, apresentando ideias-chave interligadas e com ramificações, formando uma rede estruturada com nós e conexões, sendo especialmente adequadas para identificar subsunçores.

Os mapas mentais são diagramas que em geral se apresentam de forma radial e que classificam os conceitos, apresentando-os conforme o pensamento do autor, seja por meio de palavras, de figura ou mesmo de sons e com cores, de modo a facilitar o entendimento do leitor. Estes diagramas, em geral, não apresentam termos de ligação entre os conceitos ou palavras apresentadas. No nosso caso os alunos foram incentivados a elaborar um mapa mental utilizando palavras que poderiam ser livremente associadas à FQ.

Já os mapas conceituais (MOREIRA, 1998) podem ser utilizados para a apresentação de conceitos e suas relações hierárquicas de determinado conteúdo. São instrumentos utilizados pelo professor com o objetivo de facilitar a aprendizagem significativa. São diagramas que se iniciam por um conceito principal e vão seguindo na direção de se ligar a conceitos secundários. Estes mapas se caracterizam pela existência de linhas que vão unir os conceitos aos subconceitos e que vão possuir palavras no seu interior. As linhas com palavras que contêm as ligações (termos de ligação) vão fornecer o significado e as relações entre conceitos.

Para este trabalho, a utilização de mapas mentais e conceituais serviu para observar e/ou detectar modificações ocorridas ao longo do processo, bem como a evolução na compreensão dos conceitos e nas relações entre eles, presentes nos mapas mentais e conceituais. Todas essas características podem servir como indício da ocorrência de aprendizagem significativa.

5. A INTERVENÇÃO EM SALA DE AULA

Neste trabalho propusemos a abordagem dos tópicos de FQ de forma conceitual e de acordo com a interpretação de Copenhague. Assim, a intenção foi valorizar a interpretação dos fenômenos e as equações mais simples, deixando de abordar as complexidades matemáticas mais avançadas, facilitando a sua implementação no EM.

Em função de um questionário sobre FQ aplicado nas turmas alguns meses antes da implementação e sua possível influência sobre as respostas de alguns alunos, chamaremos seus primeiros mapas de “mapas livres”.

5.1 Localização e contextualização

A implementação do trabalho em salas de aula se deu através do desenvolvimento de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para introduzir, no Ensino Médio, os conceitos de *quantização*, *objeto quântico*, *estado*, *incerteza* e *superposição de estados*, conforme a sequência de passos descrita na seção seguinte. A referida implementação foi realizada em quatro turmas de 3ª série do Ensino Médio da E. E. E. M. Carlos Antonio Kluwe, em Bagé, RS durante os meses de outubro, novembro e dezembro de 2011.

As quatro turmas, aqui denominadas A, B, C e D, foram divididas em dois grupos. O primeiro grupo formado pelas turmas A e B iniciou as atividades em 10 de outubro de 2011 e o segundo grupo, formado pelas turmas C e D iniciou as atividades em 31 de outubro. Para facilitar a análise dos resultados, estas etapas serão denominados fase 1 e fase 2, respectivamente. O trabalho foi constituído de 18 horas/aula na primeira fase e 15 horas/aula na segunda fase.

A escola em que foi efetuada a implementação é uma escola pública estadual, localizada no centro da cidade de Bagé, RS. Com uma estrutura física relativamente boa, com aulas nos três turnos e o aluno, na hora da matrícula, pode escolher qual o turno desejado. O turno mais procurado é o matutino, no qual estudam alunos de classe social um pouco mais favorecida, entre os quais, muitos cursaram o ensino fundamental em escola particular e optaram por fazer o ensino médio no “Estadual”, apelido pelo qual a escola é conhecida na cidade. Isso se deve ao fato de a Escola manter o prestígio de possuir bom índice de alunos aprovados em vestibulares da região e boa nota na classificação do ENEM. Essa apresentação se faz necessária para tentar localizar o leitor no ambiente em que a proposta foi implementada, que é uma realidade um pouco diferente de muitas escolas públicas. Para se ter uma ideia, em um levantamento feito nas turmas que participaram da proposta, 40% dos alunos possuem *notebooks* e a maioria dos demais possuem computadores tradicionais com acesso à internet. E há ainda um significativo número de alunos com celulares que possibilitam acesso à internet, e esta muitas vezes é acessada em sala de aula.

Apesar do rigor quanto à disciplina e à formação, em nenhum momento houve qualquer negativa da Direção ou da Supervisão da Escola quanto à implementação da proposta. Pelo contrário, novas iniciativas são vistas com bons olhos pela direção e assim foi também pelos alunos.

Havia uma grande expectativa quanto à receptividade dos alunos porque o assunto não faz parte da lista de conteúdos do ENEM, grande foco da maioria dos estudantes. Mas apenas uma aluna da turma D questionou a nossa intenção de suprimir alguns conteúdos para abordar tópicos de FQ. Neste momento, foi justificada a necessidade de conhecer um pouco mais sobre a Física das tecnologias presentes no nosso dia-a-dia e falamos sobre a importância de conhecer um pouco sobre FMC, e todos aceitaram tranquilamente, mas pediram que a implementação ocorresse no último mês de aula para que tivessem o máximo de conteúdos antes da prova do ENEM. E isso foi feito. Assim, a turma C juntamente com a turma D ficaram para o segundo momento de implementação, enquanto que as turmas A e B participaram da primeira implementação. Esse foi um dos critérios

para a separação das turmas, mas o principal foi a intenção de formar dois grupos com turmas de perfis semelhantes.

5.2 Descrição das turmas

As quatro turmas, cada uma com mais de 30 alunos, eram formadas por adolescentes entre 15 e 18 anos com as características típicas de adolescentes em sala de aula: ora com vontade de aprender e preocupados com a prova do ENEM e do vestibular, ora com vontade de estar bem longe da sala de aula. Em cada um destes momentos cabe ao professor a tarefa de “trazer” o aluno para a aula e procurar fazer com que ele mantenha o foco no aprendizado.

A turma A era a mais participativa. Tinha o maior número de alunos, e também os mais interessados e comprometidos com o aprendizado. Em geral eram receptivos quanto às tarefas propostas, sendo este um dos motivos para a turma estar incluída na primeira fase da implementação do trabalho.

Já a turma B possuía o maior número de alunos desinteressados com o aprendizado, o que resultou num grande número de transferências para outras escolas após o terceiro bimestre (para evitar possíveis reprovações) e fez com que a turma fosse a menor das quatro. Entretanto, foram eles que mais surpreenderam quanto à participação e engajamento de alguns alunos que no início do ano não demonstravam interesse ou demonstravam pouco interesse pelas atividades propostas.

A turma C era agitada, com alunos que exerciam forte liderança negativa, incitavam a conversa e a rivalidade entre colegas e até com alguns professores. No geral, os alunos possuíam boas notas e nas aulas de Física não apresentaram problemas quanto à disciplina. Na maioria das vezes mostraram-se receptivos e interessados em realizar as atividades propostas.

Também a turma D era muito boa, com alunos comprometidos e esforçados que não apresentavam grandes problemas quanto à disciplina, com algumas exceções, claro.

5.3 As tarefas realizadas pelos alunos relacionadas aos passos propostos na UEPS.

De acordo com a sequência de passos sugerida por Moreira (2011) para uma UEPS, serão descritos os objetivos e as tarefas realizadas pelos alunos. A implementação ocorreu de acordo com a ordem prevista na UEPS-FQ, que está no Apêndice 01.

Primeiramente foi feita a definição do tema e do objetivo do trabalho. Os conteúdos a serem abordados foram escolhidos com a intenção de que não fosse feita apenas uma abordagem histórica, mas que fossem trabalhados com o objetivo de valorizar a interpretação dos fenômenos e as equações mais simples, deixando de abordar as complexidades matemáticas mais avançadas, uma vez que a implementação se deu em turmas de Ensino Médio.

No primeiro passo o objetivo foi incentivar os alunos a exteriorizar seus subsunçores. Para tal foi sugerida a formação de duplas para a elaboração de mapas livres sobre FQ. Em seguida houve a discussão dos questionamentos iniciais propostos pela professora ao grande grupo (toda a classe). Os mapas livres e as respostas das questões iniciais foram entregues à professora para análise posterior. Na fase 2 optou-se por fazer os questionamentos em primeiro lugar e, depois, a elaboração dos mapas livres. Observou-se, assim, que os mapas ficaram mais complexos, contendo mais conceitos e com um maior número de ligações de segunda e terceira ordem. Entretanto, observou-se também que termos ligados ao misticismo surgiram em grande quantidade e isso se manteve durante toda implementação. O que se suspeita é que se os questionamentos forem feitos em primeiro lugar, se está dando abertura para relacionar a FQ ao misticismo. Para estudar representações sociais isso pode ser bom, mas quando se pretende estudar

conceitos e explicar que a forma como está sendo feita a propagação equivocada da relação da FQ com o misticismo, essa inversão da ordem entre questionamentos e mapas iniciais não parece favorável.

No passo 2 foi feita a apresentação, de forma introdutória, do conteúdo proposto, buscando formar organizadores prévios e aguçar a curiosidade dos alunos. Para isso foi realizada a leitura do artigo *Física Quântica para Todos* (Texto parcialmente adaptado de Nunes, 2007) disponibilizado no material de apoio organizado pela professora. O objetivo da leitura do texto foi a formação de organizadores prévios já que nele são apresentados de forma introdutória alguns conceitos de FQ e também suas aplicações no dia-a-dia. Depois disso, os alunos se reuniram em pequenos grupos para discussão do texto. Neste momento foram destacados, pela professora, alguns conceitos novos que aparecem no texto e buscou-se explicar a diferença entre o racionalismo de Newton e as probabilidades da FQ. Após a discussão, os alunos estavam muito excitados e ansiosos para aprender, o que demonstrou que o texto utilizado foi muito bom para estimular a curiosidade dos alunos. A partir disso, eles foram incentivados a confeccionar um trabalho de livre escolha. Aqui houve uma grande variedade de trabalhos, desde resumos, artigos de opinião e poemas até uma paródia e um jogo de tabuleiro. Todos os trabalhos foram apresentados para o grande grupo. Os mais representativos são apresentados mais adiante no capítulo dos resultados.

A apresentação dos conceitos em um nível maior de complexidade ocorreu no terceiro passo, onde foram destacadas as semelhanças e diferenças relativas às situações e exemplos já trabalhados, buscando promover a reconciliação integradora. Para a apresentação do conteúdo foram utilizadas apresentações em multimídia e o material de apoio. Além dos conteúdos propostos inicialmente, foi abordada também a questão do misticismo, onde se buscou orientar os alunos quanto à propagação de possíveis usos incorretos da interpretação da Teoria Quântica. Verificou-se que seriam necessárias quatro aulas para essa etapa e não três como estava inicialmente previsto.

Para buscar promover a reconciliação integradora, no quarto passo, os alunos assistiram a vídeos sobre FQ. Para tal foi escolhido o documentário sobre Mecânica Quântica produzido pela Discovery¹. O objetivo foi fazer com que os alunos retomassem mais uma vez os conceitos já vistos anteriormente fazendo uso de outro recurso. Após assistir aos vídeos e fazer uma breve discussão sobre as ideias centrais, os alunos foram incentivados a elaborar um mapa conceitual sobre FQ. Foram dadas as orientações para a construção do mapa, incluindo a questão da hierarquia de conceitos e a necessidade dos termos de ligação, sendo que este não foi o primeiro contato dos alunos com mapas conceituais, pois a professora já havia trabalhado a utilização de mapas para fazer síntese e revisão de conteúdos. Procurou-se manter as mesmas duplas formadas no primeiro passo para que fossem válidas as comparações que seriam feitas na etapa seguinte.

No quinto passo foram retomadas as características mais relevantes do conteúdo através da comparação dos mapas livres com os mapas conceituais, buscando aspectos que envolvessem concepções alternativas ou representações sociais, sobre a FQ, possivelmente apresentados nos mapas livres e sua provável ausência nos mapas conceituais. Os estudantes não foram orientados sobre quais os conceitos que deveriam utilizar, apenas foi dito que, de acordo com as regras sobre a construção de mapas conceituais, relacionassem seu conhecimento sobre a Física Quântica. Essa foi a etapa mais surpreendente, em função da reação dos alunos ao receber os dois mapas e perceber a diferença entre ambos.

No sexto passo novas situações-problema foram propostas, com intuito de promover a reconciliação integradora. Para isso foram utilizados desenhos e charges sobre os conceitos de FQ e os alunos foram estimulados a identificar os conceitos presentes em cada situação. Na sequência foi realizada a confecção de um pequeno jornal da turma contendo pequenos artigos, charges, quadrinhos ou figuras sobre os assuntos abordados. Foi confeccionado um jornal por turma e entregue para a professora ao final do prazo estipulado.

¹ **Documentário Tudo sobre Incerteza – Mecânica Quântica**. Partes 1 a 6. 2007. Parte 1 disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=O1dHym14W5Q&NR=1>>. Acesso em 08 março de 2012.

Uma avaliação individual foi feita no sétimo passo através de um teste com questões abertas envolvendo os conceitos-foco da unidade. A avaliação pode ser visualizada no Apêndice 03.

No oitavo passo foram realizadas: a análise das respostas às questões propostas na avaliação individual e das discussões realizadas nas etapas anteriores, tendo sido retomadas as questões iniciais; os comentários finais integradores sobre o assunto abordado; a avaliação oral por parte dos alunos sobre as estratégias de ensino utilizadas e sobre seu aprendizado. Esse passo foi realizado apenas nas turmas da fase 1. A não finalização da atividade de implementação nas turmas da fase 2 se deve à greve do magistério realizada nas duas últimas semanas do mês de novembro de 2011.

Para finalizar a UEPS foi feita uma análise qualitativa, de parte da professora, sobre as evidências que percebeu, ou não, de aprendizagem significativa dos conceitos da unidade, na avaliação individual e na observação participante, bem como da avaliação da UEPS feita em sala de aula pelos alunos na última aula.

5.4. Avaliação

Tal como descrito na UEPS, a avaliação foi realizada ao longo da implementação, onde foram feitas anotações sobre a participação dos alunos, procurando dar ênfase ao que pode ser considerado evidência de aprendizagem significativa dos conteúdos propostos. Além disso, foram propostas questões e situações que buscassem verificar a compreensão e a assimilação de significados pelos alunos. Os recursos utilizados foram material impresso (texto de apoio) e material digital como *slides* feitos em *Power Point* e vídeos acessados do *Youtube*.

Também, para melhor organizar os conhecimentos, foi solicitado que os alunos produzissem algum material em cada um dos passos da UEPS, como produto da aprendizagem, para que eles se sentissem mais uma vez desafiados a participar do processo de ensino-aprendizagem. Ao todo foram seis as tarefas

realizadas pelos alunos: o mapa livre, os questionamentos iniciais, o trabalho de livre escolha após o primeiro texto, o mapa conceitual, o teste individual e o jornal da turma.

Os mapas livres, os questionamentos iniciais, os mapas conceituais e a avaliação individual foram atividades realizadas em sala de aula, enquanto que os trabalhos de livre escolha e o jornal da turma foram confeccionados em casa.

A avaliação da aprendizagem dos alunos foi feita levando em conta todos os trabalhos realizados, mas a ênfase maior foi dada à análise comparativa entre os mapas livres elaborados no início da implementação e os mapas conceituais, pois se acredita que avaliar com o uso de mapas conceituais significa verificar o que o aluno aprendeu sobre os conceitos abordados. Também pode-se observar qual a relação que ele faz entre os conceitos, as hierarquias e relações lógicas.

Assim, os mapas livres foram necessários para a determinação dos conhecimentos prévios dos alunos e os mapas conceituais demonstraram indícios de mudança conceitual e cognitiva do aluno no processo de ensino.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como citado anteriormente, foram seis as tarefas realizadas pelos alunos, sendo que dessas apenas quatro foram avaliadas. Os mapas conceituais, os trabalhos livres, o teste individual e o jornal do grande grupo são as atividades efetivamente avaliadas (atribuídas notas). Os mapas livres e as questões iniciais serviram para comparações de aprendizagem.

A partir das anotações da professora durante a implementação da UEPS, são apresentados resultados sobre indicadores de aprendizagem significativa presentes nos mapas elaborados pelos estudantes. Foram escolhidos alguns dias para exemplificar os registros do diário de bordo e estão apresentados no Apêndice 05.

Também foram observados os comentários feitos pelos alunos a respeito da atividade, bem como a presença/ausência/modificação de algumas ideias ao comparar os mapas livres, realizados no início da intervenção, e os mapas conceituais, realizados após apresentação do conteúdo de FQ. Essas relações também foram analisadas qualitativamente.

6.1 Mapas livres e mapas conceituais

Para essa análise os mapas foram classificados de acordo com três categorias: mapas de alunos que não possuíam conhecimentos prévios relevantes sobre FQ; mapas de alunos que já possuíam algum conhecimento prévio sobre FQ e mapas em que se observa a ligação da FQ com o misticismo.

Categoria 1: mapas de alunos que não possuíam conhecimentos prévios relevantes sobre FQ

São discutidos a seguir os mapas de três duplas de estudantes cujos mapas livres não sugerem conhecimentos prévios relevantes sobre FQ, de acordo com proposta elaborada. As duas primeiras Figuras apresentadas correspondem à dupla A, a Figura 5 e a Figura 6 pertencem à dupla B, e os últimos dois mapas são referentes à dupla C.

Na Figura 3 tem-se o mapa livre elaborado pela dupla A, da fase 1 de implementação. Na Figura 4 tem-se o mapa conceitual confeccionado pela mesma dupla. Observa-se no primeiro mapa uma criação livre, onde a Física Quântica aparece ligada essencialmente às partículas atômicas e a conceitos vistos em momentos anteriores nas disciplinas de Física e Química. Não são observadas ligações entre os conceitos. Por outro lado, o mapa conceitual contempla praticamente todos os conceitos abordados no decorrer da UEPS. O conhecimento aparentemente se encontra de maneira mais organizada, o que é evidenciado pelas ligações entre conceitos e pelos elementos de ligação, apontando para uma boa compreensão dos conteúdos abordados. Também são observadas que as ligações efetuadas estão de acordo com o conteúdo abordado. Há uma conexão entre os conceitos e observa-se a formação de pequenas árvores com os conceitos diretamente relacionados entre si.

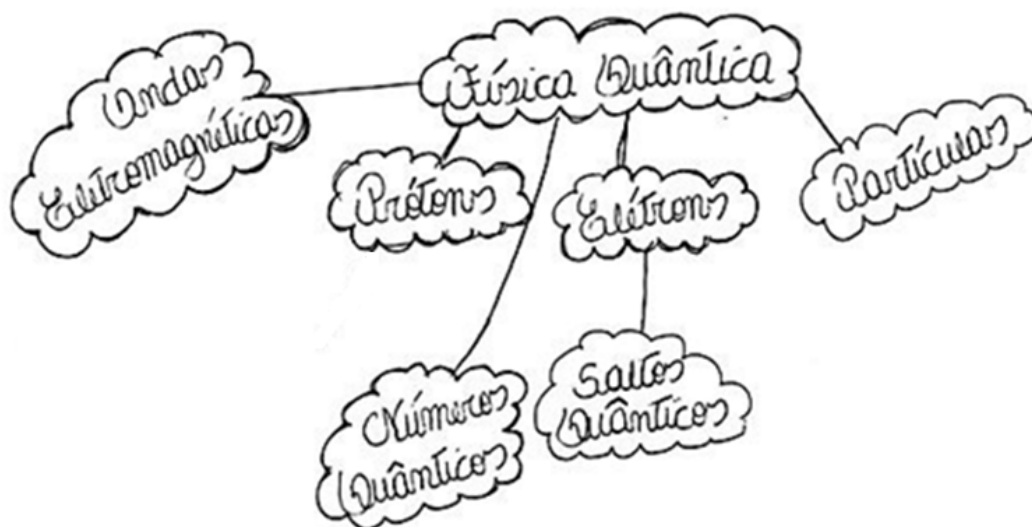


Figura 3 - Mapa livre elaborado pela dupla A.

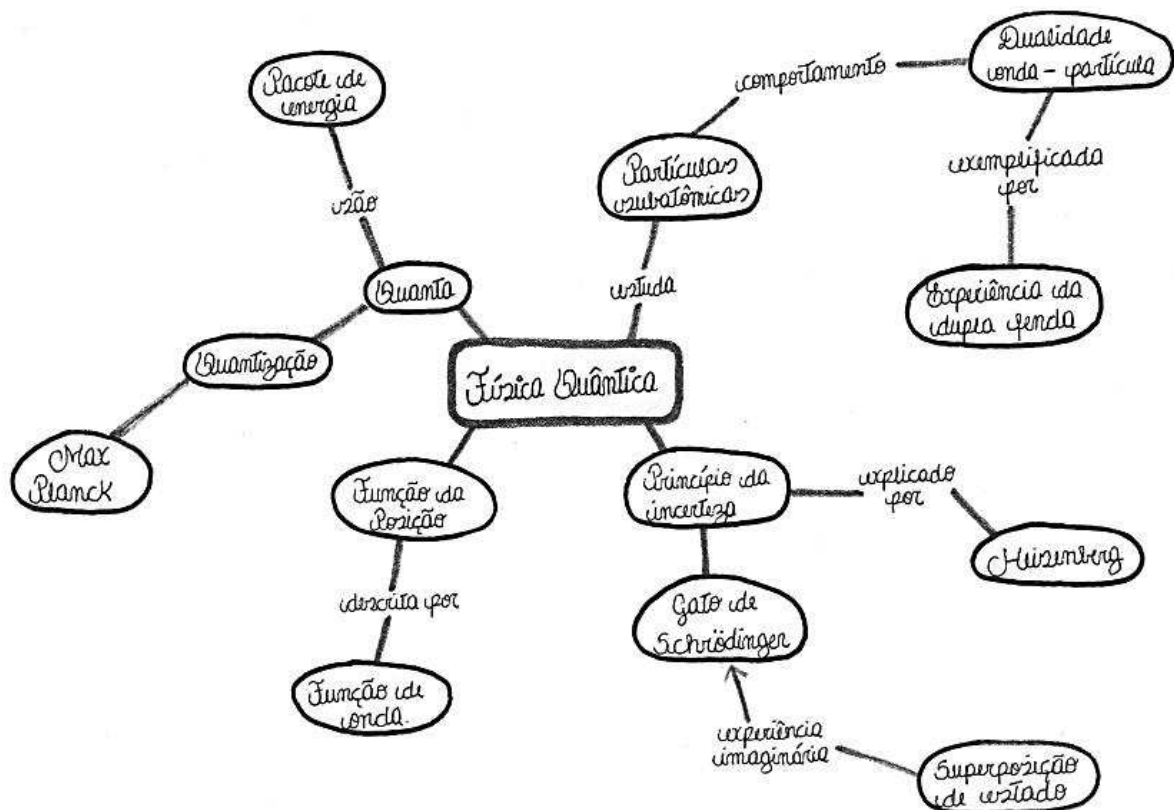


Figura 4 - Mapa conceitual elaborado pela dupla A.

Na Figura 5 tem-se o mapa livre construído pela dupla B, da fase 2, e na Figura 6, o mapa conceitual elaborado pela mesma dupla. Observa-se no primeiro mapa uma grande quantidade de conceitos ligados a Física, que podem ser devido ao contato anterior em disciplinas de Física e Química, como ocorre com dupla A. Já o mapa conceitual apresenta os conceitos abordados em aula e ainda conceitos que fazem parte de estudos adicionais realizados em função do grande interesse demonstrado pelo assunto. Interesse este que levou uma das alunas a fazer pesquisas na internet e até fazer sugestões de vídeos que também poderiam ser utilizados em sala de aula. Também se podem perceber elementos de ligação que unem os conceitos entre si e estipulam uma hierarquia: aparecem casos de inclusão de novos conceitos que não foram abordados em aula, como a força eletro-nuclear e suas ramificações; há os exemplos de aplicações da Teoria Quântica e o complemento de ideias, no caso da experiência da dupla fenda e as superposições quânticas e seus desdobramentos.



Figura 5 - Mapa livre elaborado pela dupla B.

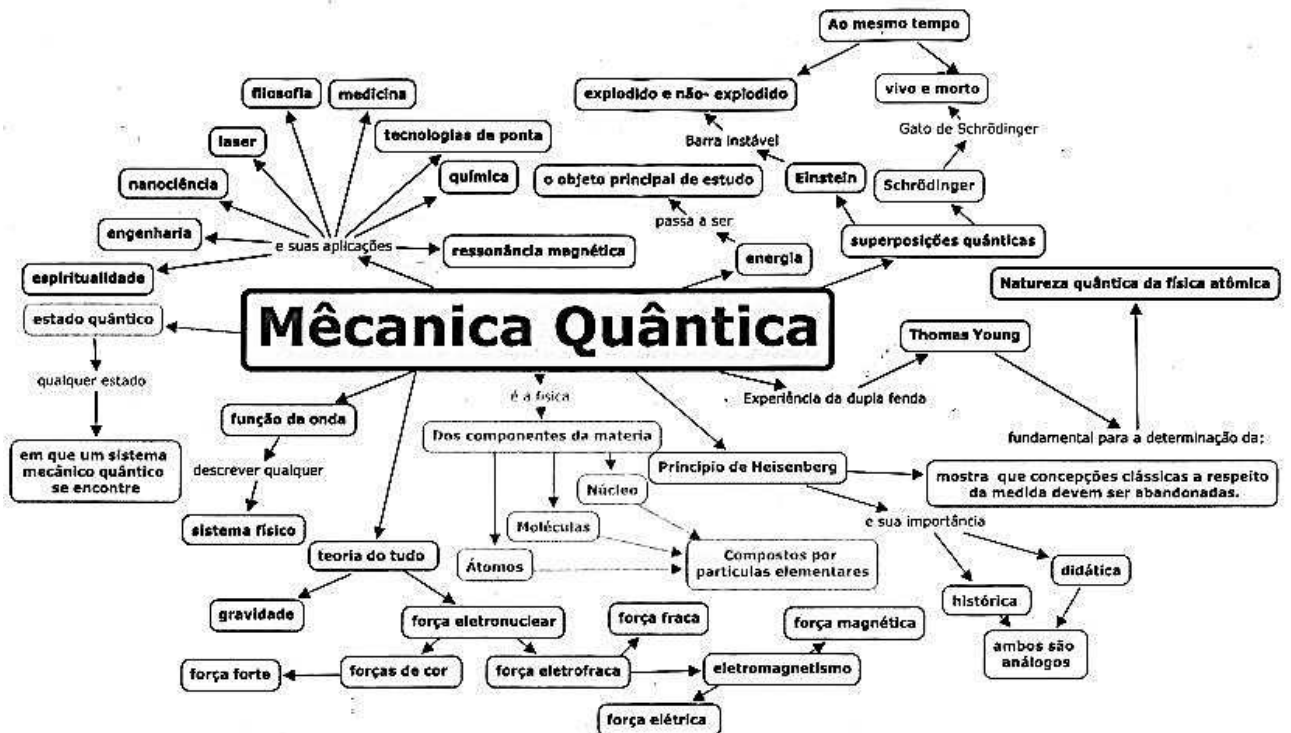


Figura 6 - Mapa conceitual elaborado pela dupla B.

A Figura 7 apresenta o mapa livre da dupla C, da fase 1, e na Figura 8 tem-se o mapa conceitual confeccionado pela mesma dupla. No primeiro mapa os alunos realizaram associações livres, sem elementos de ligação e possivelmente sem saber de que forma cada termo se ligava a Física Quântica. Há presença de termos soltos como “variedade” e “universo”. Há também uma hierarquia clara para *magnetismo* e *ímã* e também entre *números* e *fórmulas*, mas estes conceitos não se ligam “verdadeiramente” a FQ. Já o mapa conceitual se apresenta como uma superação frente ao primeiro. Nele estão os conceitos abordados em aula e elementos que unem esses conceitos a outros de segunda hierarquia e também de terceira. Nele aparecem exemplos de aplicações como a “construção de computadores mais rápidos” e complementos da teoria como a “modernidade” e suas ramificações.

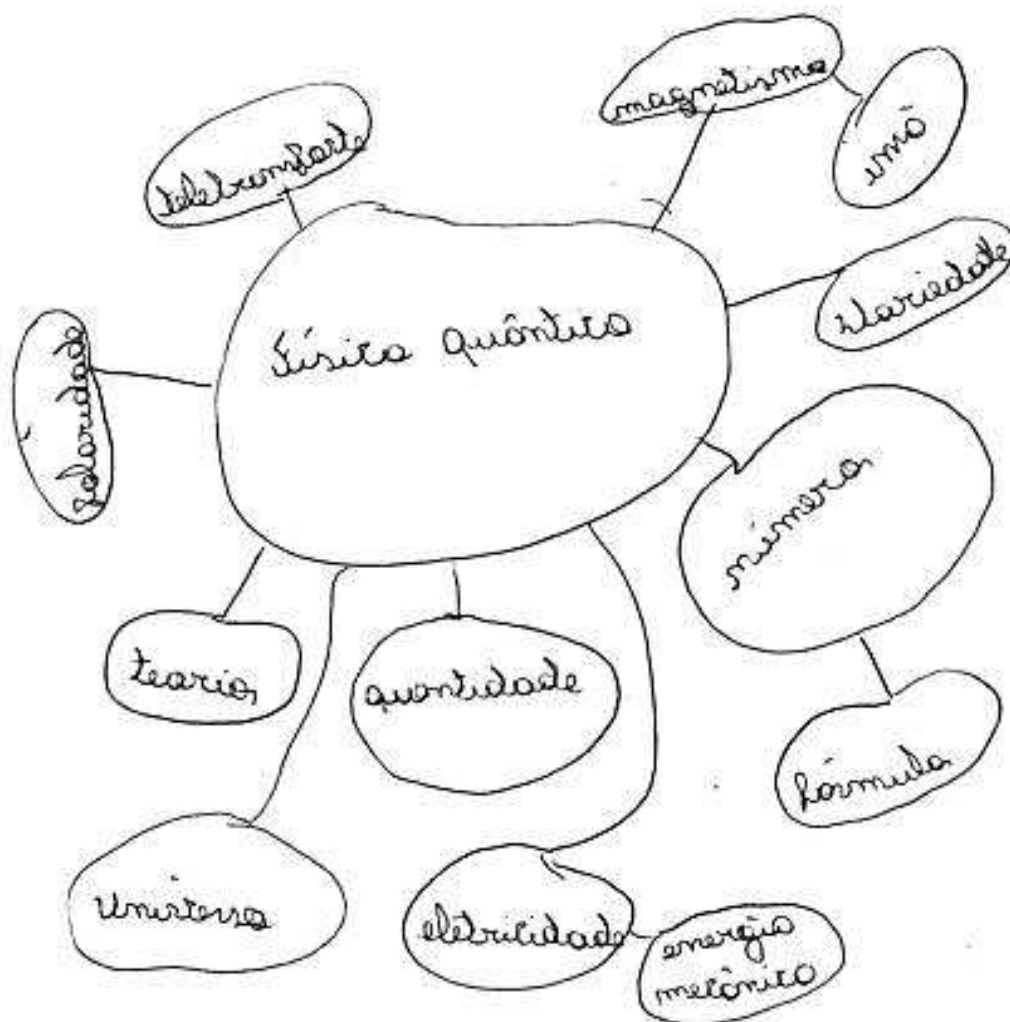


Figura 7 - Mapa livre elaborado pela dupla C.

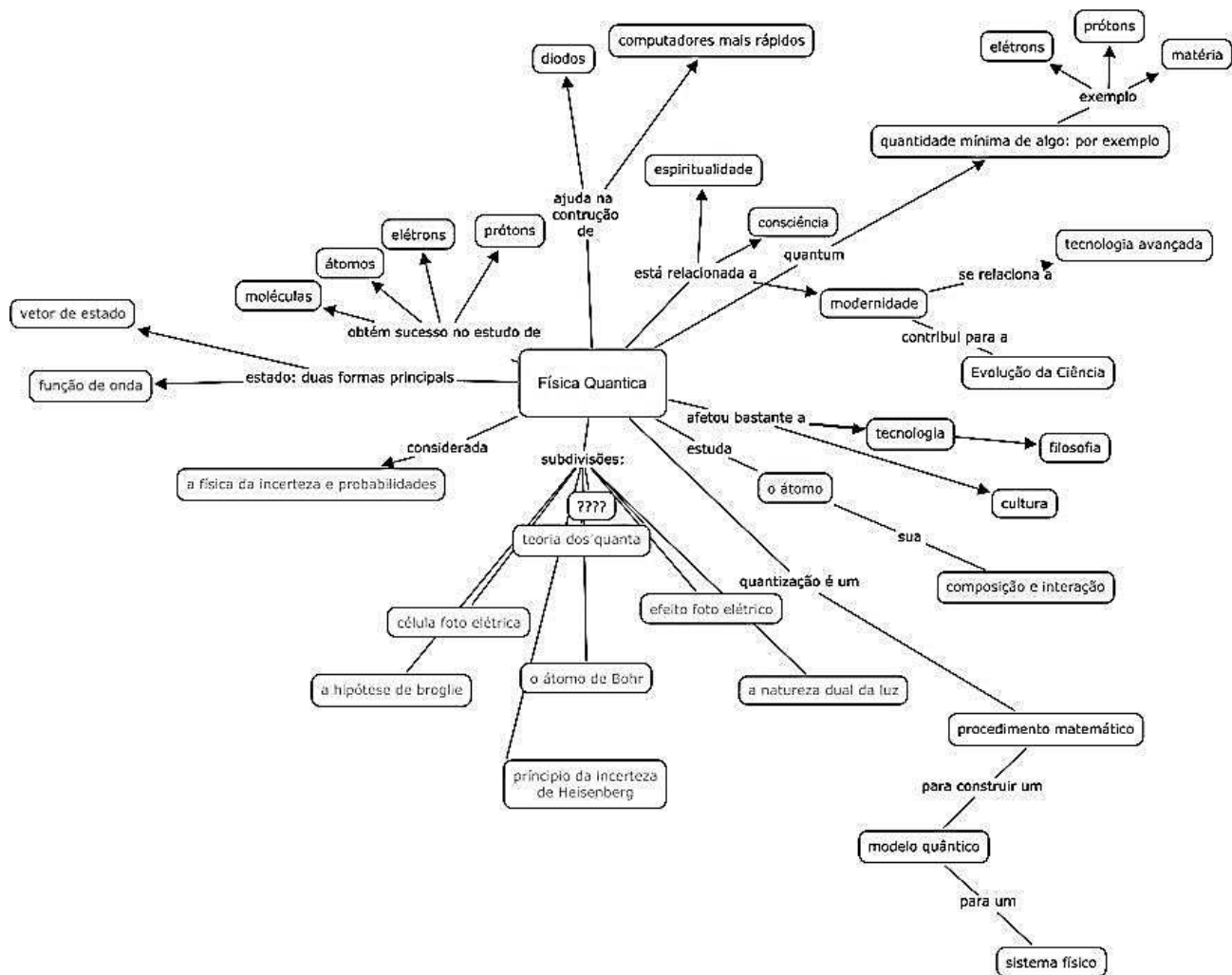


Figura 8 - Mapa conceitual elaborado pela dupla C.

Complementando os aspectos apresentados, os depoimentos das duplas sobre sua própria atividade também evidenciam a falta de compreensão inicial e a maior facilidade em compreender os conceitos após a apresentação dos conteúdos em sala de aula. Estes são transcritos no Quadro 01.

Dupla	Depoimento
Dupla A fase 1	<i>“No primeiro mapa nós nem tínhamos noção do que estávamos escrevendo, colocamos termos irrelevantes. No segundo mapa nós sabíamos os conceitos e que ligações fazer, pois o nosso conhecimento estava muito mais ampliado.”</i>
Dupla B	<i>“Ao decorrer do bimestre que foi utilizado para aprendermos um pouco</i>

fase 2	<i>mais sobre a física quântica, passamos por várias fases. Primeiramente sofremos um grande impacto até porque essa nova física era algo totalmente novo para nós, visto que, nunca tínhamos tido algum contato com o conteúdo em si. Logo após vieram as dúvidas seguidas de mais dúvidas, então resolvemos pesquisar e encontramos “um mundo” de infinitas possibilidades.”</i>
Dupla C fase 1	<i>“Comparando os mapas, percebemos uma grande evolução do primeiro para o segundo. Além do programa indicado para fazer o trabalho, ver exemplos de mapas foi muito importante. As aulas na multimeios também foi outra constante importante. Mas há muito o que melhorar ainda, mas a evolução foi visível. Antes não possuíamos uma opinião concreta sobre o assunto que era desconhecido e escrevemos palavras que poderiam possuir qualquer ligação e não tinha o conhecimento da maneira de criar um mapa conceitual.”</i>

Quadro 01 - Depoimento das duplas na comparação entre seus mapas livre e conceitual.

Em geral os mapas livres foram marcados pela presença de termos relacionados a disciplinas já cursadas, como Física e Química. Esses termos apontam a falta de conhecimento específico sobre a Física Quântica e a tentativa de relacioná-la aos conteúdos escolares. Talvez por este motivo, os estudantes se surpreenderam com a melhora dos conceitos relacionados no mapa conceitual. A frase mais ouvida na atividade de comparação de mapas foi que no primeiro as palavras foram colocadas sem real conexão com a Física Quântica, já no mapa conceitual a relação entre os conceitos utilizados estava clara.

Categoria 2: mapas de alunos que já possuíam algum conhecimento prévio sobre FQ.

A seguir são apresentados os mapas confeccionados por três duplas cujos mapas livres sugerem que os estudantes possuem algum conhecimento prévio

sobre FQ. As duas primeiras Figuras correspondem à dupla D, a Figura 9 e a Figura 12 pertencem à dupla E, e os últimos dois mapas são referentes à dupla F.

Na Figura 9 é apresentado o mapa livre elaborado pela dupla D, da fase 1 de implementação. Na Figura 10 tem-se o mapa conceitual confeccionado pela mesma dupla. No primeiro mapa observa-se que já estão presentes conceitos ligados a FQ, como Princípio da Incerteza e criptografia, e pode-se dizer que de certa forma todos os termos apresentados estão ligados a FQ. Entretanto, os conceitos não estão classificados de acordo com hierarquia ou ordem de importância. É um mapa radial, tipicamente apresentado quando ocorre a livre colocação de ideias previamente existentes. Observa-se que alguns conceitos que estão presentes no mapa faziam parte do questionário respondido por eles alguns meses antes da implementação, como Big Bang, teletransporte, energia escura e criptografia. Parece que o questionário teve grande influência neste mapa.

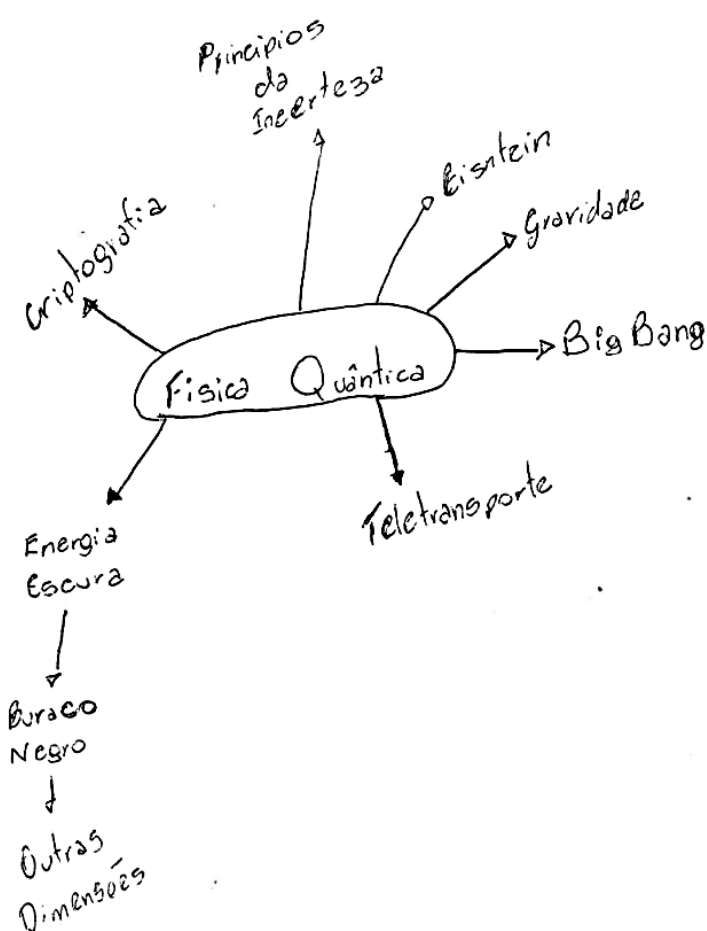


Figura 9 - Mapa livre elaborado pela dupla D.

Já no segundo mapa da dupla, Figura 10, o conhecimento, aparentemente, se encontra de maneira mais organizada. Praticamente não há termos de ligação, o que dificulta sua interpretação. Por outro lado, o mapa conceitual contempla praticamente todos os conceitos abordados no decorrer da UEPS e também conhecimentos adquiridos através de pesquisa realizada pelos alunos de forma espontânea em função do interesse sobre os buracos negros. Podem ser observados exemplos de aplicação do conhecimento na árvore da “Física Moderna”, a inclusão de novos conceitos é observada no ramo da “criptografia” e o ramo das “estrelas”, apesar de se apresentar como uma frase, se refere ao estudo complementar sobre buracos negros.

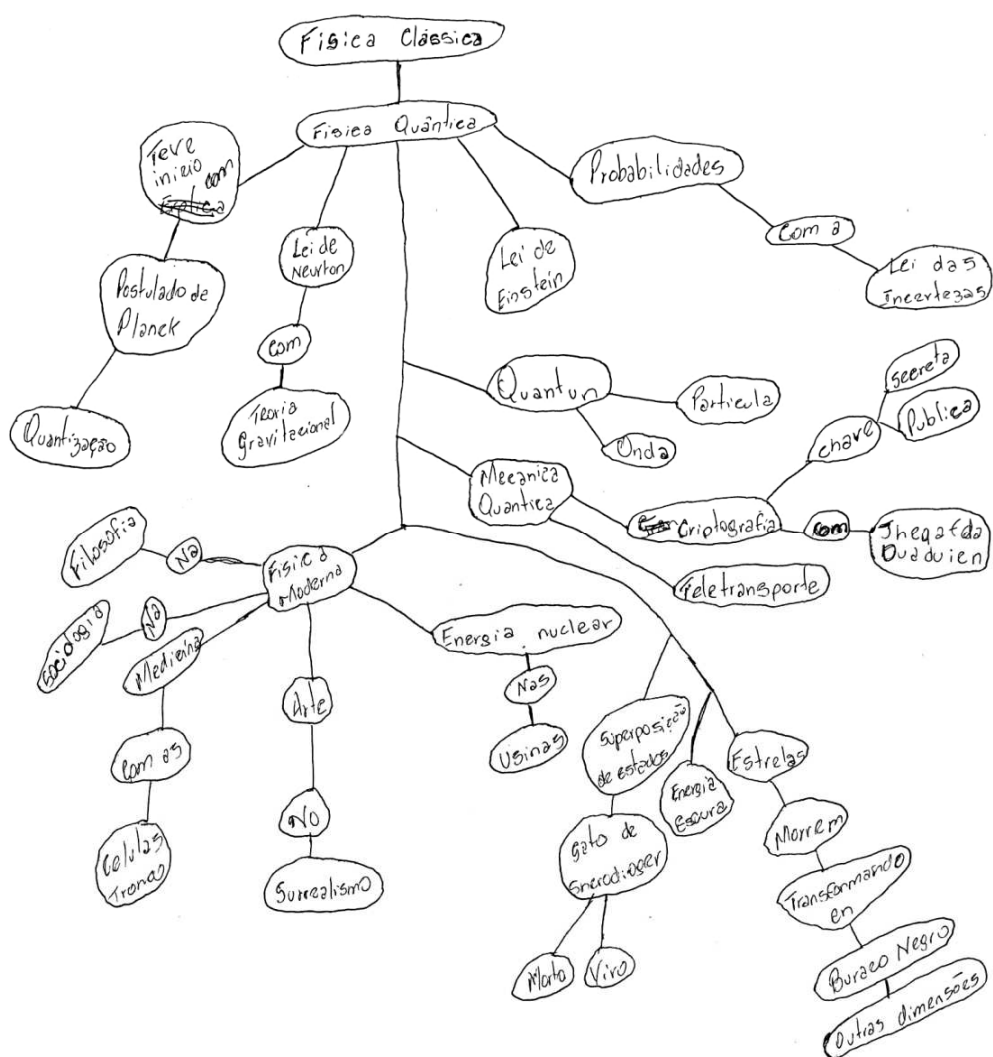


Figura 10 - Mapa conceitual elaborado pela dupla D.

Na Figura 11 é mostrado o mapa livre elaborado pela dupla E, da fase 1 da implementação. Pode-se observar que é um mapa que apresenta de forma clara os

conceitos ligados a FQ que já são de conhecimento das duas alunas. Pode-se verificar também que todos os termos apresentados estão ligados a FQ sem classificação hierárquica e o mapa possui formato radial em torno do conceito central. Neste mapa não há termos relacionados ao questionário aplicado, o que nos dá um forte indício de conhecimento prévio.

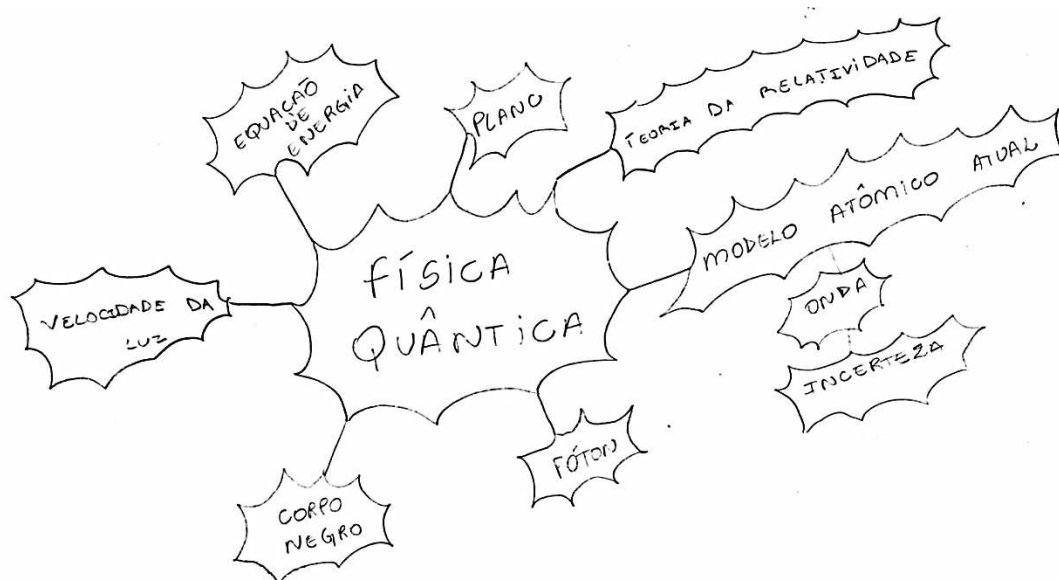


Figura 11 - Mapa livre elaborado pela dupla E.

A Figura 12 apresenta mapa conceitual feito pela dupla E e mostra como os conceitos estão hierarquizados na mente das alunas. O mapa apresenta, no topo, as partículas atômicas ligadas a FC sem elemento de ligação. Da FC derivam três ramos: Newton e a teoria gravitacional, a FQ. O elemento de ligação diz que a FC abriu caminho para a FQ, ou então em um atrevimento de tentar explicar a colocação das alunas, pode-se dizer que a FC foi a precursora da FQ. Pode-se dizer também que o mapa apresenta essa sequência possivelmente porque é a sequência como o conteúdo foi aprendido em sala de aula. A partir da FQ seguem novas ligações, chegando ao modelo atômico atual, incerteza, dualidade e superposição e estados. Todos esses se ligam a Física Moderna e dela partem as ramificações para os exemplos de aplicações da FQ no mundo macroscópico. Esse foi o único mapa entre todos os elaborados que apresentou uma hierarquia bem definida. Foi elaborado em sala de aula assim como os demais.

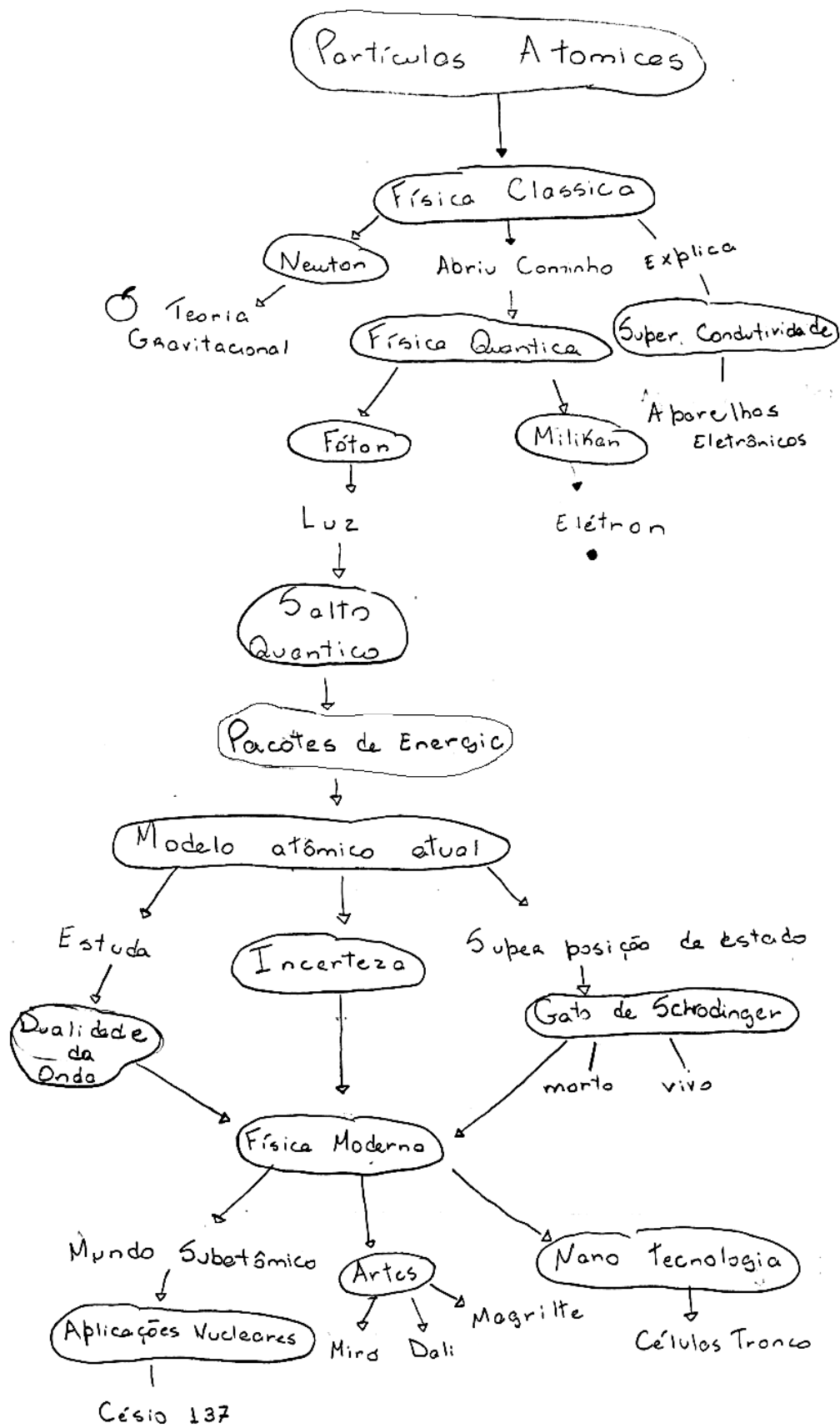


Figura 12 - Mapa conceitual elaborado pela dupla E.

Os dois mapas seguintes, Figura 13 e Figura 14, foram elaborados pela dupla F, participantes também da primeira fase da implementação. Pode-se observar que o primeiro é bastante rico em conceitos relacionados a FQ e apresenta um formato diferente dos demais mapas iniciais. Este mapa apresenta o conceito principal no topo e conceitos importantes ligados a ele. Apesar de Big Bang, Teletransporte e Buraco Negro estarem presentes no questionário sobre FQ, todos os outros conceitos colocados pelos alunos indicam a presença de conhecimento prévio.

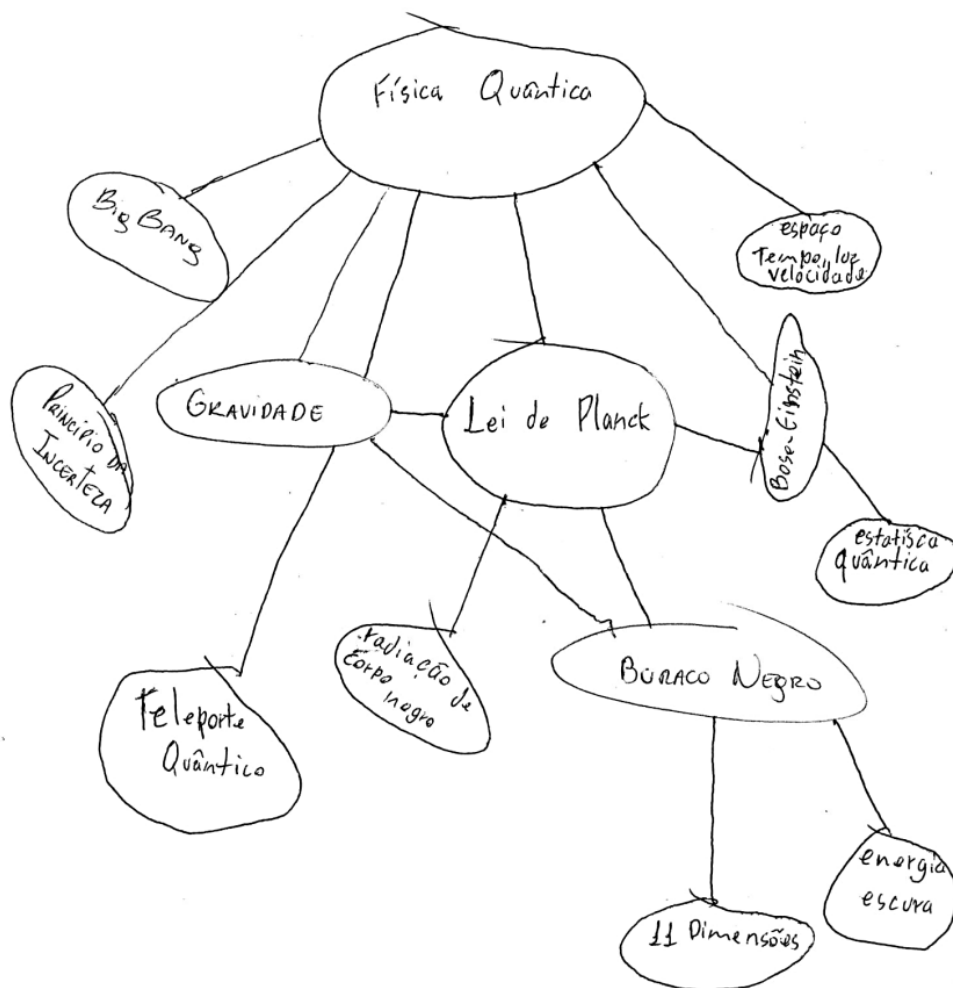


Figura 13 - Mapa livre elaborado pela dupla F.

Já o mapa da Figura 14 não apresenta avanços significativos em relação ao primeiro. Pode-se notar que muitos conceitos são os mesmos do mapa inicial. Esse fato talvez possa ser explicado considerando que os alunos já possuíam algum conhecimento sobre o assunto e não houve muito interesse em aprimorá-lo. O maior interesse apresentado por eles foi pelos buracos negros, sua formação, detecção e

localização. Várias vezes o assunto foi levantado em aula, e até chegou-se a pensar em fazer um seminário sobre o assunto, já que não era contemplado na proposta inicial, mas não havia tempo hábil e a greve do magistério no final de novembro impossibilitou definitivamente a abordagem desse assunto.

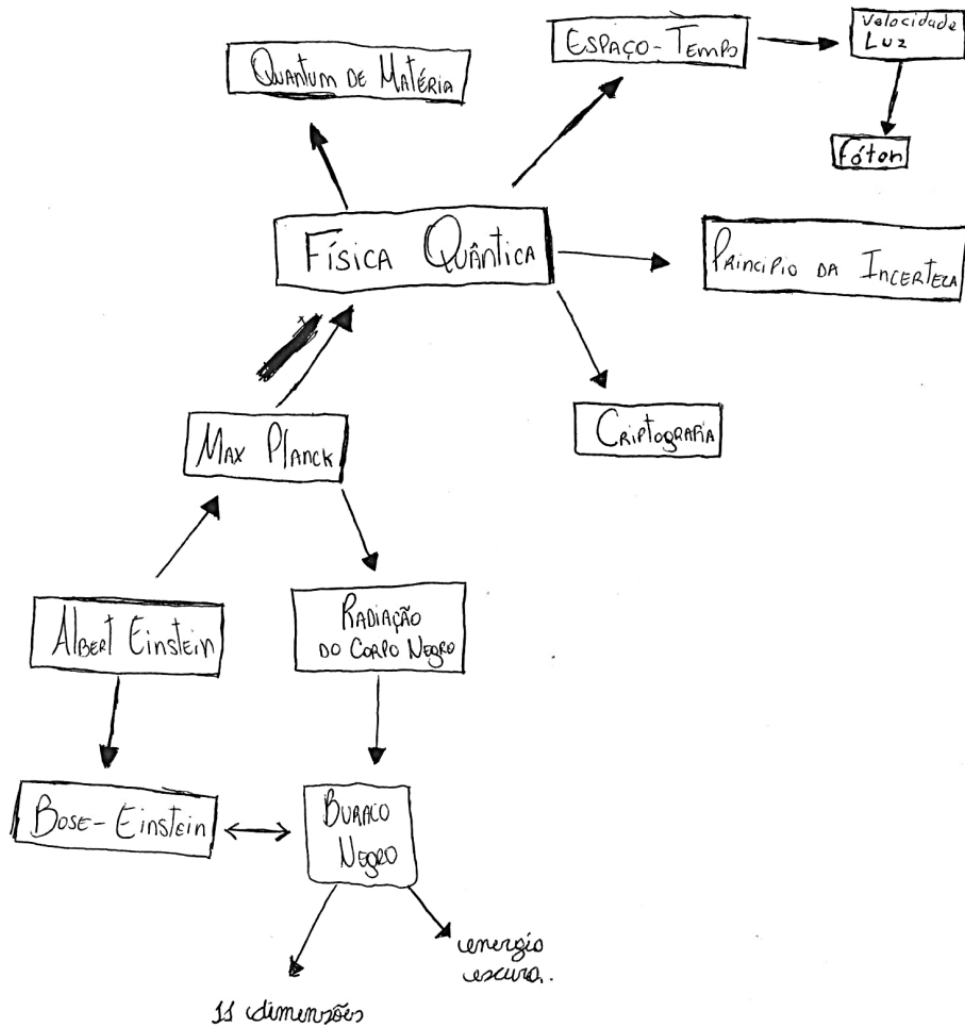


Figura 14 - Mapa conceitual elaborado pela dupla F.

No Quadro 02 estão transcritos os depoimentos das três duplas sobre a comparação dos mapas. Aspectos como a importância dos termos de ligação e a dificuldade de organizar o conhecimento para a construção do mapa conceitual podem ser observados em suas falas.

Dupla	Depoimento
-------	------------

Dupla D fase 1	<i>“No nosso 1º mapa nós colocamos poucos conceitos e sem nexos. No 2º nós tínhamos muito mais noção do que estávamos colocando (faltou bastante coisa), mesmo assim acredito que tenha ficado razoável, embora tenha faltado as palavras de ligação”.</i>
Dupla E fase 1	<i>“O segundo mapa mudou muito do primeiro pois mudou nossa ideia de cada conceito que tínhamos colocado, ajudando a entender melhor cada parte. E com os termos de ligação que colocamos entre os conceitos ajudou a fixar melhor a matéria”.</i>
Dupla F fase 1	<i>“Esquecemos de algumas coisas no segundo que seria muito grande o mapa e não deu tempo de criar um mapa melhorado”.</i>

Quadro 02 - Depoimento das três duplas na comparação entre seus mapas livre e conceitual da categoria 2.

Observa-se que em dois mapas livres foram apresentados alguns conceitos que não podem ser considerados conhecimento prévio em função do contato que tiveram meses antes em função do questionário. Entretanto, há também a presença de conceitos que não foram apresentados antes em sala de aula, o que nos dá fortes indícios de existência de conhecimento prévio.

Pode-se dizer que dentre os mapas apresentados há uma subdivisão de categoria onde a dupla E apresentou, no mapa inicial, basicamente conceitos vistos no questionário e, depois, houve a evolução com o acréscimo de novos conceitos vistos em sala de aula e melhor organização do mapa. No mapa inicial da dupla F percebe-se que não havia a presença de conceitos do questionário, indicando que os conceitos ali colocados são indícios fortes de presença de conhecimento prévio. E esse conhecimento é melhorado e apresentado de uma forma mais organizada no mapa conceitual da dupla, sendo que, aparentemente, há a ligação da sequência da Física aprendida anteriormente com a FQ e a FMC. Já a dupla F acrescenta muito pouco se compararmos o mapa inicial e o mapa conceitual. A fala dos alunos passa um tom de “eu sabia mais, mas não coloquei”. Isso, como já dito anteriormente, pode talvez ser explicado pelo fato de o conteúdo não abordar a principal curiosidade desses alunos: os buracos negros.

Categoria 3: mapas em que se observa a ligação da FQ com o misticismo.

Seguem abaixo os mapas livres e conceituais elaborados por outras três duplas. Os mapas iniciais destes alunos sugerem que eles apresentam ligações entre a FQ e o misticismo. A Figura 15 e a Figura 16 correspondem à dupla G, as duas figuras seguintes correspondem aos mapas da dupla H, já a Figura 19 e a Figura 20 correspondem aos mapas da dupla I.

Na Figura 15 é apresentado o mapa livre elaborado pela dupla G, cujos alunos participaram da fase 2 da implementação. Observa-se que neste mapa há a presença de uma hierarquia mais consistente quando se olha para o ramo da direita, mas também há uma hierarquia na apresentação das terapias para o desenvolvimento espiritual.



Figura 15 - Mapa livre elaborado pela dupla G.

Na Figura 16 é mostrado o mapa conceitual da mesma dupla. É possível verificar que eles usaram ideias presentes na UEPS com agrupamentos de conceitos e hierarquias. Foi mantido e complementado o ramo que se refere ao

misticismo, mas aparentemente foi buscada uma ligação deste com a FQ, ou até mesmo a busca de uma formalização para este aspecto, pois se observa que “Terapias” e “Reiki” estão ligadas a “Leis” e “Teorias”, chegando a “Neurociência”. Isso mostra a forte ligação apresentada pela dupla com o misticismo e que a abordagem apresentada em sala de aula foi possivelmente (re)interpretada pelos alunos, no sentido de reforçar e buscar a explicação desses “fenômenos místicos” através da ciência.

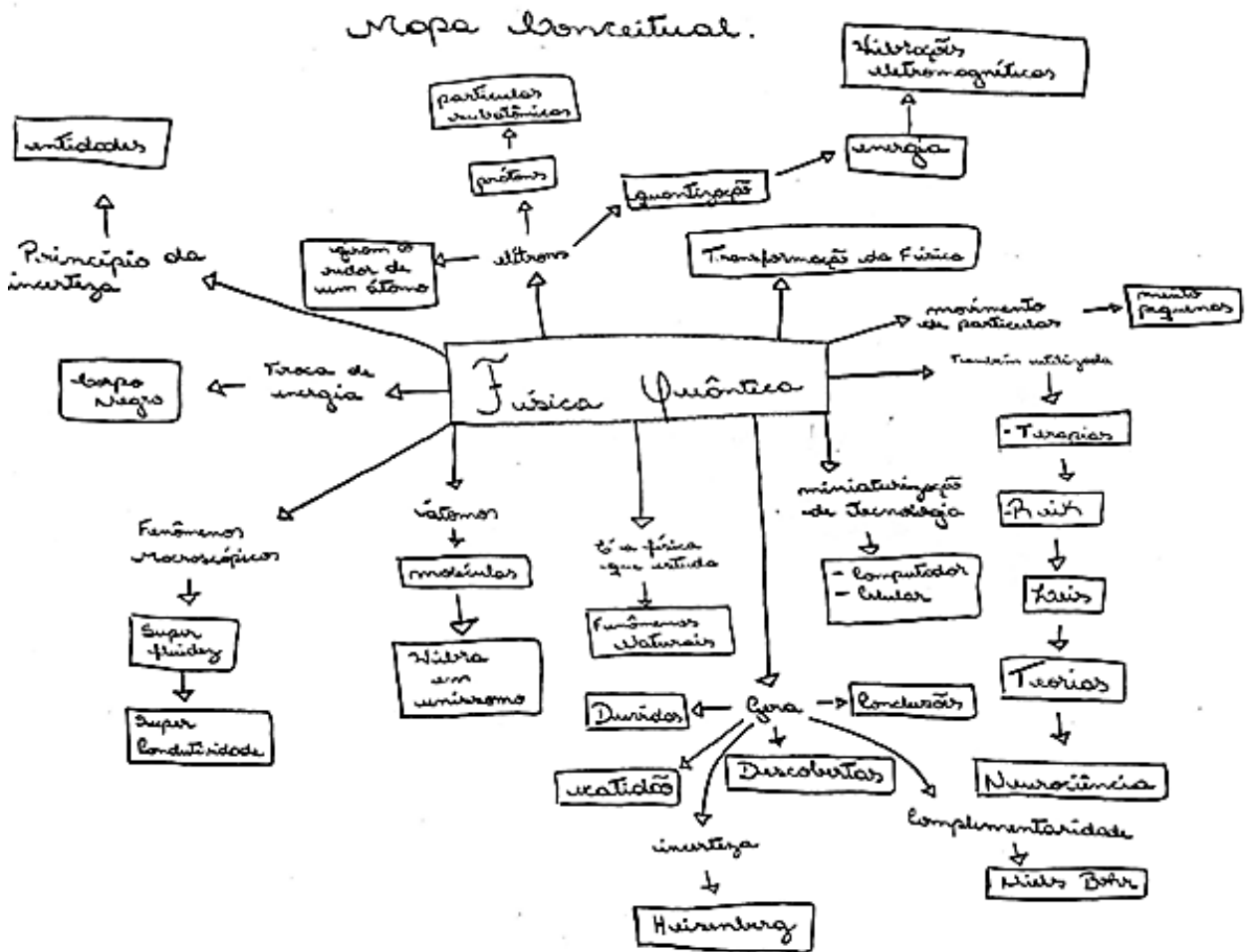


Figura 16 - Mapa conceitual elaborado pela dupla G.

O mapa livre apresentado na Figura 17 foi elaborado pela dupla H e também apresenta ramos relacionados ao misticismo. Observa-se que há dois ramos ligados a FQ, podendo indicar algum conhecimento prévio sobre o assunto e dois ramos relacionados ao misticismo. Sobre o termo “alinhamento de elétrons” não é possível saber se o aluno está se referindo a FQ ou não. Já no mapa conceitual apresentado na Figura 18 não há nenhum termo ligado ao misticismo, somente ideias e conceitos

relacionados ao conteúdo da UEPS. Para estes alunos pode-se dizer que, após a implementação da UEPS, eles passaram a dissociar, ao menos formalmente, a FQ do misticismo. Aparecem conceitos utilizados na UEPS e o ramo do “quantum” no primeiro do mapa inicial passou para “Planck” e “quantidade de energia”.

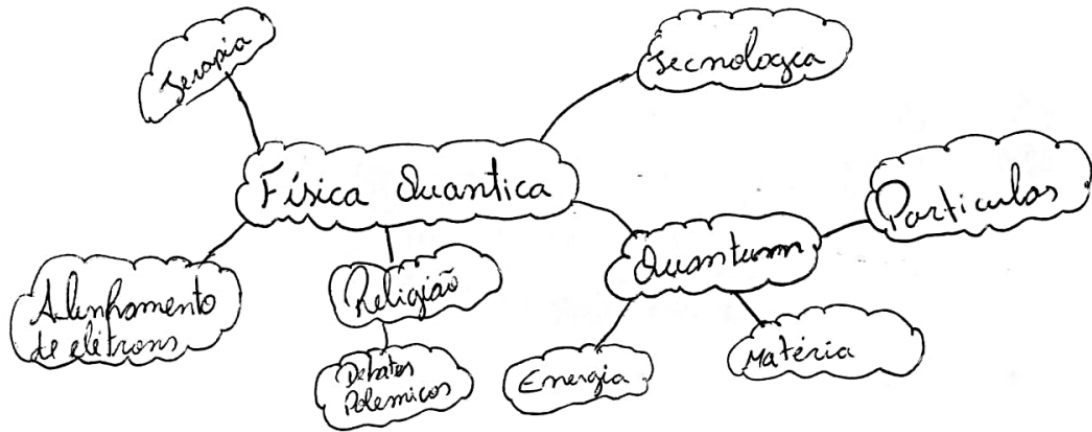


Figura 17 - Mapa livre elaborado pela dupla H.

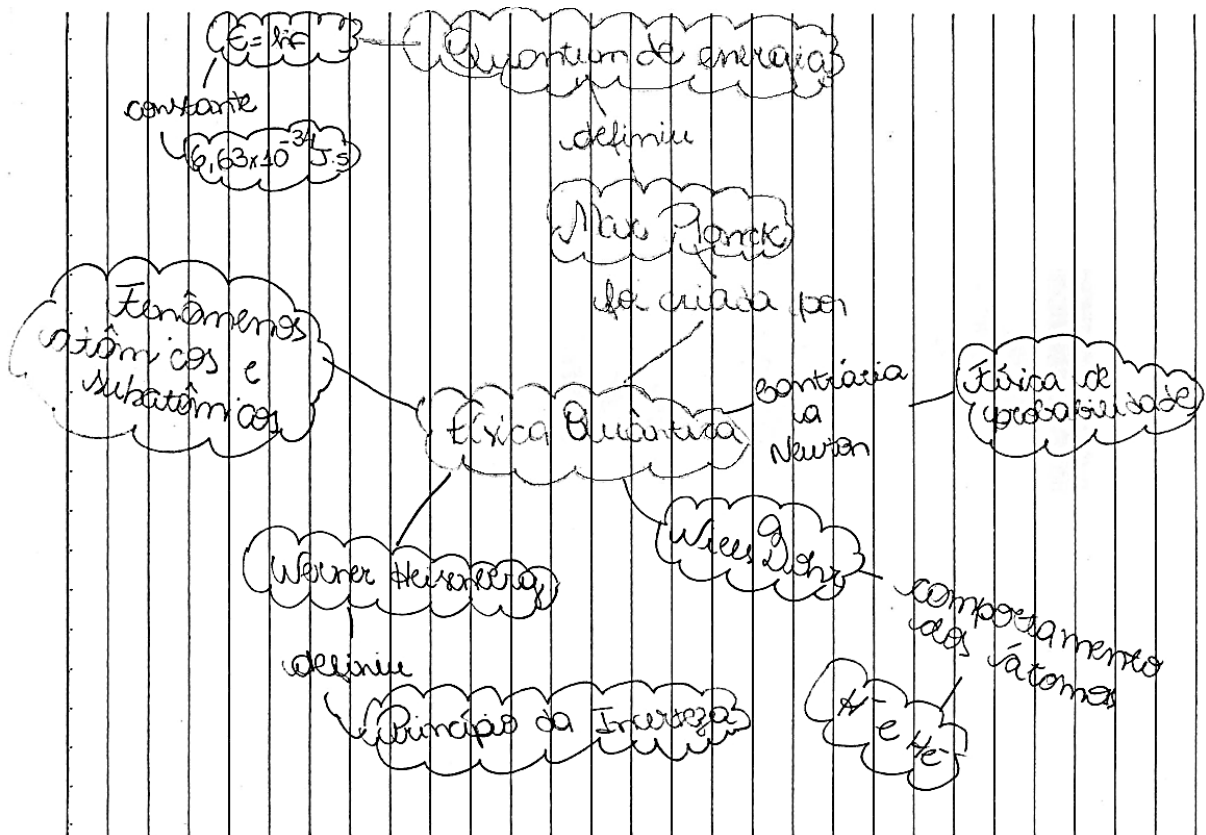


Figura 18 - Mapa conceitual elaborado pela dupla H.

Na Figura 19 tem-se o mapa livre da dupla I, também da fase 2 da implementação. Neste mapa observa-se que há a presença de termos como como “terapias”, “equilíbrio mental e corporal”, que podem estar ligados ao misticismo. Entretanto, também há indícios da presença de conhecimento prévio com “quantum”, “partículas elementares” e “foton”. Também há termos ligados à medicina e avanços tecnológicos.

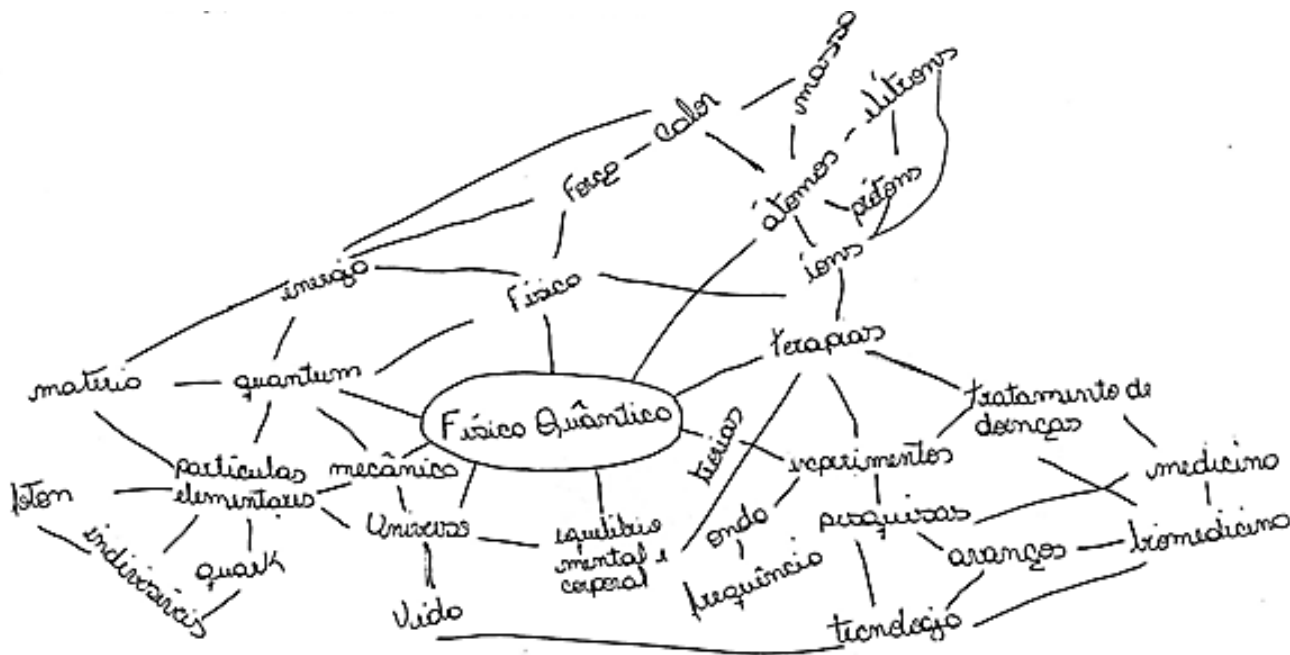


Figura 19 - Mapa livre elaborado pela dupla I.

O mapa conceitual da dupla I, mostrado na Figura 20, não apresenta nenhum termo ligado diretamente ao misticismo. Ele contém um ramo sobre medicina e ali consta a frase “novas formas terapêuticas” que não está necessariamente ligado ao misticismo, podem ser técnicas em si. Mais uma vez, pode-se dizer que provavelmente eles passaram a dissociar, ao menos formalmente, a FQ do misticismo. O mapa é bastante complexo, continua com muitas ligações entre os termos, mas já aparecem elementos de ligação. Foram utilizados os conceitos vistos em aula, mas se destaca a quantidade de aplicações da teoria que foram citados pelos alunos, tais como “desenvolvimento tecnológico”, “instrumentos de medida” e “desenvolvimento da energia nuclear”, entre outros.

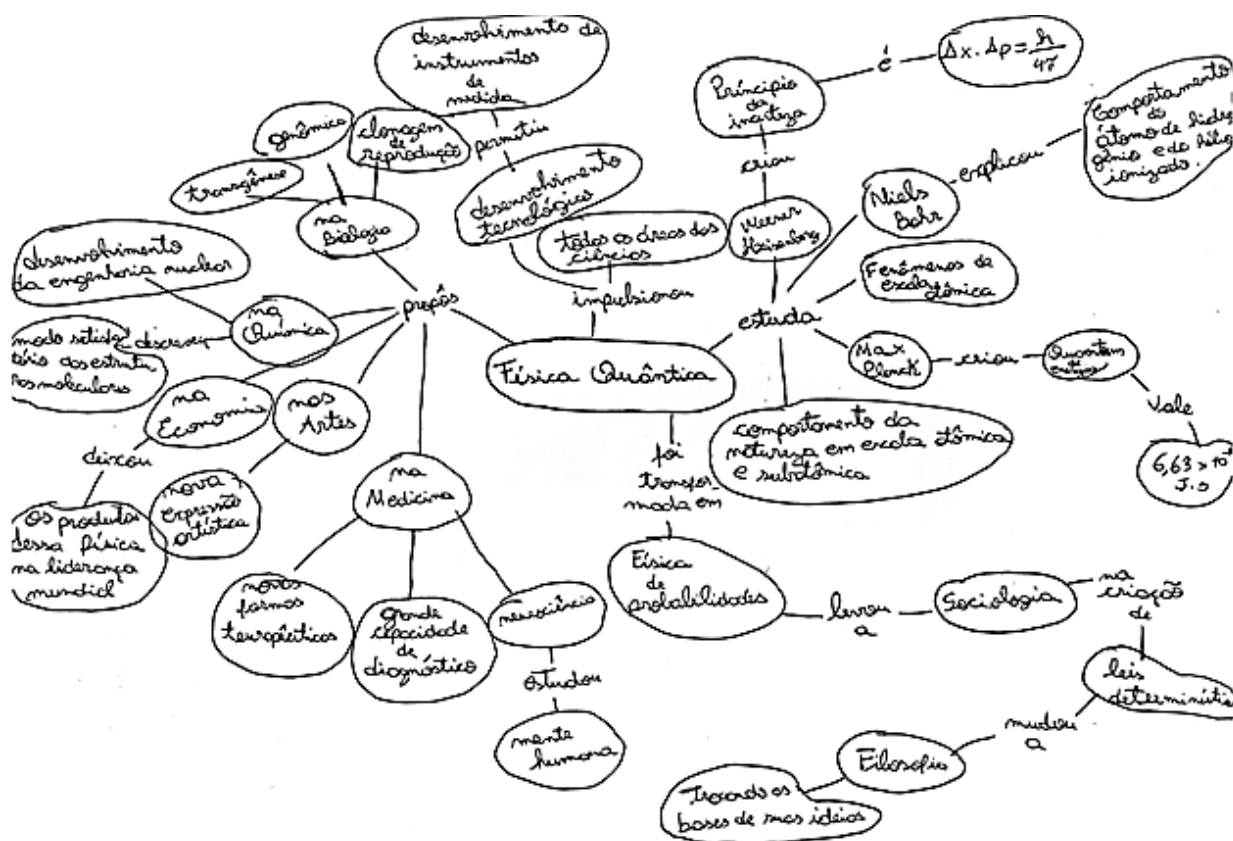


Figura 20 - Mapa conceitual elaborado pela dupla I.

No Quadro 03 estão listadas as falas dos alunos sobre a comparação entre os mapas livres e os conceituais.

Dupla	Depoimento
Dupla G fase 2	"Devido ao estudo mais aprofundado sabemos explicar melhor e fazer a montagem do mapa e seus tópicos"
Dupla H fase 2	"No primeiro mapa não tínhamos muito conhecimento da matéria então escrevemos coisas que não tinha nada a ver, mas no segundo com um estudo mais aprofundado sabemos falar melhor sobre a física quântica."
Dupla I fase 2	"No primeiro mapa conceitual estávamos sem qualquer tipo de conhecimento, então ele ficou pobre em informação. Já no segundo, tínhamos material e assistido muitas aulas, podendo ter conhecimento, deixando o mapa rico em informações".

Quadro 03 - Depoimento das duplas na comparação entre seus mapas livre e conceitual na categoria 3.

Na fala da dupla G observa-se que fizeram referência apenas à técnica de elaboração de mapas conceituais, o que nos dá indícios de que eles mantêm o misticismo. A fala da dupla H contém uma frase “escrevemos coisas que não tinham nada a ver” quando se referem a primeiro mapa. Possivelmente ela esteja relacionada aos termos sobre misticismo contidos no mapa inicial e sua ausência no segundo mapa.

Após analisar os dezoito mapas, pode-se dizer que todas as duplas que participaram do trabalho apresentaram evolução semelhante à apresentada aqui, sendo, portanto, os mapas aqui apresentados os mais representativos das turmas. Conforme as observações acima, alguns indícios de aprendizagem significativa foram encontrados, uma vez que os estudantes expuseram conceitos e relações cientificamente aceitas no domínio da FQ, de acordo com a compreensão esperada para o EM. Observa-se, também, que os alunos que já possuíam um bom conhecimento prévio, em geral não cresceram muito, apresentam crescimento mas não de acordo com o esperado. Já os alunos que possuíam pouco conhecimento prévio acrescentaram muito. E nos que havia crenças místicas fortes, estas podem ter funcionado como empecilhos, ou como obstáculos epistemológicos.

Alguns dos resultados aqui apresentados foram divulgados no *2º Simpósio de Ensino de Física e Matemática*, organizado pela UNIFRA de Santa Maria-RS, com o título “UMA PROPOSTA DE UEPS UTILIZANDO MAPAS CONCEITUAIS”. Outro trabalho elaborado a partir da comparação entre mapas foi aceito para apresentação no *Quinto Congreso Internacional Sobre Mapas Conceptuales*, em Valetta, Malta com o título “THE USE OF MIND MAPS AND CONCEPT MAPS IN QUANTUM MECHANICS AT HIGH SCHOOL LEVEL”.

6.2 Trabalhos de livre escolha

Foi feita a seleção de alguns trabalhos livres elaborados logo após a leitura do texto *Física Quântica para todos*. Foram selecionados os trabalhos considerados significativos pela repercussão que tiveram no grande grupo e por escolha da

professora. Deve-se destacar que os trabalhos identificados como sendo cópias fiéis de sites da internet formam excluídos automaticamente desta seleção.

Dentre os que merecem destaque estão música (paródia), um poema, um artigo de opinião, um resumo em formato de página de revista, um cartaz com uma linha do tempo e um jogo de tabuleiro.

A música sobre FQ foi composta por quatro alunos da turma D, que participaram da segunda fase da implementação. A letra diz o seguinte:

*Física Quântica é a transformação
Que ocorreu desde a época de Newton
E agora eu vou te dar a informação
De que significa o quantum
É a quantidade elementar
E a unidade de medida
Dessa matéria que parece difícil
Mas aparece demais na sua vida*

*Refrão: Física, Física Quântica
É o que eu vou estudar
Física, Física Quântica
Para poder me formar*

*Teve início com Max Planck
Lá no ano de 1900
Não existia nem computador
Muito menos nanotecnologia
E foi aí que o estudo se aplicou
Pra nossa atual alegria
Participou da grande revolução
Que acontece na economia*

Refrão

*Hoje em dia você pode enlouquecer
Preste atenção, se liga,
Caso louco você ficar
Física Quântica será sua amiga
Para sua mente então consertar
Praticando a neurologia.*

O poema foi elaborado por quatro alunos da turma C, também da fase 2. Foi declamado para o grande grupo onde estava presente a Supervisora e a Vice-diretora da Escola². O poema está transcrito a seguir:

Quantum

*Entre tantas teorias
Trouxe profundas mudanças
Espalhou-se na História
Nomes e fórmulas.*

*Transformação de massas
Em números, cálculos e mais cálculos
Do clássico para o inovador
Onde explica-se com quantizar.*

Uma parte de um todo!

*Incertezas subatômicas
Mundo quantum
Planck, Einstein
Trabalho árduo destes magos.*

² Todas as apresentações dos trabalhos livres da turma C foram acompanhadas pela equipe diretiva a convite da professora.

*Fenômenos no universo
Explicados em frações
Faces de livros com teorias
E probabilidades eficazes.*

*Símbolos revolucionários
Sem ética e nem ótica
Representam a análise.*

*Coleta, queima, modifica e fuma
Um elétron surreal
Ou cotidiano abstrato
Sem distinguir ondas de cosa.*

*Inspiração parece lógica
Impulso do cérebro
Em parte compreensão humana
Mecânica, orgânica e espiritual.*

Uma parte de um todo!

*Formulação de novos paradigmas
Movendo discordância
Ora foda, ora roda... mundo
Raios, luz, energia.*

*Do clássico ao inovador
A história é escrita
Em abstrato e real
Sob a formulação da vida.*

O artigo de opinião foi elaborado por duas alunas da turma D e diz o seguinte:

Física Quântica: o inimaginável

Desde os primórdios da humanidade, a Física tem como objetivo explicar os fenômenos existentes e desvendar os mistérios do cotidiano. Por vários séculos, a Física se mostrou essencial para a percepção do mundo. A Física Newtoniana demonstrou a gravitação universal e as leis da mecânica. Mas no final do século XIX, a ciência tomou um novo rumo e surgiu a Física Quântica, baseada no “quantum”, proposto por Max Planck. O quantum seria a quantidade mínima de energia de uma partícula.

De início, a Física Quântica serviu para explicar fenômenos que não podiam ser explicados pela Física Clássica, tais como: a radiação do corpo negro, as ondas eletromagnéticas e o efeito fotoelétrico. Surgiu então, o novo conceito de partícula com a ajuda do modelo atômico de Bohr.

Vários cientistas aderiram a Física Quântica. Entre eles destacam-se Werner Heisenberg que com seu “Princípio da Incerteza” estabeleceu que não se pode ter exatidão nos estudos das entidades atômicas, já que a Física Quântica devia basear-se em suposições que a ciência não comprovara. Albert Einstein por sua vez, formulou a “Teoria da Relatividade” na qual constava que as partículas sofriam alterações do tempo e espaço porque o universo é relativo.

Mas a Física Quântica não serve apenas para as ciências exatas, ela também supõe a existência de Deus, por estar interligada com os fenômenos cósmicos. Ela é mais do que um ramo a ser desvendado, pois abrange todas as áreas de raciocínio humano. Assim, contribuiu fundamentalmente para diversos campos, com a Biologia, a Química, as Ciências Sociais, as Artes e para a religião através do espiritismo.

A Física Quântica trouxe inúmeras explicações para fatos pouco conhecidos. E serve para mostrar a vida de uma forma que não se pode ver a partir de partículas microscópicas. Esta ciência sem dúvida trará grandes áreas profissionais para o futuro. Mas o futuro deve começar no presente, pois a Física Quântica não surgiu apenas para desvendar mistérios não revelados, mas também para tornar possível a reflexão das coisas que estão muito acima da existência humana.

A seguir é apresentada a Figura 21 que mostra o resumo sobre FQ, em formato de página de revista, elaborado pelo aluno da turma B.

ALGUMA

FÍSICA QUÂNTICA

João Vicente da S. Santos, 1303



• Mecânica Quântica



A **mecânica quântica** é a teoria física que obtém sucesso no estudo dos sistemas físicos cujas dimensões são próximas ou abaixo da escala atômica, tais como moléculas, átomos, elétrons, prótons e de outras partículas subatômicas, muito embora também possa descrever fenômenos macroscópicos em diversos casos.

A Mecânica Quântica é um ramo fundamental da física com vasta aplicação. A teoria quântica fornece descrições precisas para muitos fenômenos previamente inexplicados tais como a radiação de corpo negro e as órbitas estáveis do elétron.

• Quantum

Quantum (plural: Quanta) é termo genérico que significa quantidade elementar, como se infere a etimologia da palavra, uma quantidade, unitária de algo de natureza qualquer ou concreta.

Na Física é aplicado em três formas: **Quantum energético**, quantidade elementar, indivisível de energia eletromagnética; **Quantum gravitacional**, quantidade elementar, indivisível, de campo gravitacional; **Quantum particular**, quantidade elementar, indivisível, de matéria caracteriza partícula subatômica, nas várias classes.

• Princípio da incerteza



O **princípio da incerteza de Heisenberg** consiste num enunciado da mecânica quântica, formulado inicialmente em 1927 por Werner Heisenberg, impondo restrições à precisão com que se podem efetuar medidas simultâneas de uma classe de pares de observáveis. Ou seja) que sabendo a posição inicial e o momento (massa e velocidade) de todas as partículas pertencentes a um sistema, podemos calcular suas interações e prever como elas se comportarão. Porém, para a Mecânica Quântica, esse processo é um pouco mais complexo.

No final da década de 1920, Heisenberg formulou o chamado princípio da incerteza. De acordo com esse princípio, não podemos determinar com precisão e simultaneamente a posição e o momento de uma partícula. Anui-se que, em uma experiência não se pode determinar simultaneamente o valor exato de um componente e de uma partícula.

$$\Delta x_i \Delta p_i \geq \frac{\hbar}{2}$$

Formulação matemática

Figura 21 - Resumo em formato de revista.

O cartaz, Figura 22, no tamanho de uma folha de cartolina com a linha do tempo, foi elaborado por dois alunos da turma A.

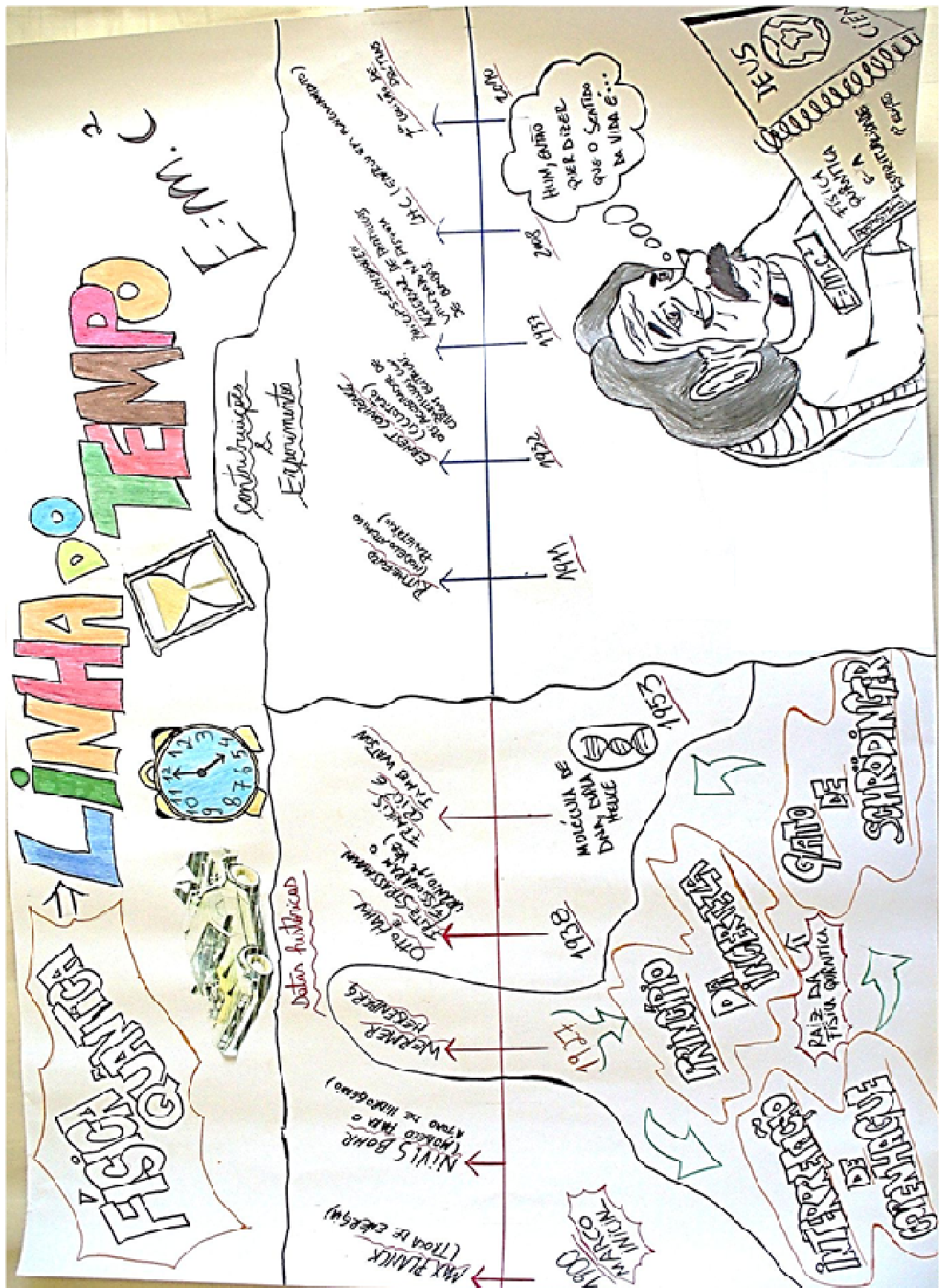


Figura 22 - Cartaz com a linha do tempo.

O Jogo de tabuleiro mostrado na Figura 23, foi elaborado por duas alunas da turma D. No momento da apresentação, elas convidaram os colegas e fizeram uma demonstração de como jogar.



Figura 23 - Jogo de tabuleiro.

6.3 A avaliação individual

A avaliação individual foi constituída de uma prova, com questões apenas fenomenológicas. A prova foi elaborada pela professora baseando-se no conteúdo abordado e com algumas questões adaptadas a partir de questões de livros ou de vestibulares. A avaliação consta no Apêndice 03.

O resultado desta avaliação tradicional foi que muitos alunos obtiveram notas abaixo do esperado. Pode-se dizer esse um desempenho, um pouco inferior ao dos demais trabalhos realizados, até era esperado, porque a prova tradicional é uma forma de avaliação diferente das outras atividades propostas e pede um tipo de conhecimento diferente da forma como foi abordado o conteúdo. Além disso, essa foi a única atividade individual realizada pelos alunos. Entretanto, essa avaliação teve que ser feita, pois a Escola exige que seja aplicada pelo menos uma avaliação em formato de prova individual.

Ao questionar os alunos sobre o desempenho na prova, eles afirmaram que não haviam se preparado como deveriam e que em função de outras provas que apresentavam pesos maiores do que a da Física (cada atividade teve peso 1,0, inclusive a prova), eles optaram por estudar mais para as outras disciplinas.

6.4 O jornal elaborado pelas turmas

Deve-se destacar também a produção realizada pelos quatro grandes grupos: o jornal da turma. Para a confecção do jornal as tarefas para a sua criação foram divididas entre os membros da turma. Assim ficou estipulado o que cada um, sozinho ou em dupla, faria para que o jornal pudesse ser montado. Foi definido quem seria o editor, quem faria a formatação e revisão e a quem caberiam os artigos, palavras cruzadas, etc. Uma foto da capa de cada um dos jornais encontra-se no Apêndice 4.

Neste trabalho foi fundamental o trabalho do grupo como um todo, pois foram estipulados prazos, metas e distribuídas tarefas conforme a habilidade ou interesse de cada um. Deve-se ressaltar que cópias de internet ocorreram, erros ocorreram, alguns foram corrigidos e outros não, por falta de tempo. Mas, enfim, o trabalho em equipe e o engajamento coletivo foram os pontos fortes do trabalho.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de UEPS foi bem recebida pelos estudantes e as atividades foram realizadas por todos, apesar da utilização de atividades diferentes do habitual. O mais importante talvez seja ressaltar a forma como a avaliação foi conduzida. No ensino tradicional, a comparação entre o que se sabe antes e depois sobre os conteúdos vistos tradicionalmente, dificilmente é feita. Normalmente ocorre apenas a avaliação final, deixando o aluno com um sentimento de frustração por não ter alcançado o desempenho desejado ou necessário para a aprovação. Com a UEPS, o desempenho dos estudantes não fica restrito a uma prova final e eles podem avaliar sua própria aprendizagem ao longo do período, aumentando sua confiança e possibilitando que procurem outras fontes sobre o assunto, troquem informações e questionem o professor.

Pode-se verificar que os mapas iniciais permitiram que os alunos pudessem expressar-se livremente e, portanto, influências externas na formação dos subsunçores, como por exemplo, questões divulgadas na mídia ou contribuições de outras séries ou conteúdos escolares, emergissem. Por outro lado, nos mapas conceituais essas características foram praticamente suprimidas, devido à própria estrutura dos mapas, que reflete a captação de significados referentes ao conteúdo específico tratado. Assim, as influências externas sobre a Física Quântica foram, em grande parte, extintas espontaneamente no decorrer do trabalho. Deve-se destacar que a maior parte dos mapas conceituais que ainda apresentaram termos relacionados ao misticismo pertencem a alunos da segunda fase da implementação, que tiveram algumas atividades realizadas em tempo reduzido.

Assim, a utilização dos mapas mostrou-se um bom recurso para observação da evolução do conhecimento, auxiliando tanto a professora quanto os próprios alunos, na identificação de relações que foram assimiladas e suas falhas de

compreensão, facilitando a retomada de conceitos, que ainda não foram totalmente esclarecidos, nas fases seguintes do conteúdo.

Pode-se dizer que há evidências de aprendizagem significativa ao comparar mapas livres (mentais) – realizados no início da intervenção, como forma de detectar subsunções – com mapas conceituais – indicadores da evolução dos conhecimentos sobre Física Quântica –, explorando as relações entre conceitos cientificamente aceitos. Com isso, abordagem da Física Quântica no Ensino Médio mostrou-se viável e trouxe bons resultados, e a utilização da UEPS como proposta metodológica apresenta caráter inovador, uma vez que é um enfoque muito recente.

Mais que um instrumento para promover a aprendizagem significativa, o uso de UEPS, bem como de recursos como mapas mentais e conceituais, pode ser uma opção interessante para a atualização curricular e inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

Outra etapa relevante foi a construção de trabalhos livres a partir do texto inicial, no passo 3. Os alunos surpreenderam a professora e a turma, com poemas, charges, histórias em quadrinhos, cartazes, linha do tempo, músicas e até mesmo um jogo de tabuleiro. Todos estes trabalhos estavam de acordo com o conteúdo abordado, apontando a capacidade dos estudantes de exercer sua criatividade quando estimulados.

Ao final do conteúdo, ao propor que fossem rediscutidos os questionamentos iniciais, foram obtidas algumas respostas como *“se a senhora perguntar se aprendemos algo sobre Física Quântica nós podemos saber algo ou não. Enquanto a gente não responder coexistem as duas possibilidades e a senhora só vai saber a resposta quando alguém responder”* ou ainda *“ih, nossa, agora eu tenho muita coisa para responder”*. Ainda nesta fase final da UEPS, ouviu-se em uma das turmas o seguinte comentário *“bem que podia ter duas aulas de Física Quântica e não ter alguma outra matéria”*, indicando que, de acordo com o que foi analisado até o momento, têm-se fortes indícios de boa receptividade dos estudantes ao estudo da Física Quântica da forma como foi proposta.

Vale ressaltar, também, que o objetivo de tentar resgatar o prazer do professor em dar aula e do aluno em aprender foi satisfatoriamente atendido. Pode-se fazer esta afirmação em função dos comentários feitos pelos alunos, pelo interesse que a maioria demonstrou, pelo engajamento na realização das atividades e pela proximidade professora – aluno que foi estabelecida em função das atividades.

Para finalizar, podemos dizer que os resultados são encorajadores e reforçam a hipótese de novas implementações e também da elaboração de UEPS sobre diferentes conteúdos e para diferentes níveis escolares.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

BUZAN, T. & BUZAN, B. **The mind map book: How to use radiant thinking to maximize your brain's untapped potential**. New York: E. P. Dutton Books. 320p. 1994.

CARVALHO NETO, R. A.; FREIRE JÚNIOR, O.; SILVA, J. L. P. B. Improving students' meaningful learning on the predictive nature of quantum mechanics. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.14, n.1. 2009.

CUPPARI, A.; RINAUDO, G.; ROBUTTI, O.; VIOLINO, P. Gradual introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum. **Physics Education**, London, v. 32, n. 5, 1997.

FANARO, M. A.; ARLEGO, M.; OTERO, M. R. El Método de Caminos Múltiples de Feynman como Referencia para Introducir los Conceptos Fundamentales de la Mecánica Cuántica en la Escuela Secundaria. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 2, p. 233-260, ago. 2007.

GRECA, I.M.; MOREIRA, M.A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 6, n.1, p 29-56, mar. 2001.

GRIEBELER, A; HILGER, T. R.; MOREIRA, M. A.. Uma proposta de UEPS utilizando Mapas Conceituais. **Anais do Segundo Simpósio de Ensino de Física e Matemática: Relação entre saberes e Fazeres**, Santa Maria, abr. 2012.

LOBATO, T.; GRECA, I. M. Análise da inserção de conteúdos de teoria quântica nos currículos de física do ensino médio. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 11, n. 1, p. 119-132, mai. 2005.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515-535. 2004.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. A Sistemática Incompreensão da Teoria Quântica e as Dificuldades dos Professores na Introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 15, n. 3, 2009.

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

MOREIRA, M. A. Negociação de Significados e Aprendizagem Significativa. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v.1, n.2, p 2-13, dez. 2008.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação na sala de aula**. Brasília: Editora da UnB, 2006.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso em 11 de julho de 2011.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária. 1999. 195p.

NUNES, A. L. Física Quântica para Todos. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física**, XVII, 2007, São Luis. Anais eletrônicos. São Paulo: SBF, 2007. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0071-1.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2011.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 447-454. 2007.

ONTORIA, A., DE LUQUE, A. & GÓMEZ, J.P.R. **Aprender com mapas mentais**. São Paulo: Madras. 168p. 2004.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M.A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 5, n.1, p 23-48, jan. 2000.

PANTOJA, G.C. **Sobre o Ensino do conceito de evolução temporal em Mecânica Quântica**. 2011. 255f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

PAULO, I. J. C.; MOREIRA, M. A. Abordando Conceitos Fundamentais da Mecânica Quântica no Nível Médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.4, n.2, p.63-73, ago. 2004.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.14, n.3, p. 393-420, dez. 2009.

SALES, G. L.; VASCONCELOS, F. H. L.; CASTRO FILHO, J. A.; PEQUENO, M. C. Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 3051-3063, set. 2008.

SILVA, A. C.; DE ALMEIDA, M. J. P. M. Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n.3, p 624-652, dez. 2011.

VALENTZAS, A.; HALKIA, K.; SKORDOULIS, C. Thought experiments in the theory of relativity and in quantum mechanics: their presence in textbooks and in popular Science books. **Science and Education**, Dordrecht, v. 16, n. 3/5, p 353-370, mar. 2007.

Apêndice I – UEPS-FQ

PROPOSTA DE UEPS PARA ENSINO DE TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA

Objetivo: facilitar a aquisição de significados de conceitos básicos de Física Quântica no Ensino Médio: quantização, incerteza, objeto quântico, estado, superposição de estados.

Sequência:

1. **Situação inicial:** os alunos serão incentivados a elaborar um **mapa mental** sobre a Física Quântica (FQ). No mapa mental o sujeito tem total liberdade para fazer associações entre seus conhecimentos, suas representações, suas cognições (Buzan & Buzan, 1994). Assim, os alunos ficarão à vontade para fazer relações da FQ com outros ramos da Física e/ou com o seu cotidiano. Os mapas mentais serão entregues à professora. A seguir, para refletir sobre o assunto, os alunos receberão a letra e ouvirão a música *Quanta*, de Gilberto Gil. A atividade ocupará uma aula.

2. **Questionamentos iniciais:**
 - a) O que você já leu, ouviu, ou viu sobre Física Quântica?
 - b) Onde a Física Quântica é aplicada? O que estuda?
 - c) O que difere a Física Quântica das outras áreas da Física (Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo, etc.)?
 - d) O que é um quantum de matéria? E um quantum de energia?
 - e) Qual a sua opinião sobre os seguintes anúncios? (Recortes de revistas ou sites que anunciem “cursos ou terapias quânticas”, trazidos pela professora) Você já ouviu falar ou teve contato com algum tipo de terapia que se denomina quântica?

Todas as questões/situações deverão ser discutidas em grande grupo, sob a mediação da professora, com a intenção de ouvir a opinião do grupo, estimular a curiosidade sobre o assunto, sem a necessidade de chegar a uma resposta final.

A seguir será distribuída uma cópia individual do artigo *Física Quântica para Todos* (texto parcialmente adaptado de Nunes, 2007) que está disponível no material de apoio organizado pela professora. Será dado um tempo para que os alunos leiam o texto e depois se reúnam em pequenos grupos para discussão do mesmo e dele façam um resumo ou um diagrama, ou um desenho, em atividade colaborativa. O produto dessa atividade deverá ser entregue à professora. O desenvolvimento desta etapa ocupará três aulas.

3. **Aprofundando conhecimentos:** serão trabalhados os conceitos de *quantização, objeto quântico, incerteza, estado e superposição de estados*, de acordo com as orientações do material de apoio. Estes conteúdos serão apresentados através de textos e também em *slides*, sendo estimuladas discussões no grande grupo. Ao final da introdução dos novos conteúdos, serão retomados os anúncios, questionando os alunos sobre a validade das proposições anunciadas e sua visão sobre até que ponto estas apropriações são legitimadas pela Física. A etapa será desenvolvida em quatro aulas.
4. **Nova situação:** os conceitos serão novamente apresentados na forma de vídeos, com duração de uma aula. Para tal o escolhido foi o documentário sobre Mecânica Quântica, produzido pela Discovery. O primeiro dos seis vídeos pode ser acessado em <http://www.youtube.com/watch?v=O1dHym14W5Q&NR=1>. Os outros cinco vídeos aparecem como uma sequência deste primeiro. Logo após, os alunos irão se reunir em pequenos grupos quando serão solicitados a construir um **mapa conceitual** para os conceitos quânticos trabalhados. Para isso, será feita uma exposição inicial sobre como construir um mapa

conceitual e serão apresentados alguns exemplos. Após, os mapas serão trocados entre os grupos para que sejam feitas comparações e sugestões e alguns serão apresentados ao grande grupo. Todos os mapas deverão ser entregues à professora para avaliação. Esta atividade ocupará três aulas.

5. **Comparando mapas:** na aula seguinte será desenvolvida uma atividade envolvendo os **mapas mentais** elaborados da primeira aula e os **mapas conceituais** da aula anterior. Será feita uma comparação qualitativa entre esses mapas, buscando aspectos que envolvam concepções místicas ou representações sociais, sobre a Física Quântica, possivelmente apresentados nos mapas mentais construídos na primeira aula e sua provável ausência nos mapas conceituais. Tal aspecto será utilizado para abordar novamente o assunto e explicar aos alunos que a Física Quântica não pode ser usada para dar embasamento científico para assuntos apresentados nos anúncios trazidos pela professora no início da unidade. Esta etapa terá duração de duas aulas.

6. **Diferenciando progressivamente:** serão apresentadas novas situações problema, relativas aos conceitos de *quantização*, *objeto quântico*, *incerteza*, *estado* e *superposição de estados*, principalmente em forma de imagens, como a do Gato de Schrödinger que pode ser acessada em <http://averomundo-jcm.blogspot.com/2009/10/gatos-e-virus.html> e também será iniciada a confecção de um pequeno jornal da turma contendo pequenos artigos, charges, quadrinhos ou figuras sobre os assuntos abordados. O jornal será exposto no colégio para a leitura de toda comunidade escolar. Atividade a ser desenvolvida em três aulas.

7. **Avaliação individual:** será realizada uma avaliação individual através de questões abertas envolvendo os conceitos-foco da unidade. A atividade ocupará uma aula.

8. **Aula final e avaliação da UEPS em sala de aula:** análise das respostas às questões propostas na avaliação individual e das discussões realizadas nas etapas anteriores. Comentários finais integradores sobre o assunto abordado. Avaliação oral por parte dos alunos sobre as estratégias de ensino utilizadas e sobre seu aprendizado. A atividade ocupará uma aula. As manifestações dos alunos serão gravadas em áudio, se houver anuência dos mesmos.
9. **Avaliação da UEPS:** análise qualitativa, de parte da professora, sobre as evidências que percebeu, ou não, de aprendizagem significativa dos conceitos da unidade, na avaliação individual e na observação participante, bem como da avaliação da UEPS feita em sala de aula pelos alunos na última aula.
10. **Total de horas-aula:** 16

Referências:

- MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review**, v. 1, n. 2, p. 43-63. 2011. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf>. Acesso: 08 mar. 2012.
- BUZAN, T. E BUZAN, B. **The mind map book**. New York, NY: Dutton Books. 320p. 1994.
- ONTORIA, A., DE LUQUE, A. E GÓMEZ, J.P.R. **Aprender com mapas mentais**. São Paulo: Madras. 168p. 2004.
- MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso: 11 de jul. 2011.
- NUNES, A. L. Física Quântica para Todos. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física**, XVII, 2007, São Luis. Anais eletrônicos. São Paulo: SBF, 2007. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0071-1.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2011.
- DISCOVERY. Documentário **Tudo sobre Incerteza – Mecânica Quântica** – Partes 1 a 6. 2007. Parte 1 disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=O1dHym14W5Q&NR=1>>. Acesso em: 08 mar. 2012.

Apêndice 2 – Avaliação individual

	ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO Dr. CARLOS ANTÔNIO KLUWE				
	Componente Curricular: Física	Série: 3 ^a	Turma:	Número:	Data:
	Nível: Médio	Professora: Adriane Griebeler		Valor: 1,0	Bimestre: 4 ^o
	Nome:				Nota :
<i>Atividade Avaliativa</i>					

Não é permitido o uso de corretivo, nem calculadora. Não serão aceitas rasuras.

Para responder as questões sugere-se a utilização do verso da folha.

- De acordo com a Física Quântica e seus conhecimentos, é correto afirmar que o fóton, assim como o elétron e outras partículas elementares, apresenta um caráter dual, comportando-se ora como onda, ora como partícula? Justifique a sua resposta.



Disponível em <http://www.cbpf.br/~eduq/html/tirinhas/tirinhas_assunto/fisica/fisica.php>. Acesso em 20/11/2011.

- (UFMT – questão adaptada) Toda matéria, quando aquecida a uma temperatura suficientemente elevada, emite energia na forma de radiação (luz). Um exemplo comum é a lâmpada incandescente, onde um filamento de tungstênio é aquecido até ficar branco, pela resistência que ele oferece à passagem de um fluxo de elétrons. Nesse dispositivo, a energia elétrica é convertida em energia térmica e energia radiante. Se essa radiação passar através de uma fenda, transformar-se-á numa “fita luminosa”. Se fizermos essa “fita” atingir uma tela, aparecerá uma imagem de fenda em forma de linha. Colocando um prisma no caminho da luz, a posição da linha na tela varia. Quando a luz é emitida por um corpo quente e examinada dessa maneira, produzirá, num primeiro caso, uma região contínua de cores variáveis, de modo que a linha se expande, dando uma faixa de cores, desde o vermelho até o violeta (como um arco-íris); num segundo, uma série de linhas separadas com áreas escuras entre elas. A partir do exposto, em qual dos casos tem-se um espectro contínuo e em qual dos casos tem-se um espectro descontínuo? Em que se baseia a sua afirmação?
- Discorra sobre quantização. O que é um quantum?
- Enuncie e discuta o Princípio da Incerteza de Heisenberg.
- Quais as aplicações da Física Quântica?
- Comente a figura ao lado e relacione com os conceitos da Física Quântica.

Figura disponível em <<http://fisicadiscutida.blogspot.com/2011/09/o-gato-de-schrodinger-um-experimente.html>>. Acesso em 28/11/2011.



Apêndice 3 – Capas dos jornais elaborados pelos alunos.

Jornal elaborado pela turma A:

O jornal Física News é uma publicação de CK1302



Física News

Edição especial:
Física Quântica

ANO: 1 Nº: 1 Bagé - Quinta-Feira – 01.12.2011 Tiragem: 1º Exemplar Impressão Gráfica: MyHouse

Elaboração e Editoração: Verônica Machado de Sá Ferreira Revisado por: Mardônio

“Qualquer um que não se choque com a Mecânica Quântica é porque não a entendeu.”
Niels Bohr

“A Física quântica forneceu a refutação definitiva do princípio de causalidade.”
Werner Heisenberg

“Quando uma mente se abre a uma nova idéia, jamais volta ao seu tamanho original.”
Albert Einstein

Como surgem os Buracos Negros?



Saiba na seção Curiosidades nas páginas 22, 23 e 24.

NASA, et al.

Esporte e Física Quântica nas páginas: 4,5,6 e 7.



Gerente do Holz Hotel, de Joinville (SC), lança livro de ficção científica.
Leia mais: páginas 25,26 e 27.



Misticismo e Física Quântica: Separados, mas nem tanto.
Leia mais: páginas 11, 12, 13 e 14.

FÍSICA QUÂNTICA



João Vicente da S. Santos - 1303

EDITORIAL, por: João Vicente	Página I
ASPÉCTOS HISTÓRICOS, por Luis Felipe e Leane <i>Sumo. b.</i>	Página I
PRINCÍPIO DA INCERTEZA, por Eduarda e Amanda	Página II
UM PANORAMA, por Brenda, Najara e Vanessa G.	Página II
MAPA CONCEITUAL, por: Julia, Cleuridiane e Vanessa	Página III
MISTICISMO NA FÍSICA QUÂNTICA, por: Lilian, Lara e Gabriele	Página III e IV
CHARGE, por: Ritchele	Página IV
FORMALISMOS, por: Tchéssica e Willian	Página IV
FÍSICA QUÂNTICA EM OUTRA PALAVRAS, por: Johnny e Pablo <i>Juliana</i>	Página IV
CURIOSIDADES, por Patrícia e Ully	Página V e VI
O GATO DE SCHÖDINGER, por Marina, Bárbara e Nicole	Página VI e VII
JOGO QUE ENSINA FÍSICA MODERNA, por João Vicente	Página VIII
CONCLUSÕES, por: Milena e Higor	Página VIII

+ Editorial;



A **mecânica quântica** é a teoria física que obtém sucesso no estudo dos sistemas físicos cujas dimensões são próximas ou abaixo da escala atômica, tais como moléculas, átomos, elétrons, prótons e de outras partículas sub-atômicas, muito embora também possa descrever fenômenos macroscópicos em diversos casos.

previamente inexplicados estáveis do elétron.

A Mecânica Quântica é um ramo fundamental da física com vasta aplicação. A teoria quântica fornece descrições precisas para muitos fenômenos tais como a radiação de corpo negro e as órbitas

+ História da física quântica;

Há pouco mais de cem anos, o físico Max Planck, considerado conservador, tentando compreender a energia irradiada pelo espectro da radiação térmica, expressa como ondas eletromagnéticas produzidas por qualquer organismo emissor de calor, a uma temperatura x , chegou, depois de muitas experiências e cálculos, à revolucionária 'constante de Planck', que subverteu os princípios da física clássica.

Este foi o início da trajetória da Física ou Mecânica Quântica, que estuda os eventos que transcorrem nas camadas atômicas e sub-atômicas, ou seja, entre as moléculas, átomos, elétrons, prótons, pósitrons, e outras partículas. Planck criou uma fórmula que se interpunha justamente entre a Lei de Wien - para baixas frequências - e a Lei de Rayleigh - para altas frequências -, ao contrário das experiências tentadas até então por outros estudiosos.

Jornal Quantum

JQ
Bagé
Terça-feira
6/12/2011
Edição especial
Carlos Kluge -
Terceirão - 1301

Em Bagé  17° MIN. 30° MAX.

Princípio da Incerteza

Pelo princípio da incerteza, não é possível que duas grandezas, posição e velocidade, tenham simultaneamente valores exatos. A partir dessa teoria encontramos o determinismo do cientista francês, marquês de Laplace, no início do século XIX, ao argumentar que o universo era absolutamente determinístico.



O alemão Heisenberg

Era Quântica

Há pouco mais de 100 anos, o físico Max Planck, considerado conservador, tentando compreender a energia irradiada pelo espectro da radiação térmica, expressa como ondas eletromagnéticas produzidas por qualquer organismo emissor de calor a uma temperatura x , chegou, depois de muitas experiências e cálculos, à revolucionária 'constante de Planck', que subverteu os princípios da física clássica.

(Pág. 2)

Misticismo na Física Quântica

Neste contexto, um "salto quântico" pode significar qualquer coisa que você queira imaginar, e pode "explicar" ou "justificar" absolutamente tudo.

Entre Mundos Paralelos

É possível um objeto sólido desmaterializar-se para em seguida se rematerializar no mesmo ou em outro lugar? Ou ainda passar através de outros objetos sem rompê-los? Extrapolando alguns princípios da física quântica, a resposta é positiva e aponta para a existência de uma cadeia de universos paralelos, formada por um número infinito de dimensões. Na década de 70, um controverso paranormal, Uri Geller, ficou conhecido em todo o mundo por entortar garfos, chaves e outros objetos de metal simplesmente esfregando-os com as pontas dos dedos.

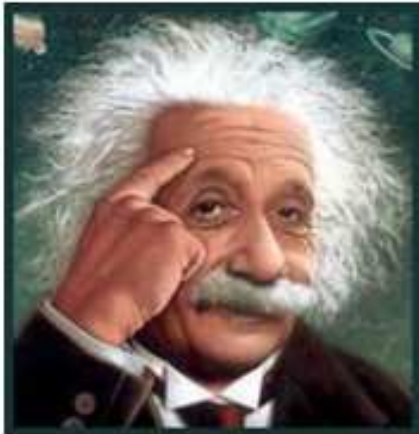
Jornal elaborado pela turma D:

DIÁRIO QUÂNTICO

Ano 1 – Número 001, Bagé, terça-feira 6 de dezembro de 2011

Física Quântica: História, fique por dentro!

Pág. 3



F.Q. E O
MISTICISMO

Pág. 4

CURSO
Homeostase Quântica da Essência

 **INSTITUTO
QUANTUM**
Tratamentos, Treinamentos e Pesquisas Ultraracionais

 **KAIRIS**
Rua São Carlos - 227
São André - 04427-4548

Saúde Emocional, Mental e Física

Prof. Sergio Roberto Ceccato Filho
Profa. Maria Ana Grolla

Apêndice 4 - Diários da Implementação

Primeira fase: turmas A e B

Turma A:

1ª aula:

Na primeira aula os alunos foram levados para a sala de multimeios (sala de aula com recursos tecnológicos incluindo aparelho projetor (*datashow*) e sistema de som) e incentivados a elaborar um mapa mental de associação livre sobre conceitos, palavras ou algo que para eles seria relacionado a FQ. Os alunos formaram duplas para realizar essa atividade e foi sugerido que essa dupla se mantivesse em todas as atividades que seriam propostas para que pudéssemos fazer as análises e acompanhamento de aprendizagem. Os mapas foram recolhidos no final da aula para que pudessem ser analisados pela professora e guardados para que se pudesse fazer a comparação com os mapas conceituais que seriam elaborados mais tarde.

2ª aula:

No dia seguinte à primeira aula, os alunos foram incentivados a responder as cinco questões iniciais propostas na UEPS. As questões foram apresentadas uma a uma sempre buscando qual a concepção original do aluno sobre tal assunto. Para a questão sobre o misticismo as imagens foram apresentadas uma a uma enquanto os alunos iam expressando a sua opinião. Alguns alunos relataram contato com algum tipo de terapias mencionadas, mas alguns nem sabiam do que se tratava. Essa questão foi a que gerou opiniões contrárias e fez com que dois alunos defendessem o seu ponto de vista perante os demais: um defendeu que a FQ pode explicar fenômenos espirituais e pode sim explicar as ditas terapias quânticas; o outro aluno se posicionou contra dizendo que a FQ é uma teoria científica e que não pode ser utilizada para explicar esses fenômenos. Depois da apresentação das duas opiniões, a turma foi instigada a se posicionar e em uma votação, a maioria dos

alunos se posicionou a favor do segundo colega. Depois da discussão foi solicitado aos alunos que escrevessem a sua opinião sobre cada uma das questões e entregassem para a professora. Enquanto faziam isso, ouviam a música “Quanta” de Gilberto Gil.

3ª aula:

Foi distribuído o texto e explicada a tarefa que seria feita. Um aluno logo me chamou para indagar sobre a incerteza na medida, se a teoria quântica é incompleta. Depois perguntou se a FQ não explica o misticismo porque está incompleta; queria saber por que ela não explica o misticismo. Outro aluno me questionou sobre o gato de Schrödinger, por que vivo e morto. Aí expliquei para ele função de estado e superposição de estados de forma bem superficial. Outro falou em fazer um trabalho para abordar o início da FQ, desde Planck. Um seguinte falou em fazer uma charge e outro falou em desenhar um grande ponto de interrogação. Resumindo, os alunos estavam muito excitados e ansiosos para aprender o que demonstra que o texto utilizado foi muito bom para estimular a sua curiosidade.

4ª aula:

Continuação das discussões sobre o texto. Vários alunos já estavam com o produto bem encaminhado. Dois alunos mostraram os desenhos que fizeram sobre o antes e o depois das contribuições da FQ para a humanidade. Um deles disse que vai fazer um cartaz com uma espécie de linha do tempo para a FQ. Uma aluna disse que também pensou nisso. Alguns me perguntaram se poderiam escolher algum tópico sobre FQ e respondi que não poderiam fugir muito do assunto abordado pelo texto. Outra aluna me disse: *“professora eu já li, reli e ainda não sei o que é FQ. Isso tá me deixando agoniada.”* Então sentei com ela e expliquei a proposta do trabalho e que em seguida, na próxima aula, eu já iria começar a explicar todos os termos e assuntos abordados no texto. No geral essa aula foi pouco produtiva para alguns alunos porque ficaram conversando sem se importar em pensar no que fazer e como fazer (mas são sempre os mesmo alunos...). Quanto ao tempo para trabalhar o texto, na próxima implementação vou utilizar dois períodos para a leitura e discussão ou apenas um dependendo da distribuição de horas e já na seguinte será a entrega e apresentação dos trabalhos.

5ª aula:

Período reduzido em função do conselho de classe. Dois alunos continuam falando em buracos negros e eu propus que fizessem um seminário sobre o assunto. Comecei a aula sobre quantização e quantidades contínuas, discretas, falei de objeto quântico. Uma aluna me falou que assistiu a um vídeo na internet sobre FQ e espiritualidade e sobre as pesquisas envolvendo FQ e a alma. Uma professora de Física que leciona para primeiras séries chegou na sala para dar um recado e viu que eu estava falando sobre FQ e citou o livro do Frei Beto e disse que ele fala um monte sobre FQ e espiritualidade (que saia justa...). Mais uma vez me indagaram sobre o gato.

10ª aula:

A turma estava bem tranquila hoje. Elaborei um *powerpoint* sobre mapas conceituais baseado no material do prof. Moreira, tentando mostrar como fazer um mapa de conceitos e mostrando que é diferente de um mapa mental que é mais associacionista. Mostrei exemplos diversos para facilitar a compreensão. Depois distribuí um guia para elaboração do mapa (também do prof. Moreira) e uma folha em branco para que começassem a elaboração. A proposta foi bem recebida. Acredito que agora tenha ficado mais fácil entender como fazer um mapa. No final da aula recolhi os mapas ainda em construção para que sejam terminados na próxima aula. Sugeri que tragam o notebook (quem tiver) na próxima aula já com o *Cmap* instalado para fazer o mapa na forma digital. O Matheus V. falou que já conhece o software e que é bem fácil. Então abri um arquivo novo e mostrei como fazer e os comentários que ouvi foram que seria fácil trabalhar.

12ª aula:

Hoje era o dia para finalizar os mapas. Devolvi os mapas que eles haviam começado na aula passada para que continuassem a fazer e disse que os queria acabados até o final da aula. Reuniram-se em grupos e começaram a trabalhar. Eu passava orientando e pedindo que não esquecessem os elementos de ligação. Alguns estavam com dificuldade para colocar o mapa no formato de mapa, tentavam

colocar palavras soltas. Apenas duas alunas fizeram no *Cmap*. Ficou bem bonito o mapa delas, ainda tenho que avaliar quanto aos conceitos. No geral fizeram mapas grandes, com muitas ligações. Aparentemente ficaram muitas coisas na cabecinha deles. Alguns ainda colocaram misticismo e coisas do gênero. Outros colocaram que a FQ não explica o misticismo. Bom, tenho que avaliar bem o que eles colocaram. A aula foi bem proveitosa.

13ª aula:

Hoje foi feita a comparação entre os mapas mentais e os conceituais feitos pelos alunos da 1302. Entreguei os dois mapas para cada dupla e todos ficaram admirados como estavam bonitos e complexos os mapas feitos agora comparados com os mapas feitos antes. E a frase que eu ouvi mais de uma vez foi que no primeiro tinham colocado palavras se saber que conexão tinha com a FQ, e as que colocaram agora eles sabem o por quê." Eu fiquei muito feliz com a experiência, mas pelo que percebi eles ficaram mais do que eu. Eles puderam visualizar a evolução que tiveram e quanto conhecimento agregaram. Senti que eles ficaram contentes. Eu peguei um papel e comecei a anotar todos os comentários e depois pedi que cada grupo escrevesse sobre a diferença entre os dois mapas. Com isso consegui bastante material.

Ainda faltam a provinha e o jornal. Para o jornal já está tudo encaminhado. Semana que vem tem a provinha e depois eles apresentam o jornal e vamos fazer a avaliação do trabalho.

17ª aula:

Apesar da greve, essa turma ficou em aula e, assim, pude passar para eles as tirinhas e charges sobre FQ. Eu esperava que seriam fáceis para eles. Mas ao contrário, muitos tiveram dificuldade para associar um conceito às tirinhas. Para a primeira figura houve um tempo maior para alguém responder, talvez porque não tinham entendido o espírito da atividade. Aí, depois que um aluno falou em princípio da incerteza, vários disseram "é claro". A segunda figura que se referia também à incerteza, mas principalmente que na FQ é probabilística mais alunos responderam. A 3ª figura era um gato na caixa metade vivo e metade esqueleto (morto) e, para a minha surpresa alguns tiveram dificuldade em associar a figura com o paradoxo do

gato e a superposição de estado. Eu pensava que seria unânime a resposta. Na última figura, a dos surfistas, a grande maioria associou a princípio da incerteza.

18ª aula:

Comentários sobre a prova e sobre o baixo desempenho dos alunos. Os alunos presentes estavam conscientes e interessados e afirmaram que não estudaram para a prova, foram para a prova com o que haviam estudado em aula. Somente aquilo que lembravam das aulas. Perguntei sobre as questões que foram feitas no primeiro dia e todos disseram que agora as respostas seriam diferentes assim como foram os mapas e sobre a primeira pergunta (o que já viu ou ouviu sobre FQ) o aluno M. V. disse “ihhh, nossa, agora eu teria muita coisa para responder”. Sobre o misticismo nessa turma é que havia menos manifestações a favor da FQ para explicar fenômenos místicos, então também foi a turma em que menos apareceram respostas envolvendo misticismo na prova e nos mapas. Diferente do que aconteceu nas outras turmas, onde parece que alguns alunos, principalmente os que estudam ou estão ligados a doutrina espírita, continuam a dizer que a FQ pode ser utilizada para explicar o misticismo.

Turma B:

18ª aula:

Também fiz uma avaliação das aulas e comentário sobre as questões das provas tentando encontrar uma explicação para o fraco desempenho dos alunos e a resposta foi a mesma que a da turma 1302: não estudaram... responderam a partir do que viram em sala... Antes de terminar a aula eu refiz a primeira e a segunda perguntas do primeiro dia e a resposta de uma aluna foi genial : **“Se a senhora perguntar se aprendemos algo sobre FQ nós podemos saber algo ou não. Enquanto a gente não responder coexistem as duas possibilidades e a senhora só vai saber a resposta quando alguém responder.”** Para dar uma resposta assim eles assimilam rápido a matéria, mas para explicar a superposição do gato vivo e morto têm dificuldade....

Segunda fase: turmas C e D

Turma C:

5ª aula:

Estava prevista para hoje a apresentação dos produtos feitos a partir do texto 01, mas a maioria dos alunos turma não fez os trabalhos... Então peguei o texto e destaquei os termos novos que aparecem, como radiação de corpo negro, quantização, incerteza, dualidade e tentei ressaltar a diferença entre a FC e a FQ. Depois comecei a passar o conteúdo proposto. Falei de quantização e as analogias com quantidades contínuas e discretas.

6ª e 7ª aulas:

Quanta gente apresentando materiais sobre misticismo e espiritismo! O primeiro grupo falou do livro dos espíritos e a relação entre espírito e matéria. Um falou sobre o efeito do pensamento sobre a água. Outro grupo apresentou um poema sobre o ser quântico. O Rafael fez um poema livre sobre FQ e mais um grupo fez também um poema com métrica e rima. Na aula seguinte, mais alguns apresentaram e depois retomei as explicações sobre quantização, objeto quântico e sistema físico. Já falei um pouco sobre a dualidade.

8ª aula.

Também, depois de muito conversar sobre a greve e explicar que eu vou continuar com as aulas, os alunos se acomodaram para ouvir a explicação sobre estado, superposição de estados e gato de Schrodinger.

Os alunos foram incentivados a assistir aos vídeos em casa em função da falta de tempo.

12ª e 13ª aulas:

Em um dos períodos expliquei o que é um mapa conceitual e como deve ser feito apresentando alguns exemplos, como foi feito nas outras turmas. Depois os alunos foram incentivados a se reunir em duplas, as mesmas que fizeram o mapa mental, e construir o mapa de conceitos. Percebi que ficaram bem interessados

na explicação sobre mapas e puderam compreender qual o objetivo e também com fazer.

No outro período, depois que terminaram o mapa, eu entreguei o primeiro mapa para que fosse feita a comparação. Eu adoro as reações de surpresa. Eles se surpreendem com as bobagens que colocaram no primeiro... Mas também não houve reações entusiasmadas sobre o fato.

Turma D:

5ª aula:

Para essa turma também havia sido marcado o dia para apresentação dos produtos, mas também falharam. Apenas duas meninas apresentaram o joguinho de tabuleiro que criaram (bem simples, mas bem criativo). Os demais ficaram de apresentar amanhã. Assim, tive que fazer como fiz na 1301, peguei o texto e destaquei os termos novos que aparecem no texto como radiação de corpo negro, quantização, incerteza, dualidade e tentei ressaltar a diferença entre a FC e a FQ. Depois comecei a passar o conteúdo proposto. Falei de quantização e as analogias com quantidades contínuas e discretas. Objeto quântico. Mas como eram dois períodos, o conteúdo foi andando e falei também sobre dualidade, o experimento de fenda dupla para ondas na água, luz e elétrons e ainda sobre sistema físico. Várias vezes perguntei se estavam entendendo e sempre concordavam. Uma aluna disse que é um pouco difícil de entender e que tem que prestar muita atenção. Ainda faltavam 20 min de aula e percebi que eles já estavam cansados de tantos conceitos novos e que de nada adiantaria continuar. Então resolvi passar os dois primeiros vídeos. Com isso a turma “acordou” e prestou atenção. Ainda bem que resolvi fazer isso. Assim ficaram atentos até o final da aula.

6ª aula:

Então para hoje ficou marcada a apresentação dos trabalhos e a espera valeu a pena. O grupo que se propôs a escrever, tocar e cantar uma música sobre FQ deu um show. Aproveitei para chamar a equipe diretiva da escola para assistir e todos ficaram maravilhados. Uma aluna disse: depois disso todos que irão

apresentar vão passar vergonha... Depois os demais grupos apresentaram e foram cartazes, resumos, teve um *powerpoint* sobre Física Quântica que foi bem interessante. Alguns não apresentaram por falta de tempo...

15ª aula:

Hoje os alunos fizeram a comparação dos mapas conceituais que fizeram ontem com os mapas feitos no primeiro dia. Não houve tanta surpresa, mas mesmo assim teve os comentário “nossa, como que coloquei isso no mapa” e outros dizendo que ligaram um monte de coisa que não tinha ligação com os conceitos de FQ.

Mas a melhor frase que ouvi foi a seguinte: “Bem que podia ter duas aulas de FQ e não ter outra disciplina”.

Comentários finais:

Fazendo uma avaliação, percebo que a turma A se engajou mais do que as outras. Eles questionam mais, perguntam mais, os mapas ficaram muito superiores aos das outras turmas e parece que o aprendizado foi maior também. Nos mapas observa-se um número maior de conceitos em relação aos mapas das outras turmas.

Uma constatação pessoal é que percebi agora que um dos objetivos do meu projeto, que era tentar regatar o prazer do professor em dar aula e do aluno aprender foi satisfatoriamente atendido. Pelos comentários que escuto dos alunos, pelo interesse que a maioria demonstra, pela proximidade professora - aluno que a atividade propiciou, acho que valeu a pena.

Tenho que agradecer ao prof. Moreira pela oportunidade de poder desenvolver, a partir da orientação dele, uma UEPS sobre FQ e ter tido o êxito que tive. Sem dúvida, é uma sequência muito bem pensada e elaborada que só uma pessoa com a experiência dele poderia desenvolver. Adorei trabalhar com essa sequência didática e vou tentar desenvolver outras para trabalhar com os alunos.

Etapas marcantes foram a da construção dos trabalhos livres a partir do texto inicial. Os alunos me surpreenderam com poemas, charges, estórias em quadrinhos, cartazes, linha do tempo, música, teve até jogo de tabuleiro... Outra etapa marcante foi a da comparação entre mapas. Eu esperava que tivessem alguma surpresa, mas o que aconteceu na turma A foi surpreendente. Eles ficaram mais felizes do que eu quando comparam os mapas e viram a evolução que tiveram. Neste momento eu tive a absoluta certeza de que todo o trabalho valeu a pena. E me senti de “alma lavada”, foi a recompensa pelo meu trabalho. Nunca é feita a comparação do antes e do depois para os conteúdos vistos tradicionalmente somente, é feita a cobrança no final e muitas vezes o aluno fica se sentindo frustrado por não ter tido o desempenho desejado ou necessário para a aprovação. Neste caso foi diferente, os alunos sentiram que realmente aprenderam e ficaram felizes porque a medida da aprendizagem de cada um não veio através de uma prova frustrante, mas de um comparativo do antes e do depois. Com as outras turmas a sensação de dever cumprido também se fez presente, mas não com a mesma intensidade. Na turma A, dois alunos pretendem cursar Física, pois se empolgaram com a ideia de estudar mais sobre FQ.

**Texto de Apoio ao Professor
de Física**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**INSERÇÃO DE CONTEÚDOS DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO
ATRAVÉS DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVA**

Proposta de desenvolvimento de uma UEPS sobre tópicos de Física Quântica para o
Ensino Médio

Mestranda: Adriane Griebeler
Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Moreira

Porto Alegre
2011

1. INTRODUÇÃO

O currículo da disciplina de Física do Ensino Médio (EM) tem tido dificuldades para acompanhar os avanços científicos e tecnológicos das últimas décadas. O currículo se apresenta em parte desatualizado e descontextualizado. Neste sentido, busca-se uma tentativa de aproximar os conteúdos de sala de aula com a realidade, promovendo assim um maior significado para as aulas.

Segundo as Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para Ensino Médio (PCN+EM, 2002, p. 68), uma das competências apresentadas para o Ensino de Física é “*compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir*”.

Os conteúdos de Física, quando apresentados de forma tradicional, podem causar desmotivação e desinteresse por parte dos alunos, principalmente quando abordados de forma apenas expositiva e monológica, sem a utilização de recursos que possam chamar a atenção e despertar o interesse de uma geração fortemente ligada à tecnologia. Chega-se, então, ao aspecto que diz respeito aos conteúdos de Física ministrados em sala de aula, onde pouquíssimo ou quase nada sobre Física Moderna e Contemporânea (FMC) é apresentado no EM. Conseqüentemente, são deixados de lado assuntos relevantes para o entendimento e observação do modo de vida das novas gerações. Como exemplos desses assuntos, pode-se citar a Física Quântica (FQ), mais especificamente tópicos que serão abordados neste projeto, como *quantização, estado, incerteza e superposição de estados*.

Acredita-se que a inserção de conteúdos de FQ no Ensino Médio se apresenta como uma necessidade frente aos avanços tecnológicos e também frente à construção e propagação de possíveis representações sociais que podem dificultar seu entendimento. Mas a sua abordagem não pode ser feita da forma tradicional. É um problema que precisa ser abordado de forma atraente e que leve o aluno a se interessar pelas aulas. Esta é a motivação desse trabalho e, com base no exposto, é apresentada uma proposta de trabalho a fim de contribuir para a aprendizagem significativa de conceitos da FMC. Para isso, foi escolhido como objeto de estudo o ensino de conceitos da FQ.

A proposta é elaborada seguindo os passos das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS (MOREIRA, 2011) onde, num primeiro momento, é feito o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos, em seguida é apresentado o conteúdo de uma forma mais geral e, a partir daí, cada assunto é abordado de forma mais específica, visando à diferenciação progressiva e à reconciliação integradora. A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Física Quântica (UEPS-FQ) encontra-se no Apêndice deste material.

2. MATERIAL DE APOIO

A seguir, o conteúdo de apoio é apresentado de acordo com a sequência apresentada na UEPS-FQ.

A duração prevista para o desenvolvimento do conteúdo, em classe, é de 16 horas/aula, podendo ser adaptado conforme o tempo disponível do professor e de acordo com o conhecimento prévio dos estudantes.

2,1 Situação inicial:

Letra da música “Quanta”, de Gilberto Gil:

(Disponível em <<http://www.ensinodefisica.net/M%FAlicas/quanta.htm>>. Acesso em agosto de 2011.)

*Quanta do latim
Plural de quantum*

*Quando quase não há
Quantidade que se medir
Qualidade que se expressar
Fragmento infinitésimo
Quase que apenas mental
Quantum granulado no mel
Quantum ondulado no sal
Mel de urânio, sal de rádio
Qualquer coisa quase ideal*

*Cântico dos cânticos
Quântico dos quânticos*

*Canto de louvor
De amor ao vento
Vento arte do ar
Balançando o corpo da flor
Levando o veleiro pro mar
Vento de calor*

*De pensamento em chamas
Inspiração
Arte de criar o saber
Arte, descoberta, invenção
Teoria em grego quer dizer
O ser em contemplação*

*Cântico dos cânticos
Quântico dos quânticos*

*Sei que a arte é irmã da ciência
Ambas filhas de um Deus fugaz
Que faz num momento
E no mesmo momento desfaz
Esse vago Deus por trás do mundo
Por detrás do detrás*

*Cântico dos cânticos
Quântico dos quânticos*

2.2 Questionamentos iniciais:

- a) O que você já leu, ouviu, ou viu sobre Física Quântica?
- b) Onde a Física Quântica é aplicada? O que estuda?
- c) O que difere a Física Quântica das outras áreas da Física (Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo, etc.)?
- d) O que é um quantum de matéria? E um quantum de energia?
- e) Qual a sua opinião sobre os seguintes anúncios? Você já ouviu falar ou teve contato com algum tipo de terapia que se denomina quântica?

Cure e evite doenças buscando seu equilíbrio emocional, físico, mental e espiritual com os recursos da Terapia Holística

TERAPEUTA HOLÍSTICA

PNL
Cromoterapia
Florais e Cristais
Eletroterapia Quântica
Apometria Quântica
Mapa Numerológico
Reiki e Cursos de Reiki
Massagens Bioenergéticas
Psicoterapia Reencarnacionista

AEPERS Nº 1166795 FEPLAM Nº 271080

Consulta com hora marcada
(051) _____
http:// _____
Rua E _____

Figura 1 – Anúncio oferecendo tratamentos com “terapias quânticas”.

2 SÁBADO | 31 de julho de 2010

CORREIO DO POVO

CRISTIANO ESTRELA

Saúde




Física quântica para alinhar energia

Precisamos tomar cuidado com o que pensamos e sentimos, pois toda forma de energia tem uma vibração, que, quando negativa, cria um transtorno sobre a matéria em que é projetada. Dentro deste contexto, a terapeuta Eliane Dutra desenvolveu o alinhamento energético, que mede o nível de energia total do paciente, possibilitando o tratamento de problemas, como dores musculares, contraturas, depressão, angústia, estresse, sintomas da menopausa, excesso de peso e até dependência química, como método complementar.

A técnica mistura o trabalho que ela vem desenvolvendo, com os meridianos, a Radiestesia e os princípios da física quântica. Através da mandala são revelados os desequilíbrios apresentados – tanto físicos, como mentais e emocionais – que nascem da desarmonia emocional, cuja manifestação ocorre no órgão ou na função do organismo onde há desconforto ou patologia instalada. Após esta investigação é iniciado o tratamento, para fazer com que o indivíduo novamente desfrute do seu todo com mais qualidade de vida.

A mandala é lida com os mesmos fundamentos dos meridianos, que trazem cinco elementos, correspondentes aos órgãos e emoções vinculadas. Trata-se dos mesmos princípios da Medicina Tradicional Chinesa, que regem a acupuntura, shiatsu e do-in, entre outros métodos. A avaliação é feita a partir do intercâmbio de energia que se estabelece na imposição da mão da pessoa, por meio de um pêndulo, que faz o reconhecimento do elemento, identificando o meridiano mais congestionado. O elemento madeira equivale ao fígado e vesícula, geradores da raiva, por exemplo.

“Uma pessoa que vibra negativamente, emana para os outros a energia. A gente sabe que a energia é alimentada pelo pensamento e o corpo fica mandando recado”, diz a terapeuta do Wicca Centro de Terapias Energéticas (telefones 3231-2988/3023-5545). A sessão inclui 1h30min de avaliação e 30 minutos de equilíbrio e harmonização, utilizando no alívio ou cura, reiki, florais e terapia pedras quentes. A base de tudo é a física quântica, que acredita que a partir do despertar da consciência individual, temos o poder de curar nosso corpo e emanar energia pura.

Figura 2 - Matéria publicada no Jornal Correio do Povo sobre o uso dos princípios da FQ para “alinhar energia”.



Figura 3 - Convite para o lançamento do livro Jesus e a Física Quântica, de Isidoro Mazzarolo.



Figura 4 - PrintScr de la página do site <http://www.olx.pt/procura-se-tecnico-a-de-terapia-quantica-iid-97739680>. Acesso em 16/03/2011.

2.3 Texto Inicial

Uma Apresentação à Física Quântica³

A Física Quântica (FQ) é a transformação mais profunda pela qual a Física passou desde a época de Newton e representa uma alteração bastante radical das

³ Texto extraído de NUNES, A. L. (2007) *Física Quântica para Todos* e parcialmente adaptado.

ideias fundamentais desta ciência. Assim como a Física Newtoniana trouxe uma profunda mudança no campo científico e se espalhou por distintas áreas do pensamento humano, a FQ também tem influenciado diversas áreas desde que surgiu, no início do século XX. Alguns fenômenos em escala atômica não são percebidos pelos nossos sentidos mas, algumas vezes, apresentam repercussões macroscópicas. Este novo mundo não podia ser satisfatoriamente explicado pelos conceitos da Física Clássica (FC), sendo necessário desenvolver uma teoria completamente nova e diferente, a FQ.

Tudo começou quando Max Planck postulou, em 1900, que a troca de energia do interior da cavidade do corpo negro⁴ e os elétrons da parede da cavidade ocorre de forma quantizada, ou seja, através de múltiplos inteiros de um “quantum” de energia. Era como se a energia, até então considerada como algo contínuo, se apresentasse em escala atômica, como pequenos “pacotes” indivisíveis. Esse postulado conseguiu explicar os resultados experimentais da distribuição do espectro para a radiação térmica. Cada “quantum” de energia foi definido como $E = hf$, onde f é a frequência da radiação e h é uma constante universal que ficou conhecida como constante de Planck e vale $6,63 \times 10^{-34}$ J.s.

O postulado de quantização de Planck é inteiramente incompatível com a FC, onde a energia de uma oscilação não tem qualquer relação com a sua frequência. O próprio Planck trabalhou durante anos em busca de uma explicação que pudesse reconciliar o seu postulado com a FC. Foi um trabalho árduo, mas infrutífero, porque este foi, na verdade, o início de uma verdadeira revolução na Física.

Mais tarde, o físico dinamarquês Niels Bohr elaborou um modelo para o átomo de hidrogênio, levando em conta as regras de quantização de Planck e aspectos da FC. Esse modelo explica bem o comportamento do átomo de hidrogênio e do átomo de hélio ionizado, mas é insuficiente para átomos com mais de um elétron, mas serviu para indicar que a FQ era um caminho para explicar a estrutura atômica. De acordo com a teoria quântica, os elétrons e outras entidades subatômicas não são nem totalmente ondas e nem totalmente partículas, são uma

⁴Corpos negros são corpos que absorvem toda a radiação térmica que incide sobre eles e assim não refletem luz. Um exemplo seria qualquer objeto coberto por um pigmento preto opaco, assim como a fuligem. Outro exemplo seria um objeto que contém uma cavidade ligada ao meio externo por um pequeno orifício por onde a radiação vinda do meio externo penetra e sofre sucessivas reflexões internas e dificilmente consegue sair, finalmente sendo absorvida.

espécie de mistura de ambas, apresentando ora o aspecto onda e ora o aspecto partícula.

Já Werner Heisenberg, físico alemão, em 1927 argumentava que a realidade fundamental em si é indeterminada. Tudo da realidade é, e continua sendo, uma questão de probabilidades. No seu Princípio da Incerteza é estabelecido que não é possível saber com precisa exatidão a posição e o momentum de uma dessas “entidades” subatômicas. Pode-se conhecer a posição com grande precisão e ter estimativas sobre o momentum ou vice-versa, como será visto posteriormente.

Assim, a Física determinista de Newton dá lugar a uma Física de probabilidades, que consegue descrever com boa aproximação o comportamento da natureza em escala atômica e subatômica. A Física Newtoniana continua sendo válida em nosso mundo macroscópico, porém os fenômenos do universo atômico e subatômico são mais bem explicados utilizando-se a FQ. Esta nova teoria apresenta uma série de implicações, tanto para a ciência em si quanto para a vida cotidiana.

A Contribuição da Física Quântica para a Ciência

Através do desenvolvimento da FQ houve um grande impulso em todas as áreas da ciência e o desenvolvimento tecnológico gerado por suas aplicações permitiu o desenvolvimento de instrumentos de medida mais eficazes que, por sua vez, contribuíram em diversas descobertas científicas.

Em março de 1953, no Laboratório Cavendish, na Inglaterra, Francis Crick e James Watson concluíram que a molécula do DNA tem a estrutura de uma dupla hélice, uma descoberta que daria novos rumos à ciência. A partir de então, a biologia molecular tornou-se, de fato, uma ciência que, hoje, com meio século de avanços, traz à cena a transgênese, a genômica e a possibilidade da clonagem reprodutiva. Essa descoberta foi viabilizada pelo uso da técnica de difração de raios X, que não deixa de ser um resultado de aplicações da FQ.

Um maior desenvolvimento da Química e da Ciência de Materiais foi viabilizado pela descoberta da FQ, capaz de descrever de modo satisfatório as estruturas moleculares. O uso do laser e da ressonância paramagnética de spin tem enormes aplicações na área da Medicina, tanto diagnóstica, quanto corretiva.

No campo da Arqueologia, a FQ oferece uma contribuição inestimável com diversas técnicas experimentais que, inicialmente, foram destinadas aos estudos de

estruturas atômicas e subatômicas, mas hoje são dedicadas a caracterizar objetos encontrados em sítios arqueológicos e a datação desses objetos. Como exemplo, pode-se destacar o teste do Carbono 14 (C14), onde é feita a avaliação da idade do fóssil através do decaimento radioativo do C14 que está presente nos seres vivos.

A melhor compreensão da Física do Estado Sólido e das propriedades dos condutores elétricos só foi possível através da construção de modelos baseados na FQ. Isso também se aplica às propriedades magnéticas dos materiais (como os ferromagnéticos e diamagnéticos).

A Contribuição da Física Quântica para a Tecnologia

Os impactos da FQ são extremamente dramáticos. O mundo não seria o que é hoje sem o enorme impulso que a FQ deu ao campo do desenvolvimento tecnológico. A eletrônica pode ser considerada a filha mais promissora da FQ. É difícil pensar em um mundo sem a eletrônica. Ela se faz presente na vida de praticamente todas as pessoas, nos computadores, satélites, televisores, sistemas bancários, semáforos, alarmes, telefonia, elevadores, aviões, etc., onde quer que se olhe. Por outro lado, as telecomunicações por fibras ópticas estão associadas à descoberta do laser.

Aplicando os conhecimentos de FQ foi possível descobrir e desenvolver os materiais semicondutores. O desenvolvimento deste tipo de materiais permitiu a substituição das válvulas por dispositivos menores e mais eficientes, como o transistor. A partir daí novas pesquisas indicaram que a miniaturização extrema de muitos circuitos elétricos poderia ser alcançada fazendo-se resistores, capacitores, transistores e diodos em uma lâmina de material semicondutor.

Outra importante aplicação tecnológica dos princípios da FQ foi o desenvolvimento da engenharia nuclear. Bombardeando urânio com nêutrons, os cientistas Otto Hahn e Fritz Strassmann, na Alemanha, tentavam obter elementos transurânicos. Foi desta forma que, em 1938, acabaram por fissionar o urânio pela primeira vez. Otto R. Frisch e Lise Meitner interpretaram as experiências de Hahn afirmando que, se um núcleo pesado sofre fissão, obtêm-se átomos de massa mediana e enorme quantidade de energia. A fissão nuclear é o mecanismo que possibilita a construção dos reatores nucleares, para geração de energia elétrica, em usinas nucleares, por exemplo, e também da bomba atômica.

A Contribuição da Física Quântica para a Economia

A indústria que tem como finalidade a produção de equipamentos eletrônicos e seus subprodutos (como os softwares) está na liderança da economia mundial. Hoje, uma fração significativa do Produto Interno Bruto (PIB) dos países avançados está associada a tecnologias baseadas na FQ. O físico Leon Lederman (ganhador do Nobel de 1988) afirmou que um terço do PIB norte-americano em 2001 era proveniente dessas tecnologias.

A Contribuição da Física Quântica para as Artes

A ciência e as artes sempre foram bastante entrelaçadas e com a FQ não poderia haver uma relação diferente. Aspectos conceituais aparecem na arte moderna como uma demonstração de que a arte tem o poder de absorver um novo conhecimento, reprocessá-lo e gerar uma nova forma de expressão artística.

O movimento artístico do século XX que mais se utilizou dos revolucionários conceitos da FQ parece ter sido o surrealismo. Ele surgiu em 1924 com o “Manifesto Surrealista” que foi escrito por André Breton e Philippe Soupault. Pode-se considerar o surrealismo como uma aventura coletiva iniciada nos anos 20 e que abarcava diversos campos da arte: literatura, pintura, escultura, fotografia e cinema. A sua base estava na busca pelo inconsciente e pelo que fugisse ao racional.

O racionalismo de Newton, espelhado pelo determinismo clássico de se supor que o universo obedecia às leis mecanicistas teve a perfeita oposição na Teoria Quântica, que considerava que a matéria se comportava de acordo com uma Física de possibilidades e que fugia completamente à experiência dos sentidos. No campo da arte, o surrealismo cumpriu o mesmo papel da FQ na ciência, rompendo com a experiência dos sentidos e apresentando uma nova forma de expressão artística ilimitada de possibilidades. Isso pode ser observado em algumas pinturas apresentadas a seguir.

Na Figura 5, a pintura de Miró retrata uma grande quantidade de possibilidades. Se você foca em uma das possibilidades, as outras são excluídas.



Figura 5 – Pintura “Campo Arado” de Joan Miró.

Na Figura 6, de Magritte, é feita uma referência ao conceito da FQ de que a representação que se faça de um objeto, um cachimbo ou um elétron, é apenas uma representação. A pintura de um cachimbo não é o cachimbo e o resultado de um experimento que descreve o elétron não é o elétron.



Figura 6 – Pintura “Ceci n'est pas une pipe” de René Magritte.

Na Figura 7, há uma representação análoga à dualidade onda-partícula. Não se consegue distinguir onde começam as ondas e onde começa a casa.



Figura 7 – Pintura de René Magritte.

Na Figura 8, a pintura de Salvador busca uma analogia com a ideia de quantização da energia. A mulher formada por planetas passa a ideia do átomo como um microcosmo quantizado.



Figura 8 – Pintura "Galetea of the spheres" de Salvador Dali.

Na Figura 9, outra pintura de Salvador Dalí retrata flores explosivas. Há um conceito de dualidade, onde não é possível distinguir se são flores ou raios luminosos. Mais uma vez é passada a ideia da dualidade onda-partícula.

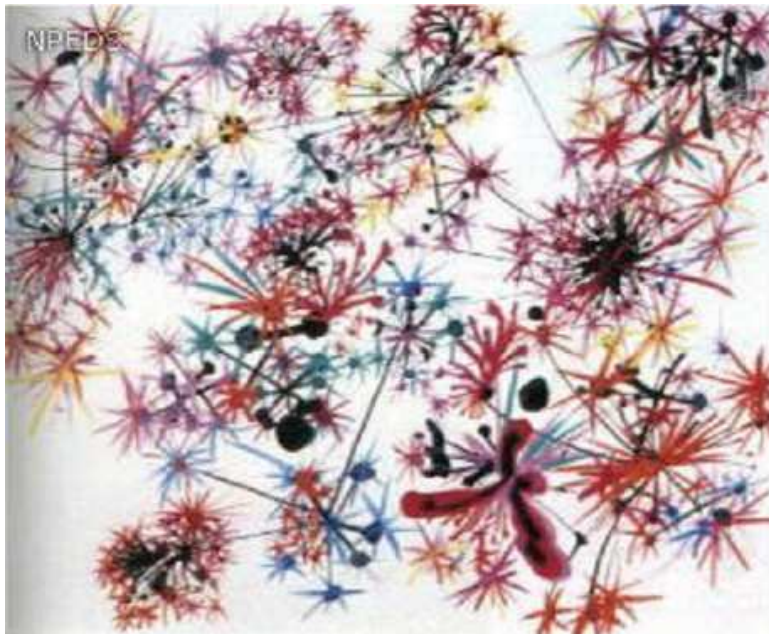


Figura 9 – Pintura de Salvador Dali.

Diversas outras obras parecem ter inspiração na FQ, com seus princípios apresentados de forma simbólica, o que costuma caracterizar as expressões artísticas. Muitas outras obras, nos diversos campos da arte, têm uma influência mais ou menos direta da FQ.

A Contribuição da Física Quântica para a Neurociência

Um dos grandes mistérios que desafia o ser humano é a compreensão sobre como funciona a mente humana. O pensamento que algumas vezes é puramente lógico e racional, capaz de ser imitado pela lógica computacional, outras tantas vezes é imprevisível e incontrolável. Há momentos em que nosso pensamento divaga entre diversas possibilidades, mas se tentamos focar em algum ponto perde-se totalmente a conexão. Como pode a mente humana ser ao mesmo tempo racional e dispersa, mecânica e criativa?

A primeira evidência substancial de que existe ao menos um canal de comunicação entre o mundo da FQ e nossa percepção da realidade foi encontrada

há cerca de cinquenta anos. Naquela época, biofísicos que trabalhavam com a retina, descobriram que as células nervosas do cérebro humano são sensíveis o suficiente para registrar a absorção de um único fóton e, portanto, suficientemente sensíveis para serem influenciadas pelo seu comportamento mecânico-quântico. Foi verificado que cerca de 10 milhões de neurônios dos 10 bilhões existentes no cérebro são sensíveis o suficiente para registrar fenômenos do nível quântico a qualquer momento. No entanto, a ativação de neurônios isolados não é suficiente para explicar os complexos processos associados às atividades conscientes do cérebro.

A Contribuição da Física Quântica para a Filosofia

Os paradigmas da modernidade sustentam-se na filosofia de Descartes e na Física de Newton. Racionalismo e determinismo seriam as chaves para se chegar ao conhecimento científico, livre de interferências subjetivas, preconceitos e superstições. A filosofia de Descartes influenciou todo o modo de pensar ocidental. Seu “penso, logo existo”, levou à separação mente/corpo e à tendência do homem ocidental a identificar-se apenas com a mente.

Todavia, é inegável que tanto a visão cartesiana quanto a visão mecanicista do mundo mostraram-se muito úteis para o desenvolvimento da FC e da tecnologia. O modelo newtoniano continua válido para objetos que possuem grande número de átomos e, exclusivamente, para eventos com velocidades pequenas se comparadas à da luz.

A FQ afirma que não é possível separar cartesianamente, de um lado, a natureza e, de outro, a informação que se tem sobre ela. Em última instância, predomina a interação entre o observado e o observador. É dessa interação sujeito-objeto que trata o princípio da incerteza. E, sobre ele, ergue-se a visão holística do Universo: há uma íntima e indestrutível conexão entre tudo o que existe – das estrelas ao sorvete saboreado por uma criança, dos neurônios de nosso cérebro aos neutrinos no interior do Sol.

Para as abordagens clássicas da Filosofia, da Psicologia e da Psicanálise, é impossível compreender a transmissão de aspectos internos de uma pessoa para outra. Para um enfoque quântico, as relações interpessoais são vistas do mesmo modo como se reconhece a dualidade onda-partícula do átomo. A Teoria Quântica

abre novas possibilidades dentro do âmbito da Filosofia, da mesma forma que a FC foi a base de muito pensamento filosófico até então.

2.4 Aprofundando o Conhecimento

O MUNDO QUÂNTICO: ATÔMICO E SUBATÔMICO

A FQ é um ramo fundamental da Física com aplicações nos mais variados campos do conhecimento e, em especial, no desenvolvimento das mais modernas tecnologias.

Esta teoria compreende o estudo de sistemas físicos cujas dimensões são próximas ou abaixo da escala atômica (ou seja, moléculas, átomos, elétrons, prótons e outras partículas subatômicas). Os elétrons, os prótons, os nêutrons, fótons, o átomo, etc., pertencem ao mundo microscópico, por isso não obedecem às leis da FC, mas da FQ. Podem ser observadas, nessas partículas, características ondulatórias e/ou corpusculares, além de não ser possível atribuir algumas propriedades dinâmicas (posição, velocidade, momentum linear) de modo simultâneo.

A Quantização

A denominação FQ se deve ao fenômeno da discretização de determinadas propriedades físicas. A palavra Quântica (do Latim, quantum) se refere a uma quantidade discreta atribuída a certas quantidades físicas, como a energia de um fóton de luz.

Como já foi dito no início deste texto, o marco para o nascimento da FQ foi quando Max Planck postulou, em 1900, que a troca de energia entre a radiação emitida por um corpo aquecido e os átomos da parede deste corpo ocorria de forma quantizada, ou seja, através de múltiplos inteiros de um “quantum” de energia. Era como se a energia, até então considerada como algo contínuo, se apresentasse em escala atômica, como pequenos “pacotes” indivisíveis. Cada “quantum” de energia foi definido como $E = hf$, onde f é a frequência da radiação e h é uma constante universal que vale $6,63 \cdot 10^{-34}$ Js e ficou conhecida como constante de Planck. Apesar

da exatidão matemática da solução de Planck, nem mesmo ele conseguia formular uma interpretação física do fenômeno que, no fundo, significava impor saltos nos valores de energia, como se cada valor correspondesse a uma porção de energia.

A energia era, até então, pensada como algo com valor contínuo, sem saltos e muito menos, com valores mínimos. Isso é válido para o mundo macroscópico, porém para o universo atômico e subatômico esta ideia causava uma série de dificuldades em relação aos experimentos da época. A partir da ideia de quantização da energia, uma série de problemas experimentais teve solução, como o caso da distribuição da energia radiante em função do comprimento de onda de por um corpo a alta temperatura, foi explicado por Planck.

Alguns exemplos e analogias que podem ser propostos para facilitar a compreensão do fenômeno da quantização são apresentados a seguir.

- 1) Um exemplo que pode ser utilizado como analogia é o caso de um livro cuja espessura é composta de dezenas ou centenas de folhas. Considerando que ele é composto por 200 folhas, pode-se dizer que a espessura mínima que o livro poderia apresentar seria de uma folha. Se for alterada a espessura do livro, isso será feito sempre em forma de múltiplos de uma folha, nunca em frações de folha. Isto significa que a espessura do livro não é um valor contínuo e sim discreto (ou descontínuo). E também se pode dizer que a espessura do livro é quantizada e que o quantum de espessura do livro é uma folha.
- 2) Já uma analogia à variação contínua de uma quantidade macroscópica pode ser feita usando como exemplo o derramamento de um fluido, como a água. A quantidade de água dentro de um recipiente pode variar em litros, mililitros, etc., não havendo restrições às divisões de porções do líquido ao derramá-lo. Portanto, o fluido pode variar em quantidades contínuas, enquanto a espessura do livro varia em quantidades discretas.
- 3) Também pode ser citado como exemplo de descontinuidade versus continuidade, o sistema de transporte em uma cidade. Nela existem basicamente dois tipos de transporte: o coletivo e o particular. O transporte

coletivo tem suas trajetórias bem definidas, assim como os pontos de parada, sendo permitido ao passageiro desembarcar do veículo apenas em locais pré-definidos, e distantes uns dos outros, ou seja, as opções de parada são distribuídas de forma descontínua. Já para o transporte particular, a distância entre os lugares que podem ser atingidos podem mudar por passos tão pequenos quanto se quiser, podem variar de forma contínua.

- 4) Hoje, nos acostumamos a ver diariamente relações entre luz e fenômenos elétricos. Sabe-se que cada ponto da tela de TV ou da tela do computador brilha porque foi atingido por um feixe de elétrons, assim com a porta do centro comercial ou do elevador abre ao detectar a presença de uma pessoa porque, o corpo interrompe um feixe de luz infravermelha. Mas isso tudo não era tão trivial no início do século XX, quando nem se sabia que partículas de luz existiam (nessa época a luz era considerada apenas uma onda, sem sequer imaginar-se seu caráter dual) e que eram capazes de colidir com elétrons.

A solução de Planck para o problema da relação entre temperatura e cor da luz emitida pelos fornos trouxe indícios sobre o fracionamento, em valores discretos, da energia luminosa e das ondas eletromagnéticas, mas não para seu caráter corpuscular. Foi Einstein em 1905, explicando o efeito fotoelétrico, quem interpretou, pela primeira vez, a interação entre elétrons e partículas de luz. O fenômeno recebeu o nome de efeito fotoelétrico porque trata da emissão de elétrons por placas metálicas quando atingidas por luz de frequência suficientemente alta.

Utilizando a ideia de quantum, de Planck, Einstein propôs que a luz se propaga pelo espaço como pacotes, denominados fótons, contendo energia de valor múltiplo de hf . Assim, a luz de baixa frequência, como a radiação infravermelha, corresponde a fótons de baixa energia, e a luz de alta frequência, como a ultravioleta, corresponde a fótons de alta energia. Quando um material é atingido por fótons de energia suficientemente alta, a luz arranca elétrons instantaneamente. Dessa maneira, a luz que era descrita como onda, passou a ser entendida também como constituída de partículas, que podem colidir com elétrons e arrancá-los de um material.

OBJETO QUÂNTICO

Objeto quântico ou partícula quântica é toda partícula que possui dimensões subatômicas e cujo comportamento não pode ser completamente explicado a partir da FC.

Uma partícula quântica pode ter comportamento observado de acordo com o de uma partícula ou de acordo com uma onda, dependendo do experimento realizado. Sua energia é quantizada e deve obedecer ao Princípio da Incerteza.

Para ter uma melhor compreensão sobre as dimensões do universo e principalmente as dimensões de um objeto quântico comparadas com o universo macroscópico, a sugestão é visualizar a escala do universo acessando o site <<http://www.newgrounds.com/portal/view/525347>>. Nele é possível visualizar e comparar, através de uma escala regressiva ou progressiva, as proporções de tamanho do universo, com as de uma pessoa e com o mundo microscópico.

O QUE É UM SISTEMA FÍSICO?

Na Física, para realizar o estudo de algum fenômeno, é feito um recorte da realidade, o qual se denomina *sistema físico*. Dependendo do caso, o sistema refere-se a um elétron ou um próton, um átomo de hidrogênio ou um conjunto de moléculas que formam um corpo macroscópico. Assim, um sistema físico é uma representação do objeto de estudo e um fragmento concreto da realidade, que foi separado para estudo.

A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA⁵

Para a Física Clássica, uma partícula pode ser imaginada como uma bolinha bem pequena que se locomove pelo espaço e que em condições normais não se divide. Além dessa *indivisibilidade*, uma partícula clássica também se caracteriza por estar sempre em uma posição bem definida, e com uma velocidade precisa. Com o

⁵ Texto parcialmente extraído e adaptado do livro *Conceitos de Física Quântica* de Osvaldo Pessoa Jr.(2003), pág. 2 e de <<http://www.fing.edu.uy/if/cursos/fismod/cederj/aula03.pdf>>.

passar do tempo, a partícula descreve uma *trajetória* bem definida, que pode ser concebida como uma curva no espaço.

Uma onda, por outro lado, é definida pela FC como uma excitação que se propaga em um meio, como a superfície da água, por exemplo, e que tem a característica de se espalhar no espaço. O que se propaga com a onda é energia, que se identifica com o movimento oscilatório das partículas do meio. Como esse movimento das partículas pode ser tão tênue quanto se queira, podemos dizer que as ondas não possuem a característica de serem indivisíveis, mas que são *contínuas*, pelos menos em teoria. Além disso, as ondas circulares na superfície d'água claramente não descrevem uma trajetória, do tipo definido para partículas. Elas são *espalhadas* no espaço, sem se localizarem em um ponto único. Além de serem contínuas e espalhadas, as ondas exibem uma série de fenômenos típicos, como a interferência.

Dizer simplesmente que “uma coisa (sem partes) é (ao mesmo tempo) partícula e onda” é uma *contradição lógica*, pois isso implicaria que uma coisa é indivisível e divisível (contínua), que ela segue uma trajetória e não segue (é espalhada). Não podemos admitir a contradição nos fundamentos de uma teoria física.

A Teoria Quântica é obrigada a conciliar de alguma maneira “onda” e “partícula” sem cair numa contradição lógica. Para isso há um princípio quântico relacionado a este conceito: o Princípio da Complementaridade, enunciado pela primeira vez pelo físico dinamarquês Niels Bohr. Segundo ele, as características de onda e partícula são complementares e nunca se manifestam simultaneamente, ou seja, se fizermos um experimento no qual fique claramente caracterizada a natureza ondulatória de um objeto quântico, suas características de partícula não irão se manifestar e vice-versa. Por exemplo, no experimento da fenda dupla⁶ pode-se observar o padrão de interferência obtido, que é um conceito típico de ondas. Mas se tentar determinar a trajetória do elétron, que é um conceito típico das partículas, o padrão de interferência desaparece completamente.

⁶ O experimento e sua explicação podem ser visualizados em <http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>.

Assim chega-se ao que se refere como papel do observador na FQ. Ao observar⁷ a trajetória do elétron, é destruída a sua natureza ondulatória. Na FC, o “observador” é visto como a pessoa que realiza o experimento, mas que não interfere com o objeto de medida. Porém, na FQ, o observador adquire um papel “interativo” e fundamental para a teoria. Torna-se impossível realizar uma medida sem interferir com o objeto que está sendo medido. A medição destrói a interferência quântica. Sempre que fazemos uma medição é desencadeado um processo de transposição dos fenômenos do nível quântico para o mundo da experimentação, causando o chamado “colapso da função de onda”, sendo este procedimento quem introduz a incerteza na Teoria Quântica. Assim, o efeito de observar o estado do sistema faz, como consequência, que esse estado seja alterado. Dessa forma, na FQ, a distinção entre observador e observado deixa de ser clara; deve-se considerar que o observador é também um sistema físico que interage com o objeto de medida.

O CONCEITO DE ESTADO

Os sistemas físicos não são estáticos, eles evoluem com o tempo. Assim, o mesmo sistema, preparado da mesma forma para a medição de alguma variável, pode dar origem a resultados experimentais diferentes dependendo do tempo em que se realiza a medida e do intervalo de tempo entre uma medida e outra. Essa ideia conduz ao conceito de "estado". Um estado é uma quantidade matemática que determina completamente os valores das grandezas físicas (variáveis) do sistema associadas a ele num dado instante de tempo (ou as probabilidades de cada um de seus valores possíveis serem medidos, quando se trata de uma teoria probabilística). Em outras palavras, todas as informações possíveis de se conhecer em um dado sistema constituem seu estado.

As grandezas físicas (ou variáveis) são as propriedades mensuráveis do sistema. As variáveis dinâmicas são assim denominadas porque são grandezas que variam no decorrer do tempo. Por exemplo, no sistema Terra-Sol, as variáveis dinâmicas são a posição da Terra, o momentum angular do sistema e a energia do sistema.

⁷ Observar no sentido de medir e não de estar presente. O observador não é uma pessoa em si. Pode ser uma máquina, um computador, um instrumento, etc.

Cada sistema ocupa um estado num instante no tempo e as leis da Física devem ser capazes de descrever como um dado sistema parte de um estado e chega a outro. Estado é definido como a configuração, num dado instante de tempo, de todas as variáveis dinâmicas do sistema.

Muitas variáveis que ficam bem determinadas na FC são substituídas por distribuições de probabilidades na FQ, que é uma teoria intrinsecamente probabilística (isto é, dispõe-se apenas de probabilidades, não por uma simplificação ou ignorância, mas porque isso é tudo que a teoria é capaz de fornecer).

Em geral, estados evoluem com o tempo em virtude de ações exercidas sobre o sistema. Na Mecânica Clássica, a equação fundamental que rege essa evolução é a segunda lei de Newton, $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$. Essa evolução temporal é completamente determinista, ou seja, dado um estado inicial, (posição inicial, r_0 e momentum inicial, p_0), e as forças que agem sobre o sistema, a equação permite o cálculo do estado num outro instante t qualquer, (r_t, p_t) . Já estados quânticos são representados por funções das coordenadas espaciais (ou do momentum) e do tempo: $\Psi(r, t)$, ou $\Psi(p, t)$. Tais funções são conhecidas como funções de estado, ou funções de onda.

Assim, no formalismo da FQ, o estado de um sistema num dado instante de tempo pode ser representado de duas formas principais:

1. o estado é representado por uma função complexa das posições ou dos *momenta* de cada partícula que compõe o sistema. Essa representação é chamada função de onda;
2. também é possível representar o estado por um vetor num espaço vetorial complexo.⁸

Esta representação do estado quântico é chamada vetor de estado. Devido à notação introduzida por Paul Dirac, tais vetores são usualmente chamados kets (sing.: ket). Resumindo, tanto as "funções de onda" quanto os "vetores de estado" (ou kets) representam os estados de um dado sistema físico de forma completa e

⁸ O espaço dos números reais é muito limitado para trabalhar MQ, devem-se usar números complexos.

equivalente e as leis da FQ descrevem como vetores de estado e funções de onda evoluem no tempo. Representando esquematicamente, tem-se

$$|\Psi\rangle = C_+|+\rangle + C_-|-\rangle$$

onde $|\Psi\rangle$ é uma representação simbólica do estado do sistema, denominada vetor de estado; C_+ representa, neste caso, a amplitude de probabilidade de encontrar a variável do sistema com valor positivo e C_- representa a amplitude de probabilidade de encontrar a variável do sistema com valor negativo. Tais amplitudes, em geral, assumem valores complexos, enquanto as probabilidades são reais.

Estes objetos matemáticos abstratos (kets e funções de onda) permitem o cálculo da probabilidade de se obter resultados específicos em um experimento concreto. Por exemplo, o formalismo da Mecânica Quântica permite que se calcule a probabilidade de encontrar um elétron em uma região particular em torno do núcleo.

O PRINCÍPIO DA INCERTEZA DE HEISENBERG

Para a FQ, um sistema físico é definido por uma função de estado (ou função de onda) e tudo o que se pode saber sobre o sistema num dado instante está contido na função de onda. Essa função está relacionada com a evolução no tempo das probabilidades da partícula assumir qualquer estado quântico. Em outras palavras, a função de onda não mede a posição de uma partícula, mas sim a sua probabilidade de assumir um certo estado energético em um dado instante.

Werner Heisenberg, em 1927, formulou o princípio conhecido como Princípio da Incerteza de Heisenberg, que consiste num enunciado que estabelece que é impossível conhecer simultaneamente, com precisão arbitrária (isto é, tão grande quanto desejamos), a posição e a quantidade de movimento de uma partícula ou, então, a energia da partícula e o intervalo de tempo de sua medição.

Isso equivale a dizer o seguinte: quando se tem uma grande precisão na determinação do valor da quantidade de movimento, é baixa a precisão obtida no cálculo do valor da posição, e vice-versa. O mesmo ocorre com a relação energia-tempo: se a precisão na medida de um deles é alta, a precisão para o outro é automaticamente baixa.

Essa proposição foi mais uma evidência de que a FC e seu caráter determinista não se aplica nos domínios dos elementos estruturantes da matéria. E,

dito de outra forma (com h representando a constante de Planck), essas relações podem ser expressas matematicamente:

- 1) $\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$, onde Δx representa a incerteza na posição e Δp a incerteza na quantidade de movimento;
- 2) $\Delta E \cdot \Delta t \geq h/4\pi$, onde ΔE representa a incerteza na energia e Δt a incerteza no intervalo de tempo.

Ou seja, como h é constante, se Δx aumenta, proporcionalmente Δp diminui (e vice-versa) e se ΔE aumenta, proporcionalmente Δt diminui (e vice-versa).

Como consequência imediata do Princípio da Incerteza, se não for possível determinar com precisão os valores de posição e de quantidade de movimento de uma partícula, então não é possível prever as condições iniciais, nem fazer as previsões clássicas do comportamento futuro da partícula. Assim, para partículas atômicas, o determinismo da FC é abandonado em função da necessidade de utilização das interpretações probabilísticas.

Na FC, se forem conhecidas as forças que atuam sobre uma partícula e se for sabido quanto vale a sua posição e a sua quantidade de movimento num certo instante t_0 , pode-se calcular a posição e a quantidade de movimento da partícula para qualquer instante posterior $t > t_0$ com a precisão que se quiser. Tudo depende apenas da precisão dos instrumentos de medida e do cuidado com que eles são operados.

Por exemplo, suponhamos que se queira determinar a posição e a quantidade de movimento de um automóvel de 1200 kg que viaja numa estrada a 90 km/h usando um radar que emite radiação eletromagnética (fótons). A radiação é refletida pelo automóvel e retorna para o radar que, ao medir o tempo de ida e volta em intervalos sucessivos, pode estimar a posição e a velocidade do automóvel com muita precisão. Melhorando o radar, poderemos hipoteticamente fazer medidas cada vez mais precisas. Sabe-se que a quantidade de movimento do automóvel se altera quando um fóton colide com ele, mas, pela grande massa do veículo, o efeito é desprezível.

Mas, e se forem tomados objetos bem menores e com muito menos massa que um automóvel? Consideremos, por exemplo, um elétron com massa de $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg e com a mesma velocidade do automóvel (25 m/s). Suponhamos que vamos usar o mesmo radar para efetuar as medidas, só que agora para o elétron. Para a FC, o

efeito dos fótons encontrando o elétron não será mais desprezível. No efeito fotoelétrico, por exemplo, ocorre a emissão de elétrons de uma superfície devido à incidência de luz (fótons) sobre ela. Ao efetuar o experimento do radar com o elétron, estão sendo alterados os valores medidos. Então, o conceito de medida sofreu uma alteração drástica na FQ: não se pode medir uma partícula sem interferir com ela. De fato existem valores determinados para a posição e velocidade (ou quantidade de movimento), mas não é possível obtê-los isoladamente com precisão tão grande quanto se queira, em decorrência de sua ligação intrínseca: uma depende da outra, invariavelmente.

Assim, o princípio expõe uma limitação estabelecida pela natureza das informações que se pode obter através das medidas que podem ser realizadas. Essa limitação não pode ser superada nem com o uso de instrumentos de medida perfeitos nem com o aperfeiçoamento do método e das habilidades do operador. É inerente ao próprio experimento.

SUPERPOSIÇÃO LINEAR DE ESTADOS

O estado do sistema pode ser dado pela configuração das variáveis dinâmicas relevantes ao problema, contudo, pode-se formar estados a partir da superposição de estados.

Para explicar a superposição de estados vamos fazer uso do paradoxo do gato de Schödinger. O problema é uma experiência imaginária que envolve o destino de um gato preso em uma caixa.

Coloca-se um gato numa caixa de aço juntamente com o seguinte engenho: um contador Geiger, no qual põe-se uma pequena quantidade de uma substância radioativa tão pequena que, no final de uma hora, talvez algum átomo tenha decaído, ou talvez não, com iguais probabilidades de acontecer uma coisa ou outra; se um átomo decair, ocorre uma descarga no tubo do contador Geiger que vai acionar um mecanismo preso a um martelo. Este martelo vai quebrar uma pequena ampola que contém cianeto suficiente para matar o gato. Isto tudo só ocorre se um átomo decair. Se deixarmos o sistema entregue a si próprio durante uma hora, pode-se dizer que o gato estará vivo, desde que nenhum átomo tenha decaído. O primeiro átomo que decair liquida o gato.

Assim, parece claro que o gato deverá estar vivo ou morto. Por outro lado, de acordo com as regras da FQ, o sistema total no interior da caixa está numa superposição de dois estados, um dos quais com um gato vivo e o outro com um gato morto. A Figura 10 ilustra a experiência.



Figura 10 – O paradoxo do gato de Schrödinger. Figura disponível em <<http://garciantunes.blogspot.com/2010/08/o-gato-de-schrodinger.html>>.

Pode-se presumir que o próprio gato sabe se está vivo ou morto, contudo, conclui-se que o bichano permanece num estado de vida suspenso de duas possibilidades até que alguém espie para dentro da caixa e verifique o que ocorreu: ou o gato salta para fora, todo contente, ou está morto.

O paradoxo se agrava quando o gato é substituído por uma pessoa, pois aí a pessoa dentro da caixa estará sempre consciente do seu estado de saúde, ou o contrário. Se o experimentador abrir a caixa e descobrir que o sujeito ainda está vivo, poderá perguntar para a pessoa como ela se sentiu antes da abertura da caixa. Claro que ela vai responder que sempre se sentiu 100% viva. Contudo, isso entra em conflito com a FQ, que insistirá que a pessoa esteve num estado de superposição entre a vida e a morte até o momento em que o conteúdo da caixa foi inspecionado.

Tem-se, assim, que o dispositivo com veneno é um meio de ampliar uma superposição quântica de estados a uma escala macroscópica, onde parece implícita a coexistência de dois gatos, um morto e outro vivo. Ou seja, não apenas existiria uma possibilidade de o gato estar vivo e uma possibilidade de o gato estar morto, mas também que as duas situações (estar vivo e estar morto) coexistiriam.

Na Figura 11 é representada a função de estado do sistema, onde $|\Psi\rangle_{\text{GATO NA CAIXA}}$ é a representação simbólica do estado do sistema; $\frac{1}{\sqrt{2}}\Psi_{\text{GATO VIVO}}$ representa, neste caso, que há 50% de probabilidade de encontrar o gato vivo e $\frac{1}{\sqrt{2}}\Psi_{\text{GATO MORTO}}$ representa que há 50% de probabilidade de encontrar o gato morto.



$$\Psi_{\text{GATO NA CAIXA}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\Psi_{\text{VIVO}} + \frac{1}{\sqrt{2}}\Psi_{\text{MORTO}}$$

Figura 11 – Superposição de estados representada pela experiência conceitual do gato de Schrödinger. Figura adaptada de <<http://thenerdiestshirts.com/images/zoom/physics-shirt-schro-lolcat-light.gif>>.

INFORMAÇÃO

A Criptografia Quântica⁹

⁹ Texto extraído de *Princípios Fundamentais da Mecânica Quântica no Ensino Médio*. Autores: Carlos R. Rocha & Victoria E. Herscovitz.

Outro importante exemplo de aplicação de alguns princípios da FQ, desenvolvido e utilizado a partir da década de 70, é a Criptografia Quântica. A área da *Criptografia* abrange os processos de proteção da transmissão de informação, buscando restringir o acesso ao conteúdo transmitido apenas para aqueles que de direito. A criptografia consiste, via de regra, na codificação de uma mensagem com o auxílio de uma *chave* (secreta ou pública) e o destinatário somente conseguirá decodificar e ler a mensagem, se possuir a chave ou se souber como a construir. O objetivo do processo é a segurança da informação, de tal modo que, se e quando a mensagem for interceptada, não seja possível acessar e identificar seu conteúdo original de forma inteligível.

Conforme a Figura 12, por exemplo, temos uma mensagem a ser enviada: “Mecânica Quântica”. Após passar por um processo de criptografia, seu conteúdo fica alterado e somente quem possuir a chave de decodificação correta poderá acessar seu real conteúdo.



Figura 12 - Apresentação simplificada de um processo criptográfico.

Com o avanço da tecnologia os mecanismos de transmissão de informação progrediram de forma espetacular, sendo a Internet a principal responsável pelo vertiginoso aumento de comunicação escrita entre dois ou mais sistemas ou entes. Aumentando o número de usuários destes meios e melhorando a qualidade e rapidez da transmissão, tornou-se também absolutamente necessário melhorar os sistemas de proteção associados ao processo de transmissão.

Os algoritmos de criptografia usados atualmente para preservação do sigilo na transmissão de mensagens via computadores utilizam sequências aleatórias dos dígitos 0 e 1, como chaves, cujo conteúdo pretende ser de conhecimento exclusivo do emissor (Alice) e do receptor (Bob). As chaves são veiculadas pelos canais clássicos de comunicação, sendo passíveis de quebra de sigilo.

As chaves usuais dividem-se em chaves *privadas* e chaves *públicas*. Chaves privadas são aquelas partilhadas por Alice e Bob e estabelecidas previamente ao envio de mensagens. Evidentemente este tipo de chave não se adapta a

comunicações entre empresas e (individualmente) seus clientes. Além disto, para que a chave seja segura, deve usar um grande conjunto de dígitos, mas em geral o tamanho do conjunto que caracteriza a mensagem é muito maior, o que significa que parte da mensagem é enviada sem criptografia, favorecendo a violação de sigilo, sem que Alice e Bob a percebam de imediato.

Empresas e seus clientes recorrem a algoritmos de chave pública, em que a chave usada para codificar a mensagem é diferente da usada para decifrá-la. Neste caso, o uso de fatoração de números muito grandes é frequente.

Nos dois casos citados, a segurança do processo está relacionada à complexidade da sequência de números usada e o consequente intervalo de tempo necessário para a descoberta da mesma. Contudo tais códigos podem ser desvendados em intervalos de tempo viáveis, se a velocidade de processamento da informação aumentar. No caso de um computador quântico, por exemplo, que utiliza princípios como o da superposição linear de estados, poder-se-ia reduzir um intervalo de tempo de bilhões de anos para fatorar certo número em um computador comum, a um período de tempo de alguns minutos. Na tabela a seguir, podemos comparar algumas previsões para o tempo de fatoração de números em computadores clássicos e em computadores quânticos.

Tabela 1: Previsão para o tempo de fatoração de números por computadores clássicos e por computadores quânticos.

Tamanho do número (em bits)	Tempo de fatoração (computador clássico)	Tempo de fatoração (computador quântico)
512	4 dias	34 segundos
1024	10 mil anos	4,5 minutos
2048	10 mil bilhões de anos	36 minutos
4096	10^{26} anos	4,8 horas

Há, porém, uma nova possibilidade de evitar-se a quebra de sigilo do algoritmo criptográfico, que surge da utilização dos primeiros princípios da FQ. Este novo método de criptografia é denominado de *Criptografia Quântica*. Os processos de criptografia quântica são incondicionalmente seguros contra ataques de monitoramento passivo, porque sua segurança está baseada nas distribuições

probabilísticas de resultados de medidas e no colapso do vetor de estado pelo ato de medida.

Os protocolos de criptografia quântica recorrem, principalmente, a fótons polarizados. Mesmo com computadores poderosíssimos, fica impossível a decodificação total dos dados. As tentativas de interceptação da mensagem são detectadas, não existindo previamente (antes da medida) um dado resultado.

Existem diversas propostas de protocolos de criptografia quântica. É comum adotar as iniciais do(s) nome(s) do(s) autor(es) e o ano em que foram propostos, para a nomenclatura dos protocolos. Dentre os protocolos encontrados na literatura, podemos citar o *BB84*, o *E91*, o *BBM92* e o *B92*.

Para tentar esclarecer sobre as aplicações da FQ, quais fenômenos por ela explicados, será utilizado o artigo “A vida em um mundo quântico” publicado na revista *Scientific American Brasil*, em julho de 2011.

MISTICISMO QUÂNTICO¹⁰

A FQ se consolidou em 1926 como a teoria que descreve átomos, moléculas, suas interações mútuas e suas interações com diferentes formas de radiação. O domínio de aplicação desta teoria geralmente é a escala sub-nanométrica, ou seja, abaixo de um nanômetro (10^{-9} m), que é a escala típica de uma pequena molécula. Pode-se dizer que a teoria quântica está por trás de todos os fenômenos de nosso cotidiano, já que, afinal, tudo é composto de átomos.

No entanto, existe a dificuldade em se estender a teoria quântica para o domínio macroscópico (do nosso cotidiano), pois o agrupamento de um grande número de átomos tende a “borrar” ou apagar os efeitos quânticos mais delicados (processo chamado “descoerência”), resultando num comportamento tipicamente “clássico”, ou seja, de acordo com a FC pré-quântica. Para se explicar o

¹⁰ Texto adaptado de dois artigos de Osvaldo Pessoa Jr. Fontes: *O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico (2010)*. Publicado no livro: *Teoria Quântica: Estudos Históricos e Implicações Culturais*. Editora da UEP: Campina Grande. e *Origens hippie do misticismo quântico*. Disponível em http://www2.uol.com.br/vyaestelar/misticismo_quantico.htm. Acesso em 23/08/2011.

funcionamento de uma bicicleta, por exemplo, não é necessário usar a teoria quântica, mesmo que se possa argumentar que, em princípio, uma descrição quântica da bicicleta seja possível. Assim, podemos dizer que a FQ não é “necessária”, não é “essencial”, para se explicar uma bicicleta, no sentido de que a FC fornece uma explicação suficientemente boa para este meio de locomoção.

E com relação à nossa consciência, à nossa mente (o que incluiria o inconsciente), à nossa “alma” (usaremos esses termos de maneira intercambiável)? Será que nossa consciência pode ser explicada apenas a partir da biofísicoquímica? E, em caso positivo, será que a ciência clássica seria suficiente, ou seria necessária a FQ? Uma ampla classe de visões de mundo argumentam que há uma conexão essencial entre FQ e consciência. Essas visões não se limitam à tese de que a FQ é essencial para se explicar a consciência, mas incluem outros tipos de relações entre mente e quântica (além da mais óbvia, de que a teoria quântica foi criada por mentes), num amplo panorama que é costumeiramente chamado de “misticismo quântico”.

O misticismo quântico, que na última década se disseminou tão fortemente na mídia e em boa parte da sociedade, em linhas gerais, consiste de interpretações da Teoria Quântica que se inserem na tradição do naturalismo animista (com seu idealismo transformador; considera que a natureza é imbuída de uma espécie de alma, semelhante à alma humana, ou uma espécie de sentido, finalidade ou racionalidade, semelhantes aos nossos), ou que adotam um idealismo subjetivista (a realidade, de alguma forma, depende da mente do sujeito), ou ainda que partem de elementos religiosos. Trata-se de uma atitude que atribui uma conexão íntima entre a consciência humana (ou a espiritualidade) e os fenômenos quânticos.

A origem do termo “*misticismo quântico*” parece ter surgido das comparações entre a FQ e o misticismo oriental, que foram exploradas por Fritjof Capra no livro *O Tao da Física*, mas que já tinham sido sugeridas antes por alguns fundadores da FQ.

Na década de 1970, a física norte-americana enfrentava dificuldades financeiras devidas à crise do petróleo. Com vários recém-doutores em física desempregados, alguns se voltavam para o estudo dos fundamentos teóricos da Física e alguns para a possível conexão entre a Física e os poderes da mente.

A cultura norte-americana no início da década de 70 foi marcada pelos desdobramentos do movimento hippie, que surgiu especialmente no norte da Califórnia, com a disseminação do uso de drogas psicodélicas e a vivência de novos valores culturais. Um aspecto desse movimento contestatório foi uma rejeição da ciência tradicional e revalorização de tradições místicas antigas, incluindo a parapsicologia.

Nos anos 70, vários físicos começaram a trabalhar na conexão entre FQ e misticismo. Em Londres, David Bohm, interessou-se pelos poderes de Uri Geller (mágico ilusionista israelita que, entre outras coisas, entortava colheres afirmando que fazia isso com o poder da mente). Paralelamente, começou a dialogar com o misticismo oriental.

Vários livros de divulgação do misticismo quântico surgiram. O mais conhecido talvez seja *O Tao da Física*, do físico austríaco Fritjof Capra, publicado em 1975. O livro traça paralelos entre a física moderna e o misticismo oriental. Ao ganhar projeção, Capra passou a conduzir seus próprios workshops. Em 1990, seu irmão Bernt Capra dirigiu o filme *O Ponto de Mutação* (Mindwalk), inspirado em suas ideias.

Dois autores brasileiros, Frei Betto e Leonardo Boff, publicaram em 1994 o livro *Mística e Espiritualidade*, em que exploram a experiência mística de “re-ligação” com a divindade, que se daria num nível prévio a qualquer elaboração conceitual. Nesse livro, Frei Betto discute a FQ. Segundo ele, “quando, hoje, o cientista analisa a matéria, descobre duas coisas fantásticas: primeiro que, no seu ponto mais ínfimo, matéria é simultaneamente espírito e matéria”. Trata-se da tese conhecida como “panpsiquismo”, de que todas as coisas têm espírito ou consciência.

Está claro que a afirmação de Betto é exagerada: a FQ não implica que toda matéria seja espiritualizada. Trata-se de uma interpretação particular que pode até ser conciliada com a FQ, mas está longe de ser uma conclusão da ciência moderna. A base para esta afirmação de Betto é a não localidade quântica, que ele não consegue explicar bem, mas nos remete aos livros de Capra.

A segunda descoberta mencionada por Betto é o Princípio da Incerteza. Em sua discussão, duas teses são associadas a este princípio: o indeterminismo (a quebra da causalidade) e o subjetivismo, segundo o qual “a subjetividade humana interfere no movimento de alguma coisa que deveria independê-la”. Conclui com

a tese de Capra de que “os orientais já tinham pressentido o princípio de indeterminação três mil anos antes de Cristo. O que mais intriga os cientistas ateus, antirreligiosos, é o fato de as religiões orientais já o terem pressentido.” Está claro que este comentário não é aceito pelos físicos de partículas. Sempre poderemos traçar semelhanças entre visões de mundo, mas se houvesse algum conhecimento de microfísica contido nas cosmovisões antigas, elas deveriam poder ser usadas para fazer novas descobertas na Física. Mas, como comentou John Bell, “iremos todos sentar aos pés do Maharishi se ele nos disser onde o bóson de Higgs pode ser encontrado” (citado na coletânea de Grim, p. 310).

Diferentes atitudes frente ao misticismo quântico

Analisaremos a seguir algumas atitudes que são tomadas por cientistas e humanistas com relação ao misticismo quântico.

- 1) Em primeiro lugar, há os adeptos do misticismo quântico, que constituem uma pequena minoria dentre os cientistas naturais, e talvez uma minoria um pouco maior nas humanidades. Este grupo é constituído, em sua maioria, por pessoas com predisposição a uma visão de mundo mística, que não entendem exatamente do que trata a FQ, mas confiam ou acreditam nos livros de divulgação que leram. Há também um pequeno grupo de estudiosos que conhece bem a FQ, e defende as teses místicas quânticas com melhor fundamentação, como Henry Stapp (2007) e Nick Herbert.
- 2) Um segundo grupo não compartilha das teses do misticismo quântico, mas respeita-o, assim como respeita as teses da parapsicologia e as crenças populares. Há os pós-modernistas, que negam que haja verdades únicas, e questionam o direito que nossa cultura teria de impor verdades sobre outras culturas. Há os agnósticos, que consideram que há um valor de verdade único e bem definido para certas afirmações (ou seja, elas são ou verdadeiras, ou falsas), como a existência de transmissão de pensamento, mas evitam tomar uma posição definida até que as questões sejam examinadas exaustivamente pela ciência. Há também os que acreditam em

mistérios que estão para além da ciência, mesmo que discordem da maioria das afirmações da parapsicologia e das religiões oficiais (Calligaris, 2006). Dentre estes, muitos já tiveram relatos ou experiências que consideram confiáveis de premonições e outros fenômenos semelhantes, mas não chegam a defender explicitamente uma visão mística.

- 3) A atitude mais comum, por parte dos cientistas, é simplesmente ignorar a onda de misticismo quântico, talvez ridicularizando-a em conversas particulares, mas sem um esforço de criticá-lo publicamente.
- 4) Dentre os que acham o misticismo quântico descabido, assim como a parapsicologia e outras artes místicas, há um pequeno grupo que se auto-denomina “céticos”, e que para distinguir do ceticismo filosófico é às vezes chamado de “ceticismo científico”. Esse grupo é bastante ativo no projeto de desmascarar fraudadores e pseudocientistas, e publicam seus resultados principalmente nas revistas *Skeptical Inquirer* e *Skeptic*, além de sites na internet. Procuram tráfegar no terreno da racionalidade, argumentando que as atitudes pseudocientíficas são irracionais sem, no entanto estender esta crítica para posições religiosas.
- 5) Por fim, segundo Pessoa, (2006) apresenta uma atitude ao mesmo tempo mais pluralista e mais dogmática. A atitude pluralista, no caso da FQ, é admitir que há dezenas de interpretações, e que qualquer uma que não seja refutável e autocontraditória deve ser admitida como uma possibilidade. Ou seja, interpretações idealistas, mesmo as que se referem a uma física da alma e outros conceitos contra intuitivos, não careceriam de racionalidade. Elas são baseadas em atos de fé. Seguindo esta linha de pensamento, posso afirmar para um colega místico: “Tenho fé na inexistência de Deus. Tenho fé no materialismo.” E enquanto o interlocutor manifesta seu espanto, já que o filme “Quem Somos Nós?” afirma claramente a veracidade deste efeito (Arntz et al., 2007), posso informar a ele a grande quantidade de dinheiro que o místico japonês ganha em seus workshops em cruzeiros marítimos. Enfim, “se você é místico, então você deve estudar a FQ, pois isso trará novas perspectivas

para seu misticismo; porém, a FQ não implica misticismo, ao contrário do sugerido no filme “Quem Somos Nós?”. Dentro desta última abordagem, pode-se formular um dilema para o místico ou para o religioso, cuja solução envolverá uma reflexão sobre o estatuto da visão científica do mundo. O dilema do místico é o seguinte: deve-se aceitar a existência de fenômenos que vão contra o que prevê a ciência estabelecida, ou deve-se aceitar apenas a existência de entidades e processos que não entram em contradição com a ciência? A primeira opção pode ser chamada de misticismo “desafiador” da ciência, e o segundo de misticismo “conciliador” com a ciência. Por exemplo, alguém que acredite em Deus e em outros mistérios, mas que aceita a evolução humana, está adotando uma postura conciliadora com a ciência. Neste caso, o texto da Bíblia deve ser interpretado de maneira figurada, e não de maneira literal. Já os chamados “criacionistas” adotam uma postura desafiadora da ciência. A tese defendida pelo físico indiano Goswami de que existe transmissão instantânea de pensamento também é desafiadora. Apesar de Goswami citar diversos experimentos que teriam verificado tal fenômeno, pouquíssimos cientistas consideram que esta aposta de Goswami possa gerar mais luz do que a dos holofotes. A tese de Jahn & Dunne, de que o pensamento do observador conseguiria influenciar o resultado de um experimento quântico, viola menos teses fundamentais da Física, mas é também uma atitude desafiadora, já que tem consequências experimentais testáveis que estão em desacordo com as previsões das visões materialistas da ciência, e que não foram reproduzidas por cientistas que trabalham em laboratórios considerados respeitáveis.

2.5. Mapa Conceitual

Para a construção de um mapa conceitual sobre os conceitos trabalhados deverá ser feita uma breve explanação sobre o assunto mapeamento conceitual, envolvendo sua estrutura, sequenciação e hierquização. Para tal poderá ser utilizando um material elaborado a partir do artigo “Mapas Conceituais e Aprendizagem significativa” que está disponível em

<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Também deverão ser apresentados alguns exemplos de mapas conceituais, sobre assuntos diversos, para ajudar os alunos na realização da tarefa.

2.6. Diferenciando Progressivamente

A seguir são apresentadas novas situações problema, relativas aos conceitos de quantização, objeto quântico, princípio da incerteza, estado, e superposição de estados, principalmente em forma de figuras e desenhos. O objetivo é interpretar as figuras, fazendo uma breve descrição sobre cada uma, conforme os conceitos apresentados.



Figura 13 – Disponível em < <http://estacaofisica.blogspot.com/search?updated-max=2009-05-01T21:29:00-07:00&max-results=7>>. Acesso em 23/08/2011.



Figura 14 – Adaptada de <<http://algol.fis.uc.pt/quark/viewtopic.php?f=7&t=257>>. Acesso em 23/08/2011.



Figura 15 – Pode ser acessada em <<http://estadoquantico.blogspot.com/2010/07/imagens-do-cabecalho-gato-de.html>>. Acesso em 23/08/2011.

A tradução da Figura 16 é: “Instituto de Física Quântica. Ele se encontra aqui ou aqui.”

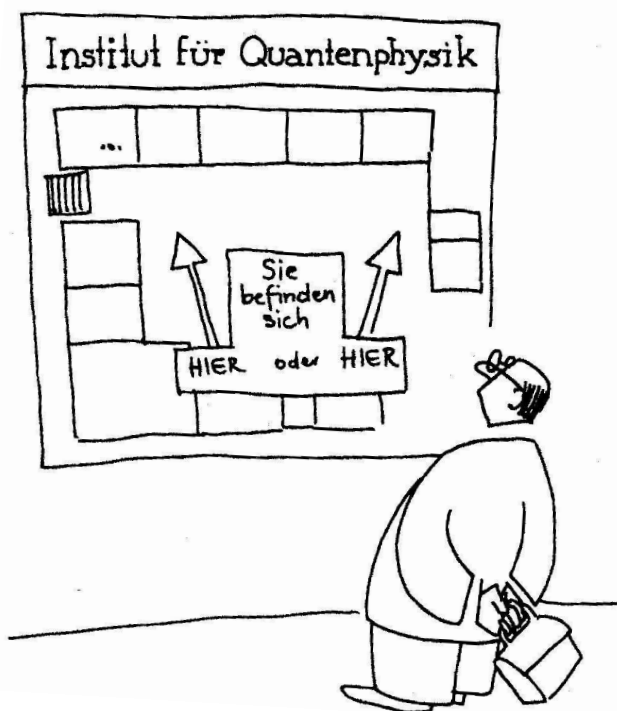


Figura 16 –Disponível em http://2.bp.blogspot.com/_xmiZpXVby5Q/TIaM6qDXEUI/AAAAAAAAA_I/qYgU_nCUI7w/s1600/Institut.jpg. Acesso em 23/08/2011.



Figura 17 – Disponível em <http://www.oesquema.com.br/conector/tag/principio-da-incerteza>. Acesso em 23/08/2011

Após a visualização de cada figura, o grande grupo é incentivado a buscar o conceito físico que está implícito. Assim, se está buscando a diferenciação progressiva dos conceitos apresentados anteriormente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto, 2000.

BRASIL. **PCN+ do Ensino Médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação e do Desporto, 2002.

EINSTEIN, A. INFELD, L. **A Evolução da Física**. Editora Zahar: Rio de Janeiro, RJ. 2008.

Ensino de Física on-line. e-física. Disponível em <<http://efisica.if.usp.br/>>. Último acesso em 11 de julho de 2011.

CARUSO, F. e OGURI, V. **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2006.

Discovery. **Documentário Tudo sobre Incerteza – Mecânica Quântica**. Partes 1 a 6. 2007. Parte 1 disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=O1dHym14W5Q&NR=1>>. Acesso em 08 março de 2012.

KANTOR, C. A. ET ALL. **Física, 3º ano: Ensino Médio**. Editora PD: São Paulo, SP. 1ª Ed, (Coleção Quanta Física). 2010.

MOREIRA, M. A. Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa. **Cadernos do Aplicação**, v. 11, n. 2, p. 143-156. 1998. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>>. Acesso em 11 de julho de 2011.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review**, v. 1, n. 2, p.43-63. 2011. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf>. Acesso em 08 março de 2012.

NUNES, A. L. Física Quântica para Todos. **Atas do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física. 2007**. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0071-1.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2011.

PESSOA JR. O. **Conceitos de Física Quântica**. Editora Livraria da Física: São Paulo, SP. 2003.

PESSOA JR. O. O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico. Do livro **Teoria Quântica: Estudos Históricos e Implicações Culturais**. Editora da UEP: Campina Grande. 2010.

PESSOA JR. O. **Origens hippie do misticismo quântico**. Disponível em http://www2.uol.com.br/vyaestelar/misticismo_quantico.htm. Acesso em 23/08/2011.

The Scale of the Universe. Disponível em <<http://www.newgrounds.com/portal/view/525347>>. Acesso em 13 de julho de 2011.

ROCHA, C. R. **Sobre o ensino do conceito de estado em cursos introdutórios em mecânica quântica.** 2009. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 179p. 2009.

VEDRAL, V. A vida em um mundo quântico. **Scientific American Brasil.** Ed. 110, julho de 2011.

Apêndice – UEPS-FQ

PROPOSTA DE UEPS PARA ENSINO DE TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA

Objetivo: facilitar a aquisição de significados de conceitos básicos de Física Quântica no Ensino Médio: quantização, incerteza, objeto quântico, estado, superposição de estados.

Sequência:

1. **Situação inicial:** os alunos serão incentivados a elaborar um **mapa mental** sobre a Física Quântica (FQ). No mapa mental o sujeito tem total liberdade para fazer associações entre seus conhecimentos, suas representações, suas cognições (Buzan & Buzan, 1994). Assim, os alunos ficarão à vontade para fazer relações da FQ com outros ramos da Física e/ou com o seu cotidiano. Os mapas mentais serão entregues à professora. A seguir, para refletir sobre o assunto, os alunos receberão a letra e ouvirão a música *Quanta*, de Gilberto Gil. A atividade ocupará uma aula.

2. **Questionamentos iniciais:**
 - a) O que você já leu, ouviu, ou viu sobre Física Quântica?
 - b) Onde a Física Quântica é aplicada? O que estuda?
 - c) O que difere a Física Quântica das outras áreas da Física (Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo, etc.)?
 - d) O que é um quantum de matéria? E um quantum de energia?
 - e) Qual a sua opinião sobre os seguintes anúncios? (Recortes de revistas ou sites que anunciem “cursos ou terapias quânticas”, trazidos pela professora) Você já ouviu falar ou teve contato com algum tipo de terapia que se denomina quântica?

Todas as questões/situações deverão ser discutidas em grande grupo, sob a mediação da professora, com a intenção de ouvir a opinião do grupo, estimular a curiosidade sobre o assunto, sem a necessidade de chegar a uma resposta final.

A seguir será distribuída uma cópia individual do artigo *Física Quântica para Todos* (texto parcialmente adaptado de Nunes, 2007) que está disponível no material de apoio organizado pela professora. Será dado um tempo para que os alunos leiam o texto e depois se reúnam em pequenos grupos para discussão do mesmo e dele façam um resumo ou um diagrama, ou um desenho, em atividade colaborativa. O produto dessa atividade deverá ser entregue à professora. O desenvolvimento desta etapa ocupará três aulas.

3. Aprofundando conhecimentos: serão trabalhados os conceitos de *quantização, objeto quântico, incerteza, estado e superposição de estados*, de acordo com as orientações do material de apoio. Estes conteúdos serão apresentados através de textos e também em *slides*, sendo estimuladas discussões no grande grupo. Ao final da introdução dos novos conteúdos, serão retomados os anúncios, questionando os alunos sobre a validade das proposições anunciadas e sua visão sobre até que ponto estas apropriações são legitimadas pela Física. A etapa será desenvolvida em quatro aulas.

4. Nova situação: os conceitos serão novamente apresentados na forma de vídeos, com duração de uma aula. Para tal o escolhido foi o documentário sobre Mecânica Quântica, produzido pela Discovery. O primeiro dos seis vídeos pode ser acessado em <http://www.youtube.com/watch?v=O1dHym14W5Q&NR=1>. Os outros cinco vídeos aparecem como uma sequência deste primeiro. Logo após, os alunos irão se reunir em pequenos grupos quando serão solicitados a construir um **mapa conceitual** para os conceitos quânticos trabalhados. Para isso, será feita uma exposição inicial sobre como construir um mapa

conceitual e serão apresentados alguns exemplos. Após, os mapas serão trocados entre os grupos para que sejam feitas comparações e sugestões e alguns serão apresentados ao grande grupo. Todos os mapas deverão ser entregues à professora para avaliação. Esta atividade ocupará três aulas.

- 5. Comparando mapas:** na aula seguinte será desenvolvida uma atividade envolvendo os **mapas mentais** elaborados da primeira aula e os **mapas conceituais** da aula anterior. Será feita uma comparação qualitativa entre esses mapas, buscando aspectos que envolvam concepções místicas ou representações sociais, sobre a Física Quântica, possivelmente apresentados nos mapas mentais construídos na primeira aula e sua provável ausência nos mapas conceituais. Tal aspecto será utilizado para abordar novamente o assunto e explicar aos alunos que a Física Quântica não pode ser usada para dar embasamento científico para assuntos apresentados nos anúncios trazidos pela professora no início da unidade. Esta etapa terá duração de duas aulas.
- 6. Diferenciando progressivamente:** serão apresentadas novas situações problema, relativas aos conceitos de *quantização*, *objeto quântico*, *incerteza*, *estado* e *superposição de estados*, principalmente em forma de imagens, como a do Gato de Schrödinger que pode ser acessada em <http://averomundo-jcm.blogspot.com/2009/10/gatos-e-virus.html> e também será iniciada a confecção de um pequeno jornal da turma contendo pequenos artigos, charges, quadrinhos ou figuras sobre os assuntos abordados. O jornal será exposto no colégio para a leitura de toda comunidade escolar. Atividade a ser desenvolvida em três aulas.
- 7. Avaliação individual:** será realizada uma avaliação individual através de questões abertas envolvendo os conceitos-foco da unidade. A atividade ocupará uma aula.

- 8. Aula final e avaliação da UEPS em sala de aula:** análise das respostas às questões propostas na avaliação individual e das discussões realizadas nas etapas anteriores. Comentários finais integradores sobre o assunto abordado. Avaliação oral por parte dos alunos sobre as estratégias de ensino utilizadas e sobre seu aprendizado. A atividade ocupará uma aula. As manifestações dos alunos serão gravadas em áudio, se houver anuência dos mesmos.
- 9. Avaliação da UEPS:** análise qualitativa, de parte da professora, sobre as evidências que percebeu, ou não, de aprendizagem significativa dos conceitos da unidade, na avaliação individual e na observação participante, bem como da avaliação da UEPS feita em sala de aula pelos alunos na última aula.

10. Total de horas-aula: 16

Referências:

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 43-63. 2011. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf>. Acesso: 08 mar. 2012.

BUZAN, T. E BUZAN, B. **The mind map book**. New York, NY: Dutton Books. 320p. 1994.

ONTORIA, A., DE LUQUE, A. E GÓMEZ, J.P.R. **Aprender com mapas mentais**. São Paulo: Madras. 168p. 2004.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso: 11 de jul. 2011.

NUNES, A. L. Física Quântica para Todos. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física**, XVII, 2007, São Luis. Anais eletrônicos. São Paulo: SBF, 2007. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0071-1.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2011.

DISCOVERY. Documentário **Tudo sobre Incerteza – Mecânica Quântica** – Partes 1 a 6. 2007. Parte 1 disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=O1dHym14W5Q&NR=1>>. Acesso em: 08 mar. 2012.