

**MODELO ATÔMICO E INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A  
MATÉRIA: CONCEPÇÕES DE UM GRUPO DE ALUNOS DO  
ENSINO MÉDIO**

**CHRISTIANO CARVALHO LEAL**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE**

**DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES / RJ**

**JULHO DE 2006**

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

Essa pesquisa consiste na análise de uma experiência didática planejada a partir do levantamento das concepções de estudantes de ensino médio sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria. O referencial teórico adotado para o desenvolvimento do trabalho foi a teoria de aprendizagem significativa. Os temas foram escolhidos em parte devido à sua importância para a tecnologia atual, muito presente no cotidiano dos estudantes. Após elaboração de um mapa conceitual sobre os temas, percebeu-se que a abordagem através de um viés histórico durante a experiência didática, poderia torná-los potencialmente mais significativos.

Há aproximadamente dois mil e quinhentos anos, na Grécia, um filósofo chamado Demócrito cunhou o termo átomo para designar a menor de todas as partes da matéria. Nessa época não havia nenhuma evidência da existência de tais partículas e o atomismo, que era o termo dado à corrente de pensamento que defendia que a matéria era constituída de átomos, era uma tese puramente filosófica (ROCHA, 2002). Depois de passados aproximadamente dois mil anos de seu surgimento o atomismo renasce com o químico John Dalton, porém revestido de um caráter mais experimental, baseado em observações químicas de sua época (RUSSEL, 1994). Desde Dalton o conhecimento a respeito dos átomos evoluiu bastante e muitos são os nomes que contribuíram para esta evolução.

O modelo atômico aceito atualmente, descrito pela mecânica quântica, é bastante diferente do imaginado por Demócrito vinte e cinco séculos atrás. Até mesmo o termo átomo, que significa indivisível ou sem partes, apesar de consagrado, não está mais de acordo com o modelo aceito atualmente, que é composto por elétrons, prótons e nêutrons. Sendo ainda esses dois últimos compostos por partículas menores. O modelo atual possibilitou a compreensão dos processos de emissão e absorção de radiação eletromagnética pela matéria, o que possibilitou um grande avanço na tecnologia e na própria Ciência.

O objetivo principal deste trabalho, dito de maneira geral, foi avaliar a eficácia de uma experiência didática sobre os temas evolução dos modelos atômicos e interação da radiação com a matéria, planejada com base na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, e realizada com um grupo de alunos do ensino médio.

O primeiro passo para alcançar este objetivo foi a realização de um levantamento das pré-concepções de alunos do ensino médio sobre os temas. Dentro desta pesquisa inicial, cujos resultados serão apresentados no capítulo quatro, existiam objetivos específicos que serão analisados no capítulo três.

Uma justificativa para o desenvolvimento deste trabalho é que a evolução do conhecimento a respeito do átomo possibilitou o desenvolvimento de diversas tecnologias que fazem parte do cotidiano das pessoas como, por exemplo, lâmpadas, materiais luminescentes, LASER, LED, forno de microondas, aparelhos de raios-X e ressonância magnética nuclear, entre outros. Essa quantidade de aplicações práticas dá mais significado ao conteúdo apresentado em sala de aula e pode contribuir para melhores resultados na aprendizagem dos estudantes (TOLENTINO e ROCHA-FILHO, 1996).

O conhecimento sobre a constituição da matéria também é essencial em outras disciplinas como, por exemplo, a Química e Biologia, o que expõe o caráter interdisciplinar do tema. A relevância do ensino sobre a teoria atômica da matéria também fica bastante evidente na citação abaixo.

*“Se, em algum cataclismo, todo o conhecimento científico fosse destruído e apenas uma sentença fosse passada adiante para as próximas gerações de criaturas, que enunciado conteria mais informações em menos palavras? Acredito que seja a hipótese atômica (ou fato atômico, ou como quiser chamá-lo) de que todas as coisas compõem-se de átomos (...).”* (FEYNMAN, 2001, p. 39).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais também fornecem justificativas que reforçam a relevância da realização deste trabalho. Encontram-se nas orientações legais seis temas estruturadores para o ensino de física no ensino médio, e um desses temas é denominado *Matéria e radiação* (BRASIL, 2002), onde fica clara a necessidade do ensino dos temas apresentados neste trabalho no ensino médio.

*“O cotidiano contemporâneo depende, cada vez mais intensamente, de tecnologias baseadas na utilização de radiações e nos avanços na área da microtecnologia. (...) Nessa abordagem, uma vez que a maior parte dos fenômenos envolvidos depende da interação da radiação com a matéria, será adequado um duplo enfoque: por um lado, discutindo os modelos de constituição da matéria, incluindo o núcleo atômico e seus constituintes; por outro, caracterizando as radiações que compõem o espectro eletromagnético, por suas diferentes formas de interagir com a matéria. Essa compreensão das interações e da matéria, agora em nível microscópico, permite um novo olhar sobre algumas propriedades trabalhadas no ensino médio, tais como condutividade e transparência, mas permite também promover, como síntese, uma concepção mais abrangente do universo físico”* (BRASIL, 2002 p.77).

O viés histórico escolhido para a abordagem do tema modelos atômicos também é justificado nas orientações legais, pois *“Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas”* (BRASIL 2002, p.67) é uma das competências desejadas para o aluno egresso do ensino médio.

Apesar das justificativas encontradas nos Parâmetros Curriculares Nacionais a favor da inserção dos tópicos modelos atômicos e interação da radiação com a matéria e de outros tópicos também relacionados à chamada Física Moderna e Contemporânea, estes assuntos comumente não são muito explorados ainda no ensino médio (OSTERMAN, 2000). Essa ausência também

consiste em uma justificativa favorável à realização deste trabalho. Nesse contexto, pode-se afirmar que além de implementar uma discussão a respeito de um tópico de grande relevância, é possível ainda que os resultados deste trabalho contribuam de alguma maneira com discussões e debates que busquem implementar melhorias no ensino de Física. A busca por melhorias nos mais diversos setores da sociedade, por si só, já motiva e justifica a realização de diversos trabalhos, fato que não é diferente na educação.

No capítulo seguinte será apresentada e discutida a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel que consiste no referencial teórico deste trabalho. Esta teoria ajudou a esclarecer sobre quais os caminhos deviam ser trilhados durante o desenvolvimento deste trabalho.

No capítulo três será detalhada a metodologia utilizada neste trabalho. Inicialmente serão apresentados e discutidos alguns trabalhos sobre ensino aprendizagem de modelos atômicos encontrados na literatura. Dentre esses trabalhos destaca-se um (MORTIMER, 2000) que exerceu grande influência nesta pesquisa. Na seqüência do capítulo serão discutidos todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento desta pesquisa.

O capítulo quatro é destinado à apresentação e discussão dos resultados obtidos nessa pesquisa e às conclusões. No último capítulo serão feitas considerações finais.

## **CAPÍTULO 2 – REFERÊNCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo serão apresentados alguns aspectos sobre teorias de aprendizagem que são essenciais ao trabalho do professor, pois lhe indicam os melhores rumos a serem seguidos e lhe proporciona uma melhor compreensão a respeito do processo ensino aprendizagem. *“Muitas questões educacionais poderão ter uma melhor solução, se possuímos uma compreensão básica de como as crianças aprendem”* (NOVAK, 1981, p.14). Os aspectos mais relevantes da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, que é o referencial teórico desse trabalho, serão apresentados e discutidos neste capítulo com base nos pontos de vista de Novak (1981) e Moreira (1999).

### **2.1 - Teorias de Aprendizagem**

Uma teoria de aprendizagem tem o objetivo de explicar como se dá o processo da aprendizagem (MOREIRA, 1999). A quase totalidade destas teorias busca uma maior compreensão dos processos psicológicos envolvidos na aprendizagem, ou seja, a maioria das teorias existentes tem como objetivo explicar como se dá o processo cognitivo de aprendizagem, haja vista que o entendimento dos processos biológicos relacionados à aprendizagem depende ainda de muitos avanços na compreensão de como são armazenadas e processadas as informações nas mentes dos indivíduos (NOVAK, 1981). Usualmente, as teorias de aprendizagem são classificadas em três grupos: comportamentalistas, cognitivistas e humanistas.

Sucintamente, as teorias comportamentalistas explicam a aprendizagem com base no que se pode observar. Um termo relacionado a esse grupo de teorias, e que é bastante conhecido, é *estímulo-resposta*. Esse termo resume a maneira pela qual as teorias comportamentalistas explicam a aprendizagem: ela é possibilitada através de estímulos externos ao sujeito que aprende, e sua

ocorrência pode ser observada ou medida através de respostas dadas por esses indivíduos. Duas das críticas feitas às teorias comportamentalistas são que elas não fazem distinção entre indivíduos, e que não dão nenhuma informação sobre o que ocorre internamente ao sujeito quando este aprende. A análise das respostas dadas por indivíduos ou de uma mudança de comportamento ou atitude com o objetivo de verificar a ocorrência de aprendizagem é um ponto comum entre as teorias comportamentalistas e as demais.

Em um segundo grupo encontram-se as teorias de aprendizagem cognitivistas. Essas teorias defendem que a aprendizagem é um evento cognitivo buscando explicar os processos mentais que ocorrem durante o ato de aprender. Nas teorias cognitivistas os aprendizes são vistos de forma individualizada, cada um com suas características e peculiaridades, sendo, por isso, o processo de aprendizagem, diferente em cada um deles.

No último grupo estão as teorias humanistas. Pelas teorias que compõem este grupo a aprendizagem é entendida como um processo amplo, onde estão envolvidos, além da cognição, sentimentos e ações. A ocorrência de aprendizagem implica em um crescimento do indivíduo como um todo: cognição, sentimentos e ações. Nessa visão aprender é um ato que promove um crescimento do indivíduo nas suas maneiras de pensar, sentir e agir. As teorias humanistas entendem o processo de aprendizagem de forma mais ampla que as demais teorias.

A teoria de aprendizagem de Ausubel descreve a aprendizagem cognitiva, pois entende que todos os processos envolvidos na aprendizagem se dão no aparelho cognitivo. No entanto essa aprendizagem cognitiva promove uma mudança na maneira de pensar, sentir e agir dos indivíduos. Por isso pode-se dizer que esta teoria situa-se entre o cognitivismo e o humanismo (Moreira, 1999).

## **2.2 - A Teoria de Aprendizagem de Ausubel**

Aprendizagem significativa, subsunçores e organizadores prévios são termos utilizados na teoria de Ausubel. O entendimento do significado desses termos e de como eles se relacionam entre si é fundamental para o entendimento de como se dá o processo de aprendizagem.

### **2.2.1 - Subsunçores**

A palavra subsunçores refere-se a subdivisões presentes na estrutura cognitiva de um indivíduo. Internamente a cada pessoa existe uma estrutura de conhecimentos construídos ao longo de suas vidas. Esta estrutura, que envolve todos esses conhecimentos, é denominada estrutura cognitiva. Ela reúne conhecimentos relativos às mais variadas áreas do saber, e é com esta estrutura que o indivíduo pensa, age, sente. Parte desta estrutura subdivide-se em estruturas menores, organizadas, relativas a áreas específicas do saber. Na teoria de aprendizagem de Ausubel esses ramos cognitivos específicos, cujo somatório compõe boa parte da estrutura cognitiva do indivíduo, são denominados subsunçores.

Um subsunçor é formado por conceitos e suas inter-relações, ou seja, os subsunçores são estruturas organizadas de conceitos relativos a uma determinada área do saber.

*“A base biológica da aprendizagem significativa envolve mudanças no número ou no tipo dos neurônios participantes, ou no conjunto celular envolvido; o fenômeno psicológico envolve a assimilação de novas informações dentro de uma estrutura de conhecimentos específica existente na estrutura de conhecimento do indivíduo. Ausubel define estas entidades psicológicas como conceitos*

*subsunçores, ou simplesmente, subsunçores, existentes na estrutura cognitiva” (NOVAK, 1981, p.57).*

Dentro da estrutura cognitiva de um determinado indivíduo pode-se encontrar subsunçores com diferentes graus de desenvolvimento. Na prática, essa diferença está diretamente ligada aos níveis de conhecimento desse indivíduo nas diversas áreas do saber. Quanto mais informações uma pessoa tem sobre determinado assunto, mais desenvolvido é o subsunçor relativo a esse assunto. Refere-se a essa diferença no desenvolvimento de diferentes subsunçores, dizendo que eles são mais ou menos diferenciados. Ou seja: quanto mais desenvolvido é um subsunçor, mais diferenciado ele é.

Uma maneira de representar um subsunçor é através de um diagrama, ou figura, que apresenta diversos conceitos interligados entre si:

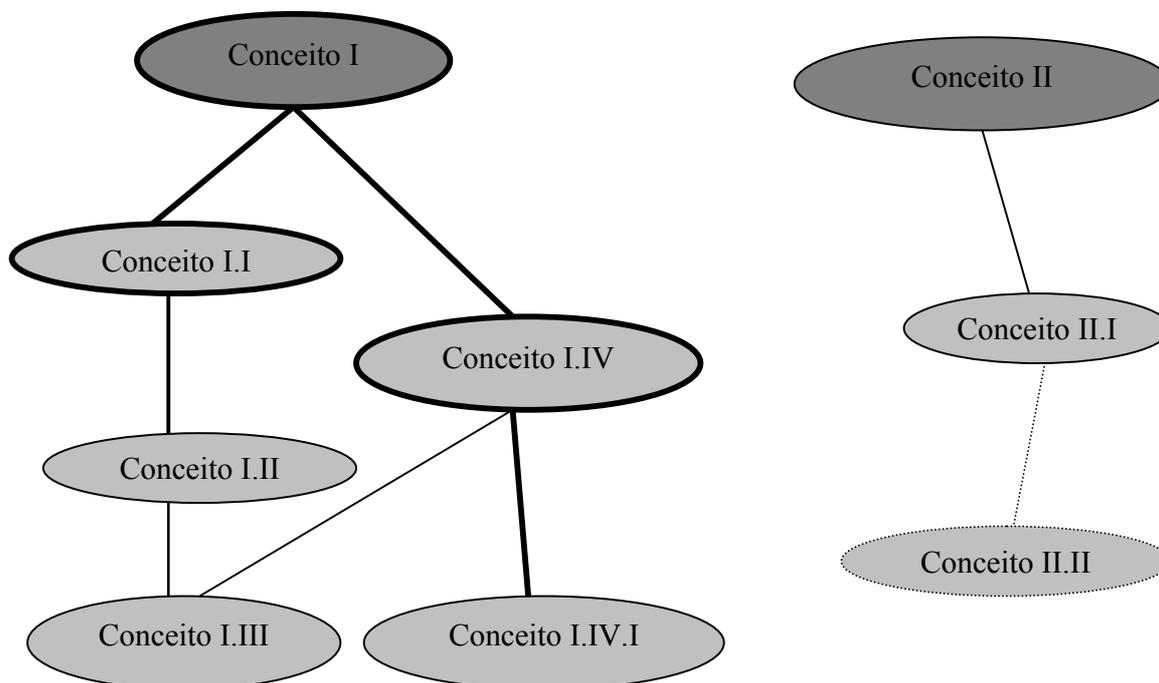


Figura 1.1: Uma possível representação das estruturas conceituais estabelecidas na estrutura cognitiva de um determinado indivíduo. Estas estruturas conceituais são chamadas de subsunçores. Diz-se que o subsunçor da esquerda é mais diferenciado do que o da direita. Essa figura foi adaptada de Novak (1981).

Na figura 1.1 estão representados dois subsunçores presentes na estrutura cognitiva de determinado indivíduo. As diferentes espessuras das linhas que envolvem e interligam os conceitos que compõem um determinado subsunçor, representam o quanto são significantes estes conceitos e suas inter-relações, respectivamente. Dessa maneira, quanto mais espessas são as linhas, mais significantes são os conceitos e as maneiras como eles se relacionam a outros conceitos. As diferentes cores representam uma tentativa de diferenciar conceitos mais gerais de conceitos que são subordinados a eles, ou mais específicos, uma maneira de representar uma hierarquia conceitual dentro de um determinado subsunçor. Esta diferenciação por cores não é rígida, e muitas vezes é difícil de fazer, mas será útil mais adiante.

A aprendizagem significativa de um determinado conceito está diretamente ligada ao nível de diferenciação do subsunçor, referente a este conceito, que preexiste na estrutura cognitiva do aprendiz. Quanto mais diferenciado é um subsunçor relativo a uma determinada área do saber, mais facilmente ocorre a inclusão de novos conceitos, relativos a esta área, a este subsunçor, como será visto ao se falar sobre aprendizagem significativa.

### **2.2.2 - Aprendizagem significativa**

Através dos sentidos, o mundo exterior se conecta à estrutura cognitiva de uma pessoa. É através dessa conexão que chegam a esta estrutura as mais variadas informações, oriundas dos mais diferentes estímulos. Ao chegar à estrutura cognitiva o que ocorre com a informação? Ou melhor, qual a interação que ocorre entre a nova informação e a estrutura cognitiva? O conceito de aprendizagem significativa, presente na teoria de Ausubel, joga luz sobre estas questões.

Ao chegar à estrutura cognitiva um novo conceito pode se ligar a um determinado subsunçor específico, que tenha relação com a área de conhecimento do novo conceito. Ou, no caso de ausência deste subsunçor específico, ou de ausência de significado no novo conceito, este último pode ficar armazenado de forma isolada na estrutura cognitiva. No primeiro caso, se o novo conceito se ligar de forma ordenada ao subsunçor, diz-se que ocorreu aprendizagem significativa. *“Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo no qual uma nova informação é relacionada a um aspecto relevante, já existente, da estrutura de conhecimento do indivíduo”*. (NOVAK, 1981, p.56).

O conceito aprendido significativamente passa a fazer parte da estrutura cognitiva do indivíduo. A relação entre o novo conceito e o subsunçor será tão mais intensa quanto mais diferenciado for o subsunçor, pois quanto mais diferenciado for este subsunçor mais possibilidades de ligação para novos conceitos existirão nele. Desta maneira, o significado desse novo conceito para o

indivíduo é tanto maior quanto maior for o grau de diferenciação do subsunçor a que ele se ligou. Um maior significado de um conceito equivale a uma ligação mais intensa entre este conceito e o subsunçor. Com base nisso, fica evidente que um mesmo conceito pode ter diferentes graus de significância em diferentes indivíduos, bastando para isso, que os subsunçores relativos ao conceito em questão, existentes na estrutura cognitiva de cada um destes indivíduos, tenham diferentes níveis de diferenciação.

A ocorrência de aprendizagem significativa implica em modificação da estrutura cognitiva, mais especificamente, mudança do subsunçor ao qual o novo conceito se ligou. O novo conceito também sofre modificações ao se ligar ao subsunçor. Essas modificações ocorrem para que seja possível a ligação entre o novo e o preexistente. A intensidade dessa ligação e a maneira como ela ocorre, está diretamente ligada à intensidade do significado que o novo conceito terá para o indivíduo. Subsunçores formados por conceitos hierarquicamente organizados têm maior significado. Os conceitos aprendidos significativamente passam a fazer parte da estrutura cognitiva do indivíduo, mais especificamente, passam a fazer parte de um subsunçor relativo a um determinado conhecimento. Os conceitos aprendidos significativamente são bastante duradouros.

É possível que ocorra aprendizagem significativa de conceitos considerados incorretos por determinados grupos. Um exemplo pode ser dado utilizando o conceito físico de calor: para físicos, professores de Física e outras pessoas que tenham aprendido este conceito ou o compartilhem com esta comunidade, calor refere-se à transferência de energia térmica. Para o público que não compartilha esse conceito com a comunidade de pessoas citadas anteriormente, calor tem um significado próximo de temperatura. Esse conceito não compartilhado, presente em muitos indivíduos, provavelmente foi aprendido de forma significativa no decorrer de suas vidas. Esse fato consiste muitas vezes em um problema para a escola, pois o conceito não compartilhado possivelmente irá perdurar por boa parte das vidas destes indivíduos, mesmo após o conceito compartilhado ser apresentado, o que geralmente ocorre na escola.

Contrastando com a aprendizagem significativa está a aprendizagem mecânica. Ela ocorre quando a informação aprendida não se liga a nenhum subsunçor presente na estrutura cognitiva, ficando armazenada de forma isolada. Esse tipo de aprendizagem ocorre quando a pessoa não tem nenhum subsunçor referente à nova informação, ou quando esta última é desprovida de um significado.

A aprendizagem mecânica é necessária em algumas situações, uma delas é na formação de novos subsunçores. Após um determinado número de informações em uma área específica do conhecimento, serem aprendidas mecanicamente, o conhecimento formado pelo conjunto dessas informações passa a ter um significado, ou seja, relações entre os conceitos passam a existir. Esse ponto marca o surgimento de um novo subsunçor e a partir de então novas informações poderão se ligar a ele, tornando-o cada vez mais diferenciado.

Para facilitar a aprendizagem Ausubel sugeriu que as informações fossem apresentadas partindo das mais gerais e inclusivas em direção às informações mais específicas (NOVAK, 1981). Às mais gerais e inclusivas Ausubel denominou organizadores prévios.

### **2.2.3 - Organizadores prévios**

Segundo a teoria de Ausubel para que ocorra aprendizagem significativa é necessário que um conceito se ligue de forma ordenada à estrutura cognitiva. Para que esse acoplamento ocorra mais facilmente Ausubel sugeriu o uso de organizadores prévios. Grosso modo, esses organizadores consistem em uma maneira de preparar um determinado subsunçor relacionado ao conhecimento em questão, presente na estrutura cognitiva, para receber o novo conceito.

*“Quando publicou seu primeiro trabalho (1960), Ausubel recomendou o uso de organizadores prévios, os quais descreveu como*

*mais gerais, mais abstratos e mais inclusivos do que o material subsequente. Organizadores prévios deveriam servir de ancoradouro, na estrutura cognitiva para o novo conhecimento. Se conceitos relevantes não estivessem disponíveis na estrutura cognitiva, o organizador prévio serviria para ancorar novas aprendizagens e levar ao desenvolvimento de um conceito subsunçor que facilitasse a aprendizagem subsequente. Por outro lado, se conceitos adequados estivessem disponíveis, organizadores prévios poderiam servir como elementos de ligação entre novas aprendizagens e subsunçores relevantes específicos” (NOVAK, 1981, p.60).*

Organizadores prévios consistem em uma maneira de facilitar o acesso da nova informação a um subsunçor específico. Na prática, organizadores prévios podem ser exemplos mais gerais sobre um determinado conhecimento, questionamentos que despertem o interesse dos alunos, imagens, filmes. Enfim, organizadores prévios são materiais que tenham a característica de serem mais gerais do que o material que será apresentado mais adiante e que apresente um maior potencial de ligação para as informações subsequentes. Na ausência de um subsunçor específico, o organizador prévio serve como base para os conceitos subsequentes.

A seqüência de apresentação dos conceitos aos aprendizes é uma outra questão bastante relevante na teoria de aprendizagem significativa e está diretamente relacionada ao uso de subsunçores

Antes da apresentação de um determinado conhecimento é necessário que o professor tenha clareza de qual é o conceito mais geral dentro desse conhecimento. O conteúdo a ser apresentado adquire um maior potencial de significado se for apresentado a partir desse conceito mais geral. Em seguida apresentam-se os conceitos mais específicos ou subordinados ao conceito inicial. As relações existentes entre o conceito mais geral e os conceitos subordinados devem ser esclarecidas aos alunos pelos seus professores. O conhecimento

apresentado dessa maneira torna-se potencialmente mais significativo. (ver figura 1.2)

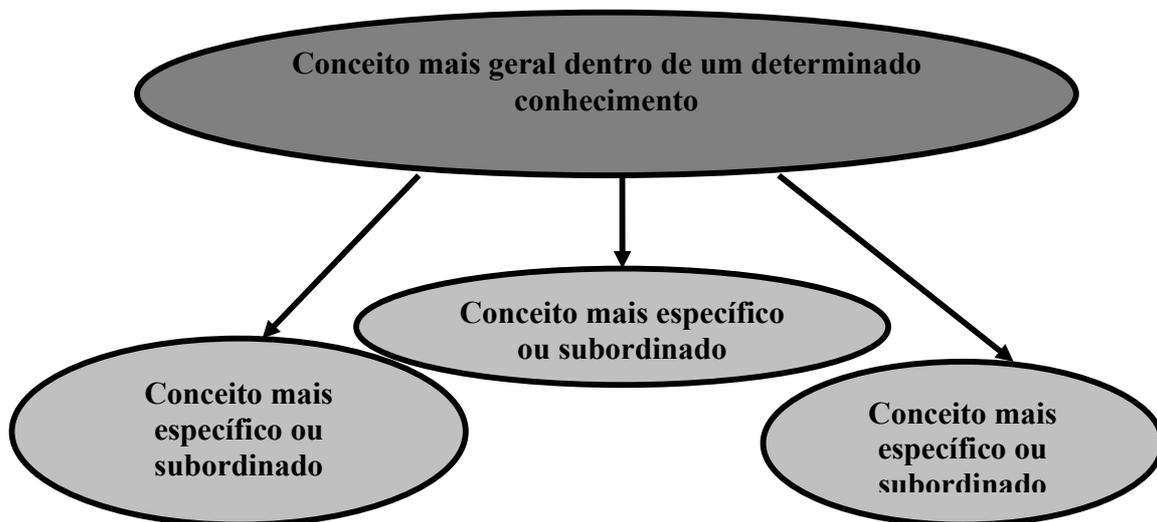


Figura 1.2 – Relação hierárquica entre conceitos. Essa figura apresenta a maneira mais adequada, ou com maior grau de significância, de expor um determinado conhecimento segundo a teoria de aprendizagem significativa. Essa figura foi

Um recurso que tem o objetivo de facilitar a aprendizagem e que decorre diretamente da teoria de aprendizagem significativa (BUCHWEITZ e MOREIRA, 1987) é denominado mapa conceitual. Esse recurso facilitador da aprendizagem consiste em “*uma técnica de análise usada para ilustrar a estrutura conceitual de uma fonte de conhecimentos*” (BUCHWEITZ e MOREIRA, 1987. p.9).

Como recurso de ensino o mapeamento conceitual pode ser usado no planejamento de currículos ou aulas individuais, podem ser usados durante as interações com os estudantes de maneira a esclarecer a hierarquia e as relações entre os conceitos e podem ser usados também na avaliação da aprendizagem. Entretanto, o uso de mapas conceituais como instrumento de avaliação da aprendizagem demanda um trabalho bastante longo de instrução dos estudantes

sobre a representação de suas idéias através destes mapas, como pode ser observado em Moreira e Prieto (2005).

Buchweitz e Moreira (1987) apresentam uma seqüência de passos que normalmente são seguidos na elaboração de mapas conceituais:

1. *Localizam-se os conceitos.*
2. *Listam-se os conceitos em uma ordem hierárquica.*
3. *Distribuem-se os conceitos em duas dimensões.*
4. *Traçam-se as linhas que indicam as relações entre os conceitos.*
5. *Escreve-se a natureza da relação.*
6. *Revisa-se e refaz o mapa.*
7. *Prepara-se o mapa final.* (BUCHWEITZ e MOREIRA, 1987. p.30-1)

O uso de mapas conceituais é uma ferramenta muito versátil e útil no processo ensino aprendizagem. No capítulo 3 será descrito como esse recurso foi utilizado no presente trabalho.

### **CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA**

Este capítulo trata de questões metodológicas relacionadas ao desenvolvimento desta pesquisa. Inicialmente será apresentado o resultado de uma revisão bibliográfica dos trabalhos que abordem o tema ensino aprendizagem de modelos atômicos. Na seqüência serão apresentadas as etapas de construção de um dos instrumentos de coleta de dados deste trabalho, que consiste em um questionário (Anexo C) contendo dez questões sobre os temas modelos atômicos e interação da radiação com a matéria. Alguns aspectos relevantes sobre as duas sondagens realizadas com o questionário serão discutidos após a apresentação das etapas de sua construção.

Com base na teoria de aprendizagem de Ausubel, nos resultados obtidos através do questionário e nas recomendações legais (BRASIL, 2002), foram preparadas duas interações didáticas que ocorreram com um grupo de estudantes de uma escola pública. A preparação destas interações e dos materiais de apoio utilizados serão apresentados e discutidos no final deste capítulo.

#### **3.1 - Revisão Bibliográfica**

Para que se pudesse ter maior clareza quanto ao desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica sobre trabalhos que abordem os temas: ensino aprendizagem de modelos atômicos e aplicações didáticas da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. Foram objetos da revisão artigos e teses disponíveis na Internet e revistas especializadas, das quais pode-se destacar a revista *Química Nova na escola*, onde foram encontrados vários trabalhos sobre os temas modelos atômicos e interação radiação com a matéria.

Em (CHASSOT, 1996) é realizada uma discussão sobre qual modelo atômico deve ser ensinado nas salas de aula. O autor argumenta que os modelos devem servir ao conteúdo a ser apresentado, e que, em muitos casos, modelos

ultrapassados são mais adequados para a explicação de determinados fenômenos do que o modelo aceito atualmente. Concorde-se plenamente com o fato de que alguns modelos são mais adequados para explicar determinados fenômenos do que outros. Um exemplo disso na Física é a teoria cinética dos gases, que explica um grande número de fenômenos com base em um modelo atômico extremamente rudimentar (NUSSENZVEIG, 1981). Porém acredita-se que é muito importante que seja esclarecido aos estudantes que muitos modelos, apesar de não serem mais os aceitos atualmente, são suficientes para explicar determinados fenômenos. O conhecimento a respeito dos modelos utilizados pela Ciência para explicar e fazer previsões de fenômenos naturais é uma das recomendações dos Parâmetros Curriculares Nacionais + (BRASIL, 2002), e consiste em um ponto importante para o desenvolvimento desta pesquisa.

Diversas aplicações tecnológicas decorrentes da evolução do conhecimento a respeito da estrutura atômica são apresentadas em Tolentino e Rocha-Filho (1996). Neste trabalho os autores argumentam que as aplicações tecnológicas podem ajudar a dar mais significado ao ensino da estrutura do átomo. O grande número de aplicações tecnológicas foi um dos motivadores para a realização desta pesquisa de mestrado. Os alunos do ensino médio têm contato com diversos aparelhos cujo funcionamento é baseado em transições que ocorrem em nível atômico e molecular como, por exemplo, materiais fluorescentes e fosforescentes, radiografias, LASER, fornos de microondas, entre outros. Entretanto, é comum que estes tópicos não estejam presentes nos currículos das escolas de nível médio (OSTERMAN e RICCI, 2002).

Simoni e Tubino (1999) apresentam um experimento com material de baixo custo para a determinação do raio atômico de alguns metais. O experimento não é tão elementar e talvez inviável para o ensino médio, porém a idéia de se estimar o tamanho de um átomo é interessante, pois permite que os estudantes de ensino médio tenham contato com as montagens experimentais e modelos teóricos que permitam a obtenção indireta do que se deseja medir. Mais adiante será descrito um experimento com o mesmo objetivo do apresentado por Simoni e Tubino (1999) que foi apresentado ao grupo de alunos que participou da

experiência didática, porém, a realização e o nível de abstração exigidos para o seu entendimento são muito mais simples.

Romanelli (1996) relata uma pesquisa realizada com professores e alunos da disciplina Química em nível médio. A pesquisa focalizou as relações que se estabelecem entre aluno, professor e objeto de ensino em sala de aula. O objeto de ensino presente nas aulas que foram analisadas consistia no tópico modelos atômicos. Para obtenção dos resultados foram analisadas, através de gravações, as falas dos professores em sala de aula e, através de um questionário e entrevistas, foram analisadas a aprendizagem dos estudantes e a visão dos professores sobre o conteúdo. A autora conclui que as imagens formadas pelos estudantes a respeito do conteúdo estão diretamente ligadas à postura do professor com relação ao conteúdo e ao processo ensino aprendizagem.

Basso (2004) dá uma série de argumentos que ressaltam a importância do ensino do átomo de Bohr no ensino médio. Em seu trabalho é apresentado um texto bastante completo e rico em detalhes, elaborado com base em um referencial lakatosiano, com o objetivo de servir de material de apoio para professores de nível médio que desejem apresentar o tema.

Em seu livro, *Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências*, Mortimer (2000) detecta e descreve como se dá a evolução dos perfis conceituais de estudantes da última série do ensino fundamental sobre o conceito átomo. Este livro é fruto da pesquisa desenvolvida pelo autor durante seu doutoramento. A metodologia utilizada por Mortimer para detectar e descrever o comportamento dos perfis conceituais dos seus alunos serviu de inspiração para a elaboração da metodologia utilizada para avaliar a eficácia das interações didáticas do presente trabalho, por esse motivo o trabalho de Mortimer será apresentado em mais detalhes.

Em seu livro Mortimer analisa um grande número de trabalhos que apresentam o processo de aprendizagem como uma substituição de conceitos ou concepções espontâneas, que fazem parte do senso comum e que na maioria das vezes não estão de acordo com o conhecimento cientificamente estabelecido, por

conceitos aceitos como corretos. Esse processo de substituição é denominado de mudança conceitual (MORTIMER, 2000).

Apesar do grande número de trabalhos analisados, Mortimer identifica duas características relativas ao processo de aprendizagem que são consenso entre os autores analisados. A primeira é que a aprendizagem ocorre com o envolvimento ativo do estudante no processo ensino aprendizagem. A segunda é que os conhecimentos prévios dos estudantes desempenham um papel fundamental em sua aprendizagem subsequente (MORTIMER, 2000). Essas duas características também estão presentes na teoria de educação de Ausubel/Novak, referencial teórico educacional desta pesquisa de mestrado. Entretanto, em sua teoria Ausubel não afirma que a aprendizagem se dá por substituição de conceitos, pelo contrário, conceitos aprendidos significativamente, possivelmente irão permanecer na estrutura cognitiva do indivíduo por toda vida (NOVAK, 1981, p.57). Essa característica de não explicar o processo de aprendizagem como um processo de substituição de conceitos também está presente na noção de perfil epistemológico utilizada por Mortimer em seu trabalho (MORTIMER, 2000), como será visto mais adiante.

Corroborando a afirmação feita no parágrafo anterior de que a aprendizagem significativa não se dá por substituição de conceitos, Greca e Moreira (2003) fazem uma análise crítica do tema mudança conceitual nos últimos vinte anos à luz da teoria de aprendizagem significativa. Neste trabalho os autores argumentam que o conceito de mudança conceitual não é adequado para descrever o processo de evolução do conhecimento de estudantes, onde conceitos pré-existentes que foram aprendidos de maneira significativa evoluem ou dividem espaço com novos conceitos também aprendidos significativamente.

Na seqüência de seu livro Mortimer tece uma crítica às teorias que defendem que a aprendizagem ocorre através de mudança conceitual para, em seguida, discutir a noção de perfil epistemológico de Bachelard. Esta noção está relacionada às diferentes maneiras que os indivíduos podem representar a realidade que os envolve. Para explicar a noção de perfil epistemológico Mortimer

utiliza um exemplo muito instrutivo, dado pelo próprio Bachelard, sobre o conceito de massa (MORTIMER, 2000). A clareza e completude deste exemplo fazem com que ele seja mais uma vez reproduzido, desta vez de forma resumida.

Bachelard divide o perfil epistemológico de seu próprio conceito de massa em cinco categorias ou zonas. A primeira delas é referente a uma visão de massa como o contido em corpos “pesados”, algo facilmente visível e palpável. Essa primeira categoria possivelmente é a única presente na estrutura cognitiva de indivíduos que não tenham tido ainda um grande contato com o conhecimento escolar e que também não desenvolva nenhuma atividade relacionada à medição da grandeza massa através de balanças.

A segunda categoria está ligada à medição da grandeza massa com uma balança. Indivíduos que a utilizem constantemente têm em si guardado o conceito de massa como qualquer coisa que pode ser medida com a balança. É um conceito empírico, um tanto mais elaborado que o anterior.

A terceira categoria refere-se ao conceito de massa inercial, ou seja, a força necessária para causar uma variação de um metro por segundo a cada segundo na velocidade de um objeto. Esse conceito de massa é mais evoluído em pessoas que tiveram uma melhor formação em Física. Um ponto extremamente importante é que o fato de um indivíduo ter desenvolvido o conceito de massa inercial não exclui que em determinadas situações ele utilize os conceitos de massa presentes nas duas primeiras categorias, ou seja, o domínio do conceito de massa inercial não exclui os outros conceitos apresentados anteriormente. Na realidade cada uma dessas zonas do perfil é mais ou menos desenvolvida, de acordo com as atividades desempenhadas por cada indivíduo. No caso do exemplo, a zona mais desenvolvida no perfil de Bachelard é a de massa inercial.

É importante ressaltar que as diferentes zonas ou categorias dividem espaço na estrutura cognitiva do indivíduo, sendo umas mais outras menos evoluídas. As diferentes categorias formam o perfil epistemológico, a respeito de um determinado conceito de um indivíduo.

No exemplo ainda são apresentadas duas categorias para o conceito massa presente no perfil epistemológico de Bachelard. Uma das categorias relativa à massa relativística e a outra ao conceito de massa presente na mecânica de Dirac.

É possível que exista uma relação entre o conceito de perfil epistemológico de Bachelard e os subsunçores da teoria de Ausubel. Com base nesta última, poder-se-ia explicar as categorias presentes no perfil epistemológico do conceito massa do exemplo anterior, como sendo subsunçores que foram sendo desenvolvidos ao longo da vida de um indivíduo de acordo com suas experiências. A existência de um conhecimento mais elaborado do conceito de massa não faz com que em determinadas situações não se atribua massa a objetos “pesados” ou a objetos que possam ser colocados na balança. A existência de um subsunçor relativo ao conceito de massa relativística não exclui o subsunçor desenvolvido empiricamente ao longo de nossas vidas. É possível que estes subsunçores estejam interligados formando um único subsunçor referente ao conceito de massa.

A extensa pesquisa realizada por Mortimer possibilita que ele construa um referencial de análise do processo de ensino tendo por base o sistema vygotskiano, piagetiano e a noção de perfil conceitual. Mortimer defende que os três se complementam e possibilitam visão mais abrangente do processo de construção do conhecimento em sala de aula (MORTIMER, 2000).

Os pontos de vista de Ausubel/Novak não são conflitantes com os de Piaget. *“Do nosso ponto de vista, nenhum conflito operacional existe entre as idéias de Piaget e Ausubel”* (NOVAK, 1981, p.99). Como, segundo Mortimer (2000) as idéias de Piaget e Vygotsky se completam, poder-se-ia, fazendo uma análise baseada em um raciocínio lógico-matemático, afirmar que as idéias de Ausubel/Novak e as de Vygotsky também se complementam. Apesar de inadequada para o conhecimento em questão, a asserção anterior não está em desacordo com a visão do próprio Novak.

*“Meus pontos de vista ausubelianos sobre desenvolvimento cognitivo colocam mais ênfase no desenvolvimento da linguagem. Neste aspecto, Ausubel e eu estamos mais perto do pensamento de Lev Vygotsky (1962) e Benjamin Lee Whorf (1956), que colocam mais ênfase no papel da linguagem na mediação de níveis mais altos de funcionamento cognitivo” (NOVAK, 1981, p.98).*

Com base no referencial teórico que desenvolveu, Mortimer elaborou instrumentos para obter informações relativas ao conhecimento dos estudantes com o objetivo de detectar a evolução de seus perfis conceituais a respeito da teoria atomística da matéria e descrever como ocorre essa evolução durante o processo de ensino (MORTIMER, 2000). Os instrumentos consistem em um pré e um pós-testes aplicados aos alunos antes e depois da experiência didática respectivamente, e na transcrição das falas dos estudantes durante a experiência didática. Mortimer ressalta que os objetivos do pré e do pós-testes são diferentes.

*“Pode-se afirmar, com base nos estudos disponíveis na literatura, que as idéias alternativas dos estudantes sobre o átomo são bastante diferentes dos conceitos científicos. Desse modo, para se avaliar a evolução conceitual não se pode utilizar o mesmo instrumento para medir o conhecimento dos estudantes antes e depois do processo de ensino. No teste que antecede o ensino, busca-se revelar as concepções dos alunos sobre o assunto, de maneira a propiciar o afloramento da maior variedade possível de idéias. Para isso, a elaboração e a análise do pré-teste devem se basear nos tipos de idéias atomistas já detectadas em estudos anteriores. O teste que sucede ao ensino, ao contrário, deve detectar e avaliar se o aluno apresenta a concepção atomística, que é aceita cientificamente, através de sua aplicação na interpretação de fenômenos. Além disso, é importante avaliar a capacidade para generalizar essa concepção e sua*

*estabilidade frente a eventos potencialmente perturbadores”.*  
(MORTIMER,2000. p.183).

Utilizando estes pré e pós-testes e a análise das transcrições dos diálogos estabelecidos em sala de aula, Mortimer conseguiu confirmar a existência de um caminho evolutivo na construção de uma visão científica do atomismo.

Como já foi dito o trabalho de Mortimer (2000) inspirou a elaboração do instrumento de avaliação utilizado nesta pesquisa de mestrado. Na seção seguinte será discutida a preparação do questionário utilizado neste trabalho que, junto com a análise das transcrições dos diálogos estabelecidos em sala de aula durante a experiência didática, compõem o instrumento de avaliação aqui utilizado.

### **3.2 - Preparação do questionário**

Pode-se dizer, de maneira geral, que o que se pretende neste trabalho é comparar conhecimento sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria de alunos da primeira e terceira séries do ensino médio e, após uma experiência didática, verificar se ocorreu uma evolução no conhecimento de um grupo selecionado de estudantes sobre tais assuntos.

O instrumento que será utilizado para verificar os conhecimentos de um grande grupo de estudantes de diferentes escolas sobre os tópicos em questão será um questionário (Anexo C) contendo oito questões discursivas e duas questões objetivas. Para um outro grupo menor de estudantes o instrumento será composto também deste mesmo questionário, aplicado duas vezes, e a análise das transcrições dos diálogos ocorridos em sala de aula durante a experiência didática.

As questões presentes no questionário foram elaboradas com base no que se espera do estudante de ensino médio na área de Física e ciências da natureza

de acordo com as orientações contidas nos Parâmetros Curriculares Nacionais. Os objetivos de cada questão presente no questionário serão discutidos no capítulo seguinte. Este modelo de verificação de aprendizagem, composto por um pré e um pós-testes e da análise das transcrições dos diálogos ocorridos em sala de aula durante a experiência didática, que será descrita mais adiante, foi inspirado no trabalho de Mortimer (2000). A coleta de dados com o questionário foi realizada em duas etapas, cada uma delas com seus objetivos próprios.

Como não foram encontrados na literatura trabalhos de pesquisa onde fossem apresentados dados referentes ao conhecimento de alunos do ensino médio a respeito de modelos atômicos e interação da radiação com a matéria, foi necessária uma primeira sondagem utilizando o questionário com o objetivo de montar uma base de dados sobre o conhecimento de alunos do ensino médio sobre os assuntos envolvidos na pesquisa.

Com base nas recomendações legais (BRASIL, 2002) supõe-se que alunos concluintes do ensino médio tenham conhecimento a respeito da teoria atômica e, caso sejam questionados sobre a composição da matéria, não tenham dificuldades em responder que é composta basicamente por átomos. Entretanto, antes da elaboração do questionário, não se tinha muita clareza a respeito de qual modelo, dentre os mais conhecidos que já existiram ao longo da história, era o mais conhecido pela maioria destes estudantes. Uma suposição era de que o modelo descrito pela mecânica ondulatória e possivelmente o modelo de Bohr não fossem conhecidos pelos alunos.

Uma outra questão que surgiu antes da elaboração do questionário foi sobre quais são as diferenças existentes entre os conhecimentos de alunos recém-ingressos no ensino médio e aqueles que estão prestes a concluí-lo. Decidiu-se, com base nestas questões, que as perguntas que compõem o questionário devem ser bastante abrangentes, de maneira que os estudantes tenham bastante liberdade para expor o máximo de seus conhecimentos sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria. Dessa maneira uma preocupação presente na elaboração do questionário foi relativa à necessidade de

que ele tenha a característica de ser inteligível por qualquer aluno de ensino médio, pois será respondido tanto por alunos da primeira quanto da terceira séries.

Nesta primeira etapa de utilização do questionário um grupo de 380 alunos de primeira e terceira séries de três escolas públicas, grupo controle, o respondeu. As escolas onde estudam os alunos aos quais os questionários foram aplicados são o Liceu de Humanidades de Campos (LHC), o Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos dos Goytacazes (CEFET-Campos) e o Centro Federal de Educação Tecnológica de Leopoldina, Minas Gerais (CEFET-Leopoldina). Os objetivos desta primeira aplicação do questionário são os seguintes:

- Diagnosticar os conhecimentos de alunos da primeira e terceira séries do ensino médio das escolas públicas relacionadas anteriormente sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria;
- Fazer uma análise comparativa entre os conhecimentos dos alunos da primeira e terceira séries sobre os temas em questão;
- Formar uma base de dados que servirá de comparação para a análise da eficácia da experiência didática que será realizada com os alunos do grupo experimental;
- Fornecer informações que possam auxiliar na elaboração de estratégias de ensino, assim como no esclarecimento sobre questões que terão de ser mais ou menos enfatizadas durante a interação com os alunos do grupo experimental.

Para elaboração das questões que compõem o questionário foi feita uma pesquisa em livros do ensino médio (RUSSEL, 1994; HALLIDAY, 1995; ROCHA, 2002; NUSSENZVEIG, 1997; CALLISTER JR., 2002; HALL, 1970; GREF, 1999;

CABRAL e LAGO, 2002; GASPAR, 2000 e ALVARENGA E MÁXIMO, 2000) com o objetivo de obter algumas idéias sobre possíveis abordagens do tema e também de adequar a linguagem das questões ao ensino médio.

Após a elaboração das questões o questionário foi analisado por três professores de Química e Física da UENF e, também, respondido por alunos do ensino médio participantes de projetos de pré-iniciação científica, com o objetivo detectar possíveis erros ou inconsistências e avaliar sua inteligibilidade. Algumas poucas modificações foram sugeridas com relação a possíveis confusões que poderiam ocorrer com as duas questões objetivas, o que se buscou melhorar. Um professor da UENF alertou para a complexidade das explicações de dois fenômenos, fosforescência e transparência, envolvidos em duas questões. Entretanto, esperam-se respostas a essas questões em um nível bastante elementar, adequado ao ensino médio, não sendo esperado que o estudante domine todas as nuances das explicações envolvidas em tais fenômenos.

Terminada a elaboração do questionário a etapa seguinte foi sua aplicação aos alunos componentes dos grupos controle e experimental. Os resultados da análise das respostas dadas por estes alunos auxiliaram a elaboração da experiência didática como será discutido mais adiante. Esses resultados serão apresentados e discutidos em maior profundidade no próximo capítulo.

Uma semana após a experiência didática o questionário foi respondido novamente, agora somente com o grupo experimental. Apesar da utilização do mesmo instrumento, essa segunda etapa de aplicação do questionário tem objetivos distintos da primeira. Nesta etapa busca-se obter informações sobre a eficácia da experiência didática com os alunos do grupo experimental. Essa eficácia vai ser analisada através da comparação entre as respostas dos estudantes do grupo experimental e do grupo controle.

Devido à abrangência das perguntas presentes no questionário ele pode ser usado como pré e pós-testes, pois atendia aos distintos objetivos destas duas etapas. O objetivo desta segunda etapa de aplicação do questionário é:

- Verificar se o conhecimento sobre modelos atômicos dos estudantes do grupo experimental apresentam uma evolução em relação às suas concepções iniciais e comparar esses resultados com aqueles obtidos pelos estudantes da terceira série do grupo controle. O alcance desse objetivo é um indicativo da eficácia da experiência didática.

Questões mais específicas sobre o questionário como, por exemplo, a análise dos objetivos de cada uma das questões, serão apresentadas no próximo capítulo junto com os resultados da análise das respostas dadas pelos alunos aos pré e pós-testes. Na seção seguinte serão apresentados e discutidos aspectos referentes ao planejamento da experiência didática.

### **3.3 - Preparação da experiência didática**

A experiência didática foi realizada com um grupo de alunos de uma turma de terceira série do ensino médio do Colégio Estadual Dr. Barros Barreto. Esta experiência foi planejada tendo como referencial teórico a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. Durante a experiência foram utilizados como recursos didáticos seis vídeos educativos da Série Estrutura do Átomo, da TV Ontário, Toronto, Canadá, e dois experimentos elaborados com materiais de baixo custo. Nesta seção serão apresentados os aspectos relevantes envolvidos na preparação da experiência didática. No final desta seção serão apresentados e discutidos aspectos relativos aos vídeos e experimentos utilizados na experiência didática. Aspectos relativos à sua execução serão apresentados e discutidos no próximo capítulo.

A experiência foi realizada em dois encontros de duas horas/aula cada e seu objetivo geral foi o seguinte:

- Apresentar a evolução histórica dos modelos atômicos de maneira potencialmente significativa, enfatizando os modelos de Bohr e o descrito pela mecânica quântica, que explicam aspectos da emissão e absorção de radiação pela matéria.

Os objetivos específicos a serem alcançados com a experiência didática são os seguintes:

- Possibilitar que os alunos reconheçam o modelo atômico aceito atualmente;
- Possibilitar que os alunos percebam de maneira prática as pequenas dimensões atômico-moleculares, de maneira que o conhecimento que eles tem a respeito das minúsculas dimensões atômicas torne-se mais diferenciado;
- Possibilitar a aprendizagem a respeito dos modelos explicativos utilizados pela ciência;
- Possibilitar a aprendizagem a respeito das transições que ocorrem em nível atômico de maneira que os alunos sejam capazes de identificar fenômenos onde elas estão envolvidas;
- Permitir que os alunos, após a experiência, sejam capazes de perceber em diversas situações as diferentes interações que ocorrem entre diferentes tipos de radiação com diferentes tipos de matéria;
- Permitir que os alunos reconheçam que cada tipo de átomo emite um tipo de radiação característico, e que essa radiação pode ser utilizada para identificá-los;

A elaboração da experiência didática começou com a análise das respostas dos alunos na sondagem inicial realizada com o questionário. Essa análise indicou que a quase totalidade dos alunos do ensino médio participantes da pesquisa não têm nenhum conhecimento sobre os modelos atômicos de Bohr e mecânico ondulatório. Esse não conhecimento ocasiona um outro desconhecimento também detectado com o questionário, relativo à incompreensão de uma grande quantidade de fenômenos cotidianos e também presentes em tecnologias utilizadas atualmente.

Essas constatações confirmaram uma suposição inicial de que os alunos possivelmente não teriam conhecimento sobre os modelos mais recentes sobre a estrutura do átomo. Por esse motivo, apresentar a evolução dos modelos atômicos enfatizando os modelos de Bohr e mecânico ondulatório, necessários para o entendimento dos fenômenos e tecnologias citados anteriormente, torna-se ainda mais relevante, o que motivou ainda mais a realização do trabalho.

O passo seguinte foi elaborar um mapa conceitual com o objetivo de organizar hierarquicamente os conceitos presentes na experiência didática, de maneira que se pudesse ter maior clareza sobre sua execução. O mapa será utilizado como um instrumento de auxílio à preparação da experiência didática, não é objetivo utilizá-lo diretamente durante a experiência, pois para esta utilização seria necessária uma familiaridade prévia dos alunos com tais mapas (BUCHWEITZ e MOREIRA, 1987). A construção do mapa seguiu os passos descritos anteriormente no capítulo dois desta dissertação.

Primeiramente, foram listados os conceitos considerados mais importantes que estavam envolvidos com os temas que seriam apresentados aos estudantes. Esta listagem inicial não pressupõe uma ordem e nem tem a pretensão de ser completa e é a seguinte: *teoria atômica da matéria, modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr e mecânico ondulatório, energia, núcleo, eletrosfera, elétrons, prótons, nêutrons, radiações alfa, beta, gama, X, ultravioletas, visíveis, infravermelhas, ondas de rádio, microondas, transições eletrônicas, usos tecnológicos*. Muitos outros conceitos caberiam nesta lista. Na realidade poderia

se formar uma grande rede de conceitos e relações que acabariam ficando além das possibilidades de trabalho desta pesquisa. Por exemplo, aspectos matemáticos envolvidos nos temas que serão apresentados na experiência didática, não serão considerados, pois optou-se por uma abordagem conceitual.

O passo seguinte para a confecção do mapa conceitual é a arrumação hierárquica dos conceitos. É importante ressaltar que um mapa conceitual carrega em si a visão que a pessoa que o confeccionou tem a respeito do tema apresentado no mapa (BUCHWEITZ e MOREIRA, 1987). Por esse motivo, mapas conceituais sobre um mesmo assunto, porém elaborados por diferentes pessoas terão características diferentes. Dessa maneira, o mapa apresentado neste trabalho representa a visão do seu autor sobre o assunto, não podendo nem devendo ser encarado como o mapa conceitual sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria, mas sim, como um dos possíveis mapas sobre estes assuntos.

Após percorrer a seqüência de passos para elaboração do mapa conceitual, chegou-se à estrutura apresentada na figura 3.1. Nessa estrutura está indicada a seqüência de apresentação e discussão dos conceitos para os alunos durante a experiência didática. Optou-se pela abordagem do tema a partir de sua evolução histórica, pois se concorda com Castro (2004) e Peduzzi (2001) quando defendem que o uso da história da ciência propicia a construção de uma visão mais real da Ciência. Acredita-se também que o uso de elementos históricos torna o conteúdo mais atrativo aos estudantes, o que pode influenciar positivamente a sua aprendizagem. Pode-se argumentar ainda que o uso da história da ciência é justificado pelos anseios legais, como fica claro na citação a seguir.

*“(...) é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado a outras formas de expressão e produção humanas.(...) Ao propiciar esses conhecimentos o aprendizado da Física promove a articulação de toda uma visão de mundo, de uma compreensão*

*dinâmica do universo, mais ampla do que o nosso entorno material imediato, capaz portanto de transcender nossos limites temporais e espaciais. Assim, ao lado de um caráter mais prático a Física revela também uma dimensão filosófica, com uma beleza e importância que não devem ser subestimadas no processo educativo” (BRASIL,1999, p.229).*

Com o objetivo de tornar o a experiência didática ainda mais atrativa para os alunos selecionou-se uma série de vídeos educativos sobre o tema (os vídeos serão descritos mais adiante). O uso desse recurso áudio-visual causa uma maior motivação nos aprendizes com relação à aprendizagem do conteúdo (BUCHWEITZ ,1997, BUCHWEITZ e VERGARA, 1999, BUCHWEITZ, et all 2000). Essa motivação é essencial para a ocorrência de aprendizagem (NOVAK, 1981).

A experiência didática contou com duas atividades experimentais. Estas atividades não terão o objetivo de verificar nenhuma lei ou teoria, nem ensinar o método científico ou desenvolver habilidades práticas. Os experimentos que serão realizados são bastante simples e o objetivo de suas utilizações é facilitar a aprendizagem e compreensão de conceitos, gerando uma oportunidade para que os alunos expressem suas concepções, possibilitando uma maior interação entre professor e alunos e também entre os próprios alunos.

Durante a realização da experiência didática a seqüência de realização das atividades foi a seguinte:

Nos quarenta minutos iniciais tanto da primeira quanto da segunda aulas foram assistidos os três primeiros e os três últimos episódios da série de vídeos, respectivamente. Cada um dos episódios tem uma duração aproximada de nove minutos. Em seguida o professor estimulou a participação dos estudantes através de algumas perguntas sobre o assunto apresentado nos vídeos. Esperava-se que os alunos participassem com questionamentos, permitindo a discussão em maior profundidade dos conceitos apresentados nos vídeos e esclarecendo pontos que



não tivessem sido bem entendidos. Essa discussão poderia se estender por aproximadamente vinte minutos, pois em seguida seria apresentado em cada uma das aulas um experimento.

No experimento apresentado na primeira aula foi medido o tamanho aproximado de uma película de óleo espalhada sobre a água. No pré-teste a maior parte dos alunos respondeu corretamente a uma questão que perguntava sobre as dimensões atômicas. Mesmo assim optou-se por apresentar este experimento, pois ele apresenta uma maneira muito simples de medir, de maneira aproximada, uma coisa muito pequena, algo que não é comumente feito em nosso dia-a-dia. Os resultados que são obtidos com este experimento são muito instrutivos e podem tornar mais diferenciados os conhecimentos dos alunos a respeito das dimensões atômicas.

O experimento apresentado na segunda aula foi relativo a uma técnica chamada espectroscopia. Nele a luz branca emitida pelo Sol é decomposta e com o auxílio do papel celofane algumas das cores do espectro solar são absorvidas. Esse experimento permite a observação e discussão do fenômeno de absorção da radiação pela matéria além de estimular uma discussão sobre o espectro de emissão e absorção dos elementos. Essa discussão foi ilustrada por algumas imagens de espectros de emissão e absorção de alguns elementos apresentadas em uma transparência.

No fim da aula foram utilizadas algumas transparências (Anexo B) contendo todos os conceitos presentes no mapa conceitual. A estrutura que os conceitos são apresentados na transparência é a mesma apresentada no mapa conceitual.

### **3.4 - Os vídeos**

A série de vídeos apresentados durante a experiência didática é uma produção da TV Ontário do Canadá. Eles consistem em seis episódios animados

de aproximadamente nove minutos cada um, onde a partir da do atomismo de Demócrito, é apresentado o desenvolvimento histórico da teoria atômica.

No primeiro episódio - "*Os primeiros modelos*" – o autor inicia com duas questões: "*Será que tudo pode ser quebrado em metades para sempre ou será que encontraremos algo tão pequeno que não pode ser mais dividido?*" Essa questão é apresentada como motivadora para a criação da teoria atomista da matéria pelo filósofo grego Demócrito. Na seqüência o autor discute alguns motivos que levaram o atomismo de Demócrito a ficar esquecido por aproximadamente dois mil anos. Depois de todo esse tempo, a prática da alquimia os avanços no conhecimento sobre a eletricidade e os trabalhos de Proust culminaram na proposta atomista de Dalton.

No episódio seguinte - "*Menor que o Menor*" – São apresentados avanços experimentais que culminaram com a descoberta do elétron que foi incorporado por Thomson em seu modelo atômico conhecido como pudim de passas. No terceiro episódio – "*O modelo de Rutherford*" - avanços no conhecimento de materiais radioativos permitiram a idealização por Rutherford de um experimento com o objetivo de sondar a estrutura atômica. Os resultados desse experimento indicaram a existência de uma concentração de massa positiva no centro do átomo. Rutherford então propôs um modelo atômico onde um núcleo positivo é orbitado por elétrons negativos. Entretanto, seu modelo era inconsistente com a teoria eletromagnética clássica, o que fez com que seu modelo tivesse de ser aperfeiçoado.

No quarto episódio – "*O modelo de Bohr*" – são apresentados e discutidos os postulados de Bohr sobre a dinâmica atômica, que foram feitos baseados na quantização da energia e no efeito fotoelétrico. O modelo de Bohr conseguiu explicar as frequências de emissão do elemento Hidrogênio, o que foi um grande feito, pois não existia uma explicação para esse fenômeno há muito conhecido. Porém, o modelo de Bohr não explicava a intensidade das linhas do espectro do Hidrogênio e falhava também quando era aplicado a outros elementos.

No penúltimo episódio – "*Espectros*" - é apresentada uma discussão sobre espectros de emissão e absorção dos elementos e como esses espectros se

relacionam com o átomo de Bohr. No último episódio – “O modelo mecânico ondulatório” – são apresentados aspectos da nova Física desenvolvida com o intuito de explicar também os fenômenos em nível atômico, haja vista que a Física Clássica falha quando aplicada a fenômenos nessa escala. Com base no princípio da incerteza o autor alerta sobre a impossibilidade de se atribuir trajetórias a objetos microscópicos. O modelo atômico de Bohr prevê que os elétrons orbitam o núcleo atômico em trajetórias definidas, o que é inconsistente com a nova teoria quântica. Com base nisso é apresentado o modelo atômico aceito até os dias de hoje, onde ao invés de trajetórias são representadas as diferentes densidades de probabilidade de se encontrar os elétrons em torno do núcleo atômico para cada estado permitido para o átomo.

### **3.5 – Experimento 1 - Medindo a espessura de uma película de óleo**

Aqui será apresentado um experimento realizado na primeira aula da experiência didática. Ela é bastante simples e de fácil realização e foi extraída de uma conversa entre os personagens Sherlock Holmes e seu inseparável amigo Watson presente no livro *As aventuras científicas de Sherlock Holmes* (BRUCE, 2002). Nela será medida a espessura de uma película de óleo que flutua sobre a água. Todas as fotografias apresentadas para ilustrar o experimento foram tiradas com uma máquina fotográfica digital pelo próprio autor dessa pesquisa. Os objetivos desse experimento durante a sua realização na experiência didática foram:

- Permitir que os alunos compreendessem que é possível medir, mesmo que de maneira indireta as dimensões de objetos muito pequenos, que escapam a nossos sentidos;
- Estimular a participação dos alunos;
- Despertar ou aumentar o interesse dos alunos pelo assunto.

### 3.5.1 - Materiais utilizados

- Uma seringa descartável;
- Dois potes de margarina vazios e bem limpos. Facilita a realização do experimento se os potes tiverem tamanhos diferentes. Um deles, o maior, será usado somente para agitar a água fazendo com que o óleo se espalhe sobre ela. Os potes usados aqui tinham um formato aproximado do um paralelepípedo e a matemática envolvida na experiência está de acordo com o seu formato;
- Óleo. O melhor resultado foi conseguido com óleo retirado de motores de automóveis, que pode ser conseguido facilmente em oficinas ou postos de gasolina. A quantidade necessária no experimento é uma pequena gota;
- Uma régua milimetrada;
- Água de torneira.

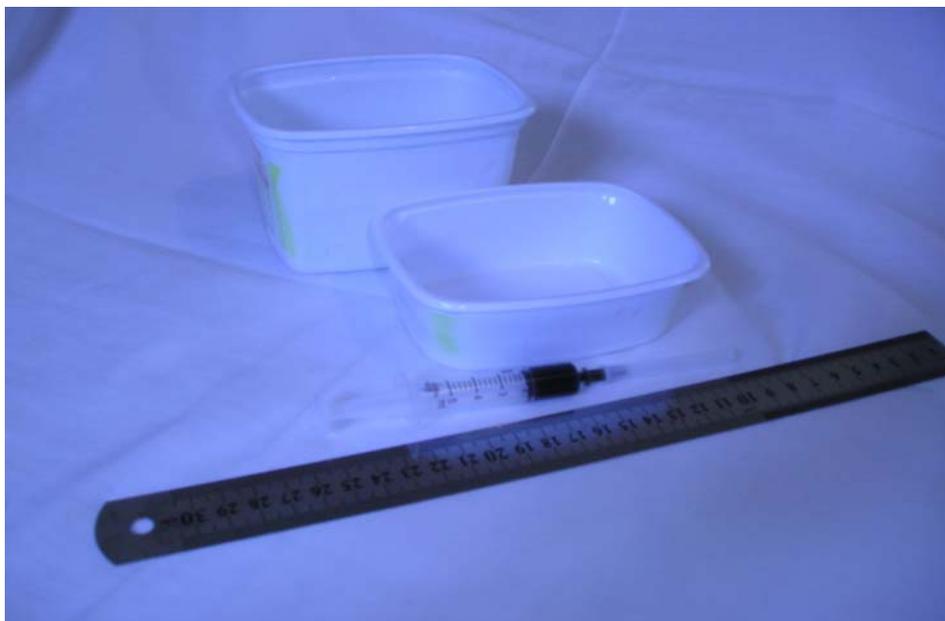


Figura 3.2: Materiais utilizados no experimento medindo a espessura de uma película de óleo.

### 3.5.2 - Passos para a realização do experimento

1. Meça com a régua e anote a largura  $L$  e o comprimento  $C$  da borda do pote menor;
2. Com água da torneira encha até a borda o pote menor de margarina;
3. Com o óleo já na seringa, e utilizando a régua, consiga uma pequena gota de óleo de aproximadamente 1mm de diâmetro na ponta da agulha. Será considerado que a gota tem a forma esférica, o que para suas dimensões é uma boa aproximação;
4. Encostando a ponta da agulha transfira a gota de óleo para a superfície da água. A gota começará a se espalhar lentamente. Para que o óleo se espalhe por toda a superfície da água, usando o pote maior, mexa bastante na água e no óleo até que todo o óleo se espalhe pela superfície da água;
5. Recoloque a água com o óleo no pote menor; A partir de agora só será possível ver o óleo ao se olhar obliquamente para a superfície da água;
6. Usando o modelo matemático desenvolvido a seguir calcule a espessura da camada de óleo sobre a água.

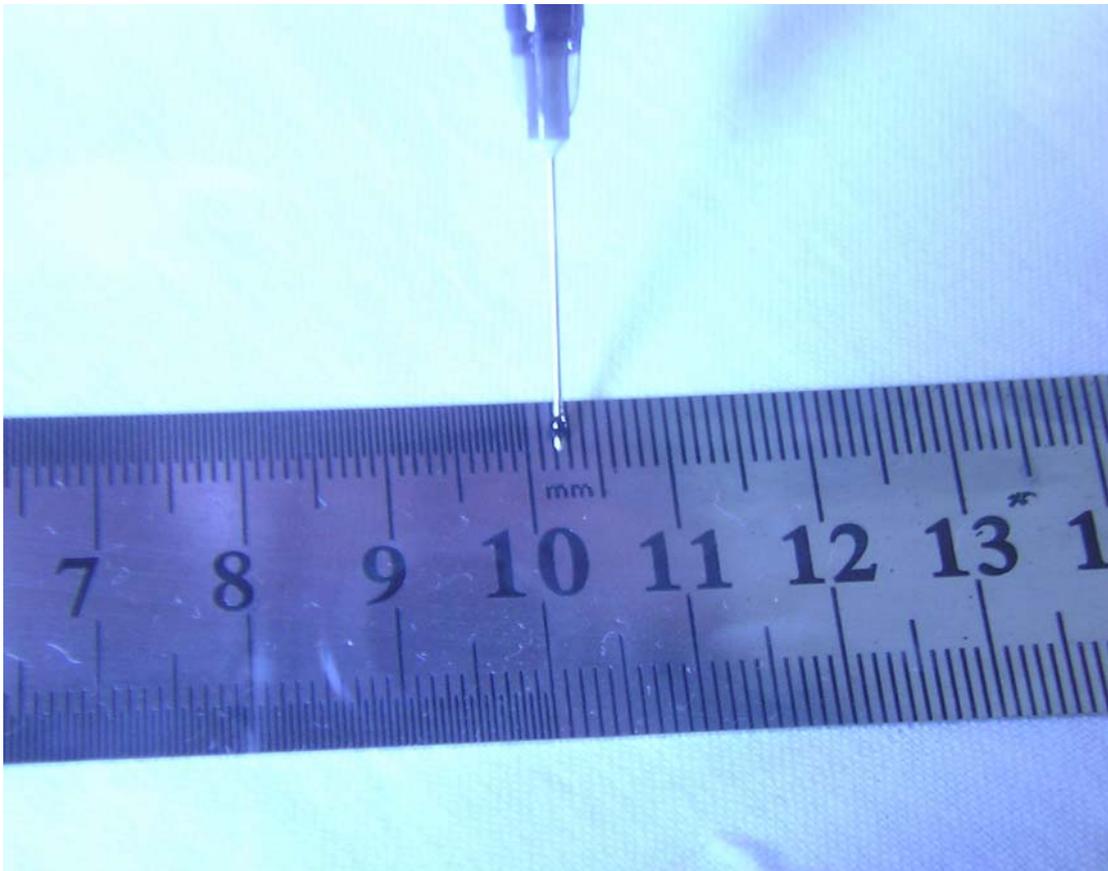


Figura 3.3: Medindo o diâmetro da gota de óleo.

### 3.5.3 - Modelo matemático

Para calcular a espessura ( $h$ ) da camada de óleo formada sobre a água será considerado que a gota de óleo depositada sobre a água tinha o formato esférico. Com base nessa aproximação e sabendo que o raio ( $R$ ) da gota é igual à metade do seu diâmetro ( $D$ ), que foi medido diretamente com a régua, o volume ( $V_g$ ) de óleo presente na gota é igual ao volume de uma esfera de raio  $R$ , que pode ser calculado através da seguinte relação:

$$V_g = \frac{4}{3} \pi R^3$$

Supondo que todo o volume de óleo contido na gota se espalhou sobre a superfície da água, esse óleo tem agora o formato de um paralelepípedo de comprimento (C) e largura (L) iguais ao comprimento e a largura do pote de margarina respectivamente e altura (h) igual a espessura da camada de óleo sobre a água. O volume ( $V_p$ ) do paralelepípedo é obtido através da seguinte relação:

$$V_p = CLh$$

Como o volume da gota de óleo é igual ao volume do paralelepípedo formado pelo óleo sobre a água pode-se escrever:

$$V_p = V_g$$

$$CLh = \frac{4}{3} \pi R^3$$

De onde se obtêm que:

$$h = \frac{4}{3} \pi R^3 / CL$$

No experimento realizado na experiência didática obteve-se uma espessura para a gota de óleo aproximadamente igual a  $5 \times 10^{-8}$  metro. Considerando que o diâmetro atômico médio é da ordem de  $10^{-10}$  metro e que uma molécula de óleo é composta por alguns átomos, o resultado obtido através da experiência é muito satisfatório, apesar de sua simplicidade.

### 3.6 – Experimento 2 - Espectrômetro

Aqui será apresentada uma atividade realizada na segunda aula da experiência didática. Ela consiste na observação do espectro solar utilizando um espectrômetro feito com materiais de baixo custo. Existem diferentes tipos de espectrômetros, o utilizado neste trabalho pode ser definido como um aparelho que serve para decompor as cores presentes em um determinado feixe de luz (CABRAL e LAGO, 2002). A construção dos espectrômetros utilizados na atividade foi baseada em Cabral e Lago (2002).

Os objetivos que se desejava alcançar com a atividade utilizando o espectrômetro eram os seguintes:

- Permitir que os alunos compreendessem que é possível decompor o espectro de radiação eletromagnética emitida pelo Sol;
- Permitir que os alunos compreendessem que alguns materiais, devido às suas composições atômico-moleculares, são capazes de absorver algumas cores do espectro solar e outras não, sendo essa capacidade de absorção e emissão seletiva de radiação uma característica dos níveis de energia atômico-moleculares do material;
- Auxiliar na explicação sobre a utilização do espectrômetro para realizar, através da radiação emitida ou absorvida pelo material, a identificação dos átomos e moléculas que o compõem;
- Estimular a participação dos alunos;
- Despertar ou aumentar o interesse dos alunos pelo assunto.

### 3.6.1 - Materiais utilizados

Na atividade realizada foram levados dez espectrômetros prontos, de maneira que os alunos não participaram de sua confecção. Para a construção destes espectrômetros são necessários os seguintes materiais:

- Um CD;
- Cartolina preta;
- Cola ou fita adesiva;
- Papel celofane de várias cores;
- Tesoura, régua.



Figura 3.4: Materiais utilizados na confecção do espectrômetro.

### 3.6.2 - Passos para a confecção do espectrômetro

1. Corte a cartolina e cole o pedaço do CD conforme representado na figura 3.5;
2. Monte uma caixinha como representado na figura 3.6.

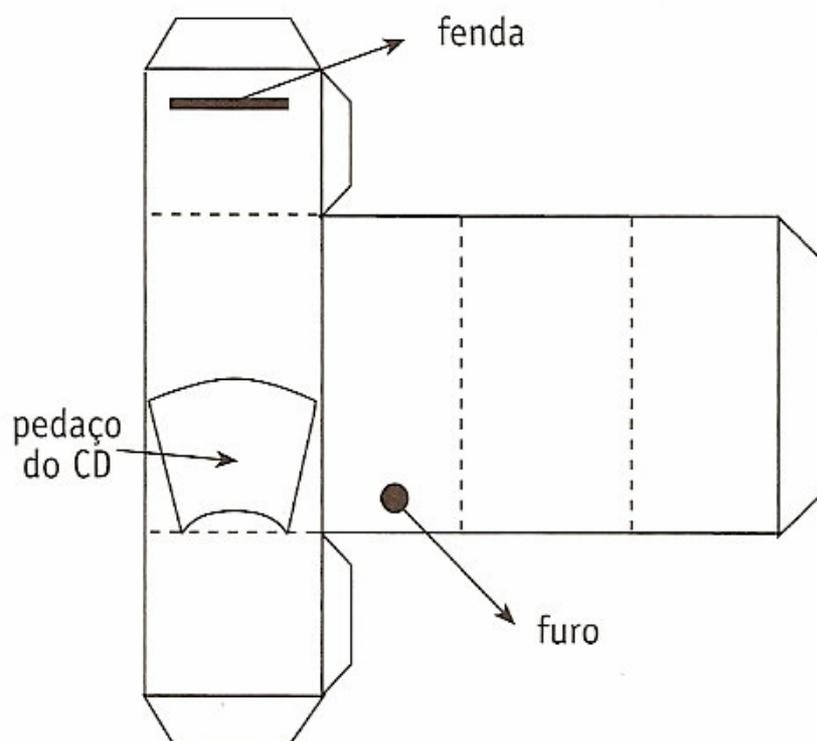


Figura 3.5: Montagem do espectrômetro. Figura extraída de (CABRAL e LAGO, 2002, p. 528).



Figura 3.6: Visão exterior do espectrômetro. As fotografias dos espectros apresentadas neste trabalho foram tiradas acoplando uma máquina digital no orifício superior do espectrômetro.

### 3.6.3 - Como usar o espectrômetro

Aponte a fenda do espectrômetro para uma fonte de luz como, por exemplo, o Sol e, olhando através do orifício, observe a decomposição de sua luz em um espectro de cores semelhantes aos do arco-íris (Figura 3.8).

Cubra com papel celofane de diferentes cores e observe que a fenda por onde entra a luz. Quando isso é feito, por exemplo, com papel celofane azul, observa-se um escurecimento das regiões onde incidiam as outras cores, permanecendo visível somente a luz azul. Isso acontece porque o papel celofane azul tem um coeficiente de absorção alto para cores diferentes do azul e um coeficiente de absorção baixo para a cor azul, isso se deve à composição química

do(s) corante(s) utilizado(s) na fabricação do papel. Isso faz com que uma parte da radiação de frequência referente a cor azul seja transmitida através do papel e a outra parte seja refletida. Essa explicação é válida também para os papéis de outras cores.

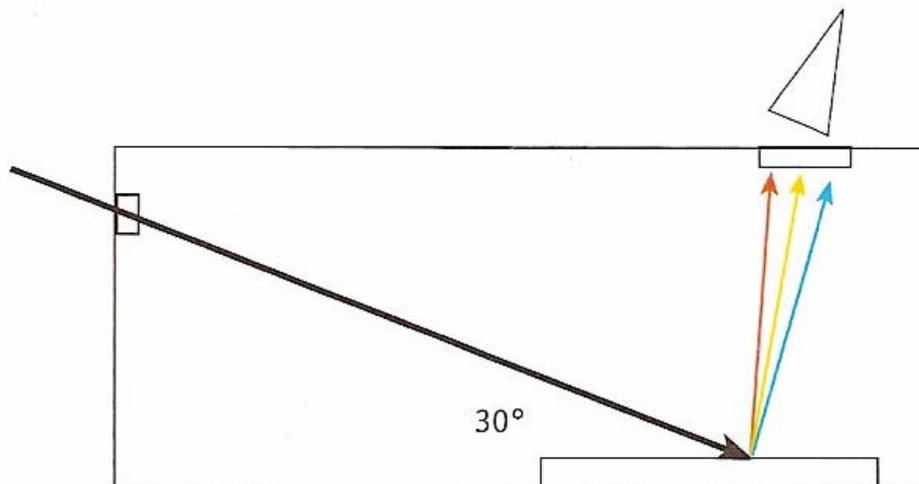


Figura 3.7: Representação do funcionamento do espectrômetro. Figura extraída de (CABRAL e LAGO, 2002, p. 528).

Abaixo são apresentadas algumas fotografias obtidas com o espectrômetro apontado para o Sol e coberto com papel celofane de diferentes cores. Com essas fotografias encerra-se este capítulo. No capítulo seguintes serão apresentados e discutidos aspectos relacionados à execução da experiência didática e os resultados obtidos com os pré e pós-testes.

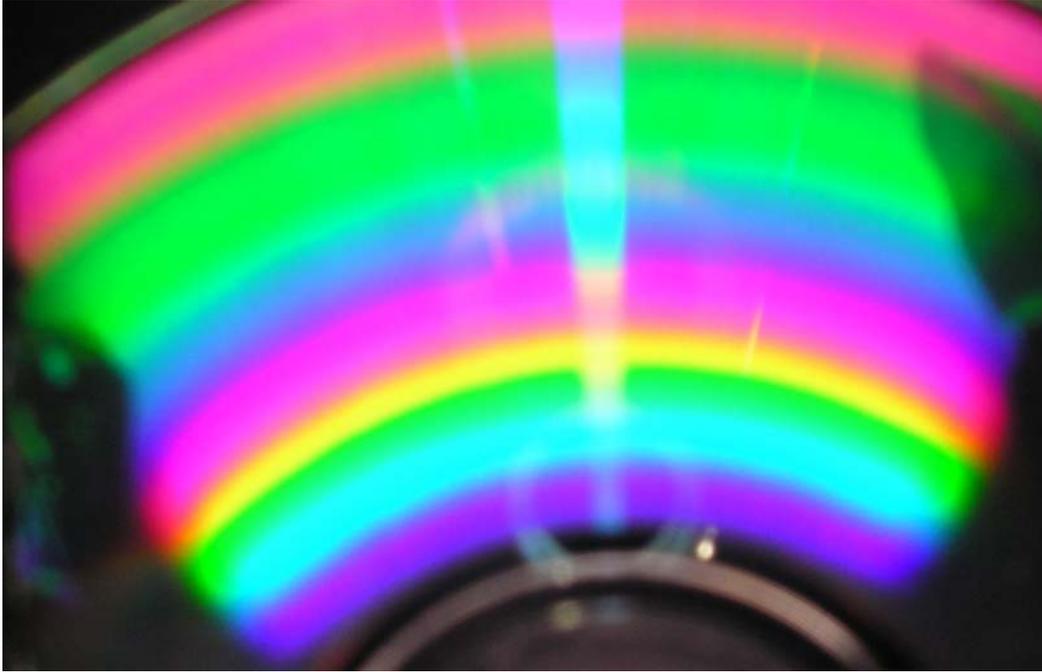


Figura 3.8: Imagem do espectro solar obtida com o espectrômetro.

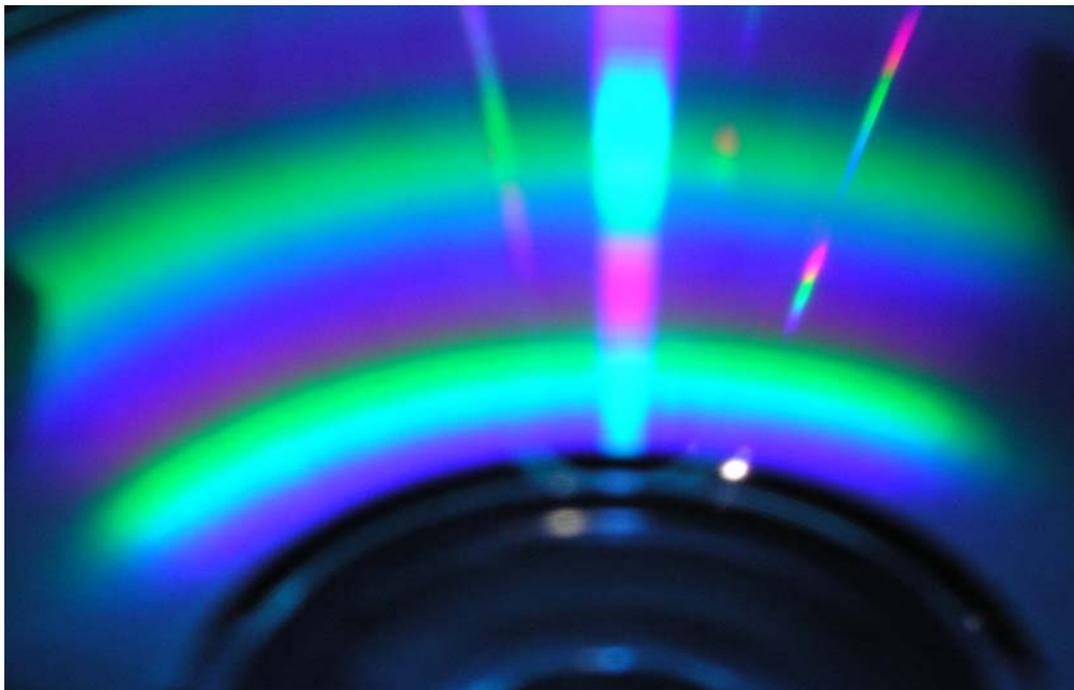


Figura 3.9: Imagem do espectro solar obtida com o espectrômetro coberto com celofane azul.

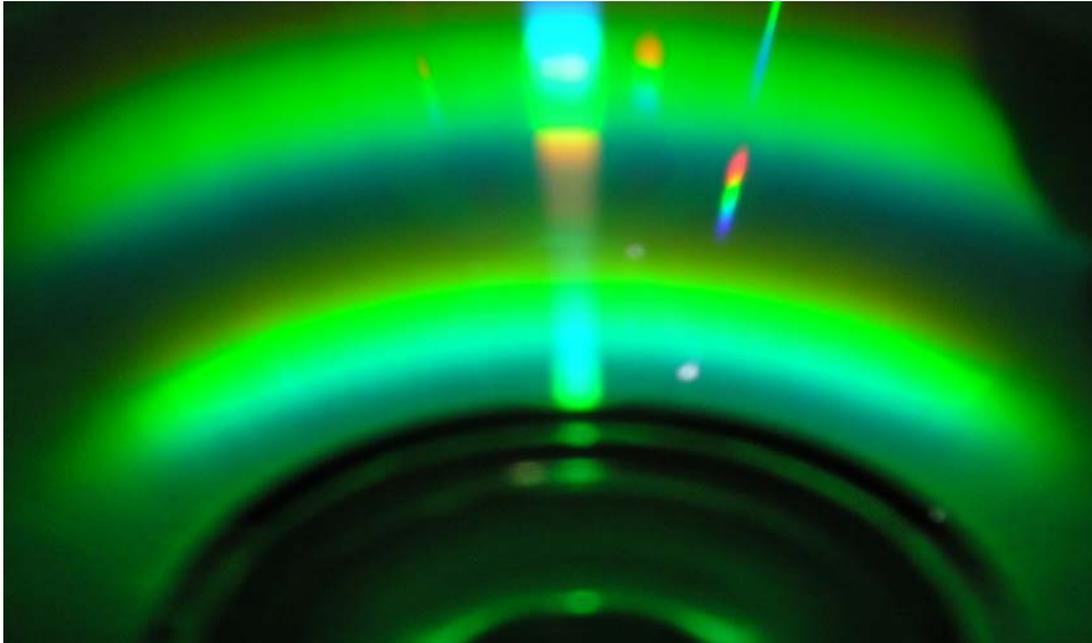


Figura 3.10: Imagem do espectro solar obtida com o espectrômetro coberto com celofane verde. Observe que a cor vermelha foi a mais atenuada.

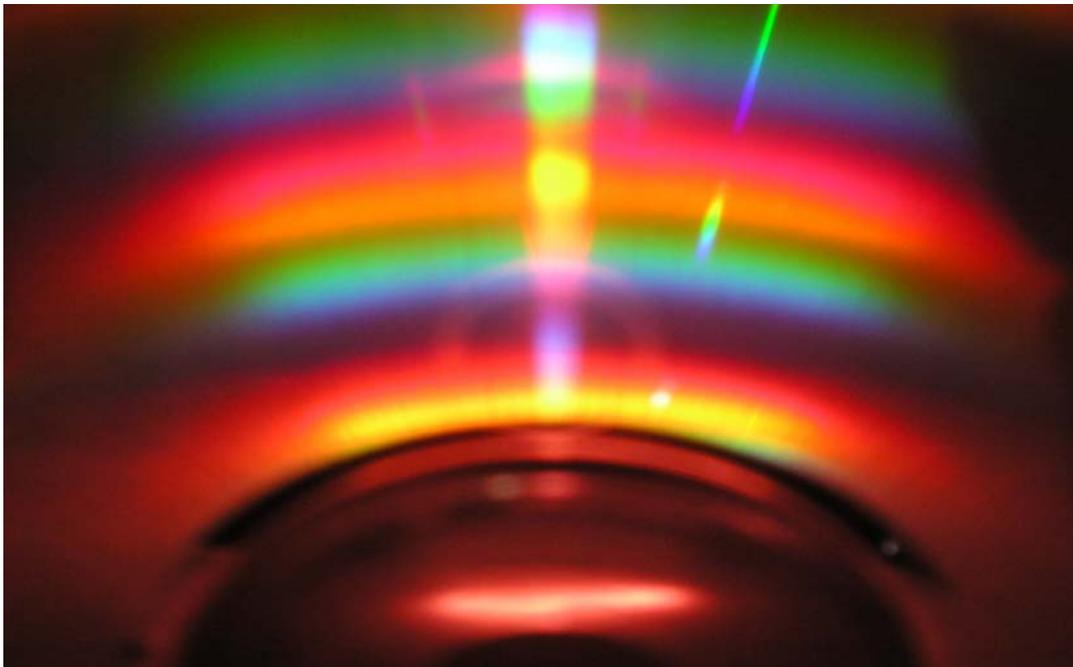


Figura 3.11: Imagem do espectro solar obtida com o espectrômetro coberto com celofane vermelho. Observe que as outras cores não foram absorvidas totalmente.

## **CAPÍTULO 4 – Análise dos resultados**

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados desta pesquisa. Estes resultados foram obtidos confrontando os dados colhidos na interação com dois tipos de grupos participantes: grupo controle e grupo experimental. O grupo controle apenas respondeu ao questionário elaborado para levantamento das concepções dos estudantes sobre o tema selecionado. O grupo experimental participou de uma experiência didática sobre o tema e respondeu ao mesmo questionário duas vezes, antes (pré-teste) e depois (pós-teste) da experiência.

Participaram do grupo controle 205 estudantes da primeira série e 175 estudantes da terceira série do ensino médio de três escolas públicas: Liceu de Humanidades de Campos (LHC), Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos (CEFET – Campos) e Centro Federal de Educação Tecnológica unidade de Leopoldina, Minas Gerais (CEFET – Leopoldina). As respostas foram confrontadas com a finalidade de verificar se houve aprendizagem destes estudantes sobre o tema, durante os dois anos do ensino médio.

Participaram do grupo experimental 39 estudantes, da terceira série, do Colégio Estadual Doutor Barros Barreto (CEBB). Os resultados do pré-teste e pós-teste foram confrontados entre si e com os resultados da terceira série do grupo controle.

Inicialmente serão apresentados os resultados do questionário obtidos com o grupo controle, através de gráficos, que informam o percentual médio obtido por questão e por série, pelos alunos das quatro escolas. Vale lembrar que um dos objetivos do questionário é comparar o conhecimento sobre os temas modelos atômicos e interação da radiação com a matéria de alunos recém ingressos no ensino médio com o conhecimento de alunos concluintes deste nível de ensino. Por isso foi deixada para este capítulo uma discussão individualizada das questões presentes no questionário. Apesar do questionário completo constar no anexo C, com o objetivo de facilitar a discussão e leitura do texto, cada questão será apresentada novamente durante sua discussão.

Após a discussão dos resultados do grupo controle, serão também apresentados e discutidos os resultados do grupo experimental, do pré-teste e do pós-teste. Os resultados do pós-teste do grupo experimental serão comparados também com os resultados gerais, por questão, obtidos pelo grupo controle. Todos os dados obtidos podem ser consultados nas tabelas colocadas no anexo A. Lá os dados estão separados por escola. Alguns elementos observados nos dados, que se devem possivelmente a especificidades de cada escola, serão trazidos para o texto, entretanto os resultados apresentados pelos gráficos não farão a distinção entre escolas. Encerrando o capítulo será feita uma análise qualitativa dos diálogos estabelecidos durante a experiência didática.

Antes de começar a análise dos resultados, na próxima seção, será feita uma discussão sobre as categorias em que foram classificadas as respostas dos alunos, dos dois grupos, ao questionário. Essa discussão em separado tem o objetivo de facilitar a apresentação dos resultados.

#### **4.1 – Sobre a categorização das respostas**

Como o questionário é composto em sua maioria por respostas discursivas, optou-se por definir logo de início as categorias em que estas respostas serão enquadradas, em cada questão, tornando mais fácil a apresentação dos resultados e, espera-se, o mais inteligível possível.

Com exceção das questões 2, 3 e 4, as respostas dadas pelos alunos a cada uma das outras questões serão categorizadas da seguinte maneira:

- **Resposta correta (RC):** Nesta categoria serão enquadradas todas as respostas que informarem os elementos considerados essenciais em cada questão. Esses elementos serão apresentados e discutidos em cada uma das questões.

- **Parcialmente correta (PC):** As respostas que contiverem elementos que, apesar de não a promoverem à categoria de correta, estejam de acordo com o conhecimento requerido na questão, serão categorizadas como parcialmente corretas. Em cada caso serão apresentados os critérios utilizados na categorização;
- **Resposta incorreta (RI):** As respostas que discordarem da categoria anterior;
- **Respostas confusas:** É muito provável, com base na experiência como professor, que existam respostas que não tenham um significado para o leitor, de forma que não seja possível enquadrá-la em nenhuma das três primeiras categorias;
- **Não respondeu:** Questões em branco não serão enquadradas na categoria de respostas erradas, pois o estudante pode não ter respondido a questão por algum motivo diferente de não saber a resposta como, por exemplo, falta de tempo para responder todas as questões. Para tentar minimizar este fator serão dados cinquenta minutos para que os alunos possam responder ao questionário, o que dá uma média de cinco minutos por questão. Acredita-se que este tempo seja bastante suficiente, ele foi estipulado quando o questionário foi respondido por alunos de ensino médio que não estavam participando de nenhum dos grupos analisados.

As duas últimas categorias são bem gerais e não serão mais mencionadas, pois o exposto se aplica a todas as referidas questões. Doravante só será especificado o que será considerado como resposta correta, resposta parcialmente correta e resposta incorreta em cada uma das sete referidas questões. As duas últimas categorias, respostas confusas e não respondeu, foram apresentadas nos gráficos como uma única categoria,

chamada de **Outros**. Porém nas tabelas do anexo A elas são apresentadas separadamente.

Para as questões objetivas só caberá obviamente a primeira ou a terceira categoria. As questões onde nenhuma ou mais de uma das alternativas forem marcadas serão consideradas incorretas. As características da segunda questão, que difere das demais, serão discutidas mais adiante.

## **4.2 – Análise dos resultados obtidos com o grupo controle**

Após o planejamento e elaboração do questionário ele foi respondido por um grupo de 380 alunos de primeira e terceira séries de três colégios públicos com o objetivo de obter as concepções desse grupo de alunos sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria. Esse grupo de alunos foi denominado de grupo controle e suas concepções sobre os temas citados anteriormente serviram como uma base de dados para comparação com o conhecimento dos alunos do grupo experimental que será apresentado mais adiante. Serviram também para realizar uma comparação entre os conhecimentos dos alunos da primeira e terceira séries sobre tais temas.

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos pelo grupo controle em cada uma das questões do questionário. Esses resultados serão apresentados através de gráficos, que trarão sempre a comparação entre os resultados médios das turmas de primeira e terceira séries. Esses gráficos não farão distinção entre os colégios. Essa distinção poderá ser observada nas tabelas contidas no anexo A.

### **4.2.1 – Questão 1**

A primeira questão presente no questionário tinha o objetivo de verificar se os alunos concebiam os átomos como constituintes de todo e qualquer tipo de material. A questão foi elaborada da seguinte maneira:

*“Para explicar de que são feitos todos os objetos e seres existentes no mundo terrestre, um grande pensador da antiguidade chamado Aristóteles, que viveu na Grécia antes do nascimento de Cristo, formulou uma teoria na qual afirmava que todos os objetos e seres presentes na Terra são constituídos da combinação de quatro elementos básicos em diferentes proporções: fogo, água, terra e ar”.*

*Você concorda com a teoria de Aristóteles? Em sua opinião, de que são feitos todos os objetos e seres que você conhece?”*

O pequeno texto sobre a concepção aristotélica a respeito da constituição da matéria foi colocado com o objetivo de estimular o raciocínio dos estudantes. Percebe-se que a questão se divide em duas partes, primeiro é perguntado ao aluno se ele concorda com a teoria aristotélica dos quatro elementos, fogo, água, terra e ar. Em seguida é perguntado também que, na opinião dele, de que são feitos todos os objetos e seres que ele conhece. A primeira parte da questão pode ser respondida simplesmente com um *sim* ou um *não*. Para o caso de uma resposta negativa, espera-se que o aluno diga de que são feitos todos os objetos e seres que ele conhece. Nesta resposta o aluno pode ou não afirmar que a matéria é constituída de átomos.

Pressupõe-se que se o estudante tiver clareza a respeito da teoria atômica da matéria, ou seja, se o conhecimento a respeito desta teoria for relativamente diferenciado em sua estrutura cognitiva, independente de como é o modelo de átomo que ele conhece, ele responda negativamente à teoria dos quatro elementos e afirme que a matéria é composta de átomos, que é a resposta que será aceita como correta. Pressupõe-se também que mesmo que não seja significativo para o estudante que os átomos compõem toda a matéria, ele seja capaz, dentro do contexto do questionário, de responder que a matéria é composta de átomos.

Nesta questão não foi preciso utilizar categoria parcialmente correta. Responderam as questões presentes no questionário 175 estudantes de

terceira série e 205 de primeira série. Logo abaixo é apresentado o gráfico 4.1 com o desempenho médio dos alunos do grupo controle na primeira questão.

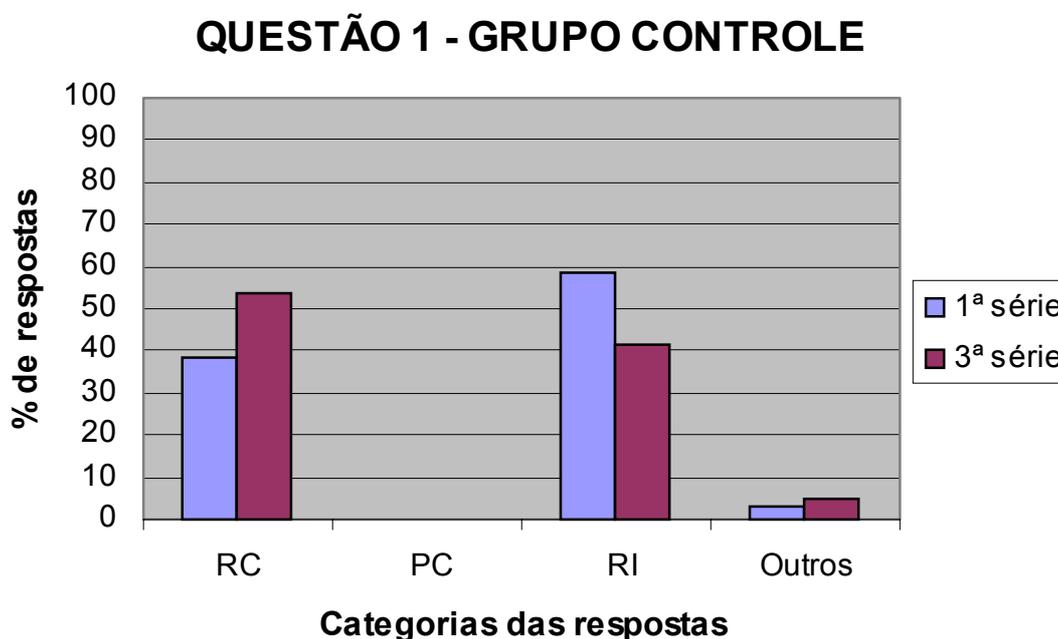


Gráfico 4.1: Desempenho percentual médio dos alunos da primeira e terceira séries do grupo controle na primeira questão do questionário. As categorias das respostas são: Respostas corretas (RC), respostas parcialmente corretas (PC), respostas incorretas (RI) e respostas confusas ou não respondeu (Outros).

Um dado que não aparece no gráfico, mas pode ser percebido pela análise dos resultados presentes na tabela 1 do anexo A, é que a média de acertos nesta primeira questão na escola estadual é menor do que nas escolas federais. Essa diferença também é evidente em maior ou menor grau também nas outras questões. Acredita-se que essa diferença se deve principalmente à seleção de alunos para o ingresso no ensino médio que ocorre nos colégios federais.

Apesar de se estar falando de turmas diferentes, ou seja, não se está acompanhando a evolução do conhecimento modelos atômicos e interação da radiação com a matéria de um grupo de alunos ao longo do ensino médio e sim comparando o conhecimento de um grupo de alunos que inicia com o conhecimento de um outro grupo de alunos que está perto de concluir o ensino

médio, os resultados das duas séries foram comparados e observou-se uma diferença de aproximadamente de 15% na categoria RC e 18% na RI. Acredita-se que, devido à natureza do conhecimento em questão, que é base para disciplinas como Química, Física e Biologia, e o contexto em que a questão estava inserida no questionário, o desempenho médio dos alunos não foi satisfatório.

#### 4.2.2 – Questão 2

A segunda questão tinha como objetivo obter dos alunos informações sobre seus conhecimentos a respeito da estrutura atômica. Nela foi pedido que eles fizessem um ou mais desenhos que representassem o que eles entendiam por átomos. O enunciado da questão foi o seguinte:

*“Faça um ou mais desenhos que representem seu conhecimento sobre a estrutura do átomo. Este desenho deve conter todas as informações que você julgar importantes para esclarecer sua visão sobre os átomos. Além do desenho você também pode, se quiser, escrever um pequeno texto com o que julgar importante sobre tema”.*

Foi solicitado um desenho, pois ele parece ser uma maneira bastante eficaz de obtenção de informações sobre o tema, uma vez que o desenho não envolve possíveis limitações da linguagem escrita dos estudantes, nem eliminam possibilidades de resposta que uma questão de múltipla escolha impõe. O desenho possibilitou que as representações atômicas dos alunos a algum dos diferentes modelos atômicos mais conhecidos que existiram ao longo da história. Abaixo serão apresentadas as principais características de cada um desses modelos, que são exatamente as categorias nas quais as respostas dos alunos foram enquadradas.

### ✓ **Modelo atômico de Dalton (D)**

Abaixo estão listadas algumas das idéias atomísticas de Dalton:

- *“Toda a matéria é composta de partículas fundamentais, os átomos.*
- *Os átomos são permanentes e indivisíveis, eles não podem ser criados nem destruídos.*
- *Os elementos são caracterizados pelos seus átomos. Todos os átomos de um dado elemento são idênticos em todos os aspectos. Átomos de diferentes elementos têm diferentes propriedades.*
- *As transformações químicas consistem em uma combinação, separação ou rearranjo de átomos.*
- *Compostos químicos são formados de átomos de dois ou mais elementos em uma razão fixa” (RUSSEL, 1994, p.207).*

A teoria atômica de Dalton, que explicava algumas observações experimentais, afirma que os átomos são objetos sem estrutura interna. Sendo assim uma representação possível para o modelo atômico de Dalton é de uma esfera maciça. Desenhos feitos pelos estudantes que não tenham nenhuma estrutura interna, ou seja, que sejam preenchido uniformemente, serão associados ao modelo atômico de Dalton.

### ✓ **Modelo atômico de Thomson (T)**

Avanços no conhecimento de partículas submicroscópicas, como os elétrons, conduziram à suposição de que aquilo ao que se denominava átomo,

na realidade fosse constituído de partes ainda menores. “*J.J. Thomson sugeriu que o átomo poderia ser uma esfera carregada positivamente na qual alguns elétrons estão incrustados (...)*” (RUSSEL, 1994, p.213).

Representações feitas pelos alunos que apresentem o átomo como uma esfera ou círculo onde cargas positivas; simbolizadas por sinais positivos; e cargas negativas; simbolizadas por sinais negativos; estejam uniformemente distribuídas em seu interior, serão associadas ao modelo atômico de Thomson.

### ✓ **Modelo atômico de Rutherford (R)**

A descoberta da emissão de partículas carregadas por determinados elementos, denominados radioativos, possibilitou que Rutherford e outros cientistas idealizassem um experimento com o objetivo de sondar a estrutura atômica. O experimento consistia em incidir as partículas emitidas por um elemento radioativo em uma fina folha de ouro e, com o auxílio de uma chapa revestida com material fosforescente adequadamente disposta, calcular a trajetória das partículas. A análise dos dados experimental culminou na proposta de um “*modelo de átomo consistindo em um pequeno núcleo rodeado por um grande volume no qual os elétrons estão distribuídos. O núcleo carrega toda a carga positiva e a maior parte da massa do átomo*” (RUSSEL, 1994, p.217).

A representação de um átomo como um pequeno ponto central em torno do qual são representadas as órbitas descritas por pequenas partículas é muito comum na mídia. É possível que esta seja a imagem que vem à mente da maioria das pessoas com um certo grau de instrução quando ouvem a palavra átomo. Por isso pressupõe-se que ela seja bastante utilizada pelos estudantes para representar o átomo. Os desenhos feitos pelos alunos que contiverem um ponto central e a representação das órbitas descritas pelos elétrons serão associados ao modelo atômico de Rutherford.

É sabido que o primeiro proponente de um modelo atômico contendo um núcleo carregado positivamente orbitado por elétrons foi o físico japonês H. Nagoaka (RUSSEL, 1994, ROCHA, 2002). Também é sabido que não foi Rutherford o descobridor dos nêutrons, que se localizam no núcleo atômico junto aos prótons. Mesmo assim, aqui neste trabalho, as representações de um núcleo, formado somente por prótons, ou por estes mais nêutrons; rodeado em órbitas por elétrons serão associadas ao modelo atômico de Rutherford.

### ✓ **Modelo atômico de Bohr (B)**

O modelo atômico de Rutherford era inconsistente com a teoria eletromagnética clássica, pois, como já era bem sabido à sua época, um portador de carga elétrica acelerado emite continuamente energia sob a forma de radiação eletromagnética (NUSSENZVEIG, 1997), o que causaria um colapso do átomo. Esse fato fez com que em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr propusesse uma correção para o modelo atômico de Rutherford com base na quantização da energia e combinando os trabalhos de Einstein, Planck e do próprio Rutherford (BASSO, 2004). Bohr propôs que a Física conhecida até então não era adequada para descrever completamente o comportamento da matéria em nível atômico, o que pode ser verificado pelos postulados seguintes.

- *“Que a energia radiada não é emitida (ou absorvida) da maneira contínua admitida pela eletrodinâmica clássica, mas apenas durante a passagem dos sistemas de um estado estacionário para outro diferente.*
- *Que o equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários é governado pelas leis da mecânica clássica, não se verificando essas leis nas transições dos sistemas entre diferentes estados estacionários.*

- *Que é homogênea a radiação emitida durante a transição de um sistema de um estado estacionário para outro e que a relação entre a frequência  $f$  e a quantidade total de energia é dada por  $E=hf$ , sendo  $h$  a constante de Planck.*
- *Que os diferentes estados estacionários de um sistema simples constituído por um elétron que roda em volta de um núcleo positivo são determinados pela condição de ser igual a um múltiplo inteiro de  $h/2$  a razão entre a energia total emitida durante a formação da configuração e a frequência de revolução do elétron. Admitindo que a órbita do elétron é circular, esta hipótese equivale a supor que o momento angular do elétron em torno do núcleo é igual a um múltiplo inteiro de  $h/2\pi$ .*
- *Que o estado permanente de sistema atômico - isto é, o estado no qual a energia emitida é máxima - , é determinado pela condição de ser igual a  $h/2\pi$  o momento angular de cada elétron em relação ao centro da sua órbita” (BASSO, 2004, p.148-9).*

O modelo atômico de Bohr postula o movimento circular dos elétrons em torno do núcleo e a emissão ou absorção de energia na transição do elétron entre duas órbitas, sendo a frequência da radiação emitida proporcional à diferença de energia entre as órbitas. Para representar este modelo, através de uma imagem pictórica, é necessário que se esclareça de alguma maneira a emissão e absorção de energia nas transições eletrônicas, caso contrário a representação se reduz ao modelo de Rutherford. Na análise das respostas dos alunos, as representações semelhantes ao modelo de Rutherford onde, de alguma maneira, estejam especificadas a emissão ou absorção de energia, serão classificadas de acordo com o modelo atômico de Bohr.

Com seu modelo Bohr conseguiu explicar o espectro de emissão do átomo de hidrogênio, que não tinha uma explicação até sua época. Entretanto seu modelo falhava para outros átomos. A criação da mecânica quântica foi o passo seguinte para um entendimento mais profundo da estrutura atômica.

### ✓ O modelo mecânico ondulatório (MO)

O desenvolvimento da mecânica quântica possibilitou a compreensão atual que temos a respeito da estrutura do átomo e do mundo submicroscópico de maneira geral (HALLIDAY, 1995). Nela, o determinismo da física clássica foi substituído por uma visão probabilística da natureza. A mecânica quântica não permite que se fale em trajetórias ou órbitas para os elétrons. Esta teoria descreve as regiões em torno do núcleo atômico onde é mais provável encontrar determinado elétron em um determinado estado do átomo, de maneira que o que se representa através de desenhos não é o átomo, mas sim as densidades de probabilidade de localização dos elétrons em determinado estado energético do átomo. O mesmo átomo pode ter diferentes representações, cada uma delas representando um de seus diferentes estados energéticos possíveis.

Desenhar as densidades de probabilidade para um determinado estado de um átomo exige um tanto de habilidade. Os desenhos feitos pelos estudantes onde foram desenhadas regiões hachuradas em torno do núcleo e/ou que continham observações sobre a impossibilidade de se representar órbitas para os elétrons, foram associadas ao modelo de átomo descrito pela mecânica quântica.

Os cinco modelos discutidos anteriormente junto com a categoria **Outros**, que é composta por respostas em branco e por desenhos que não puderam ser atribuídos a nenhum dos modelos, foram utilizados para enquadrar as respostas dos alunos. O gráfico apresentado logo abaixo, relativo a esta questão, é o resultado das respostas de 175 estudantes da terceira série e 205 da primeira série do ensino médio.

## QUESTÃO 2 - GRUPO CONTROLE

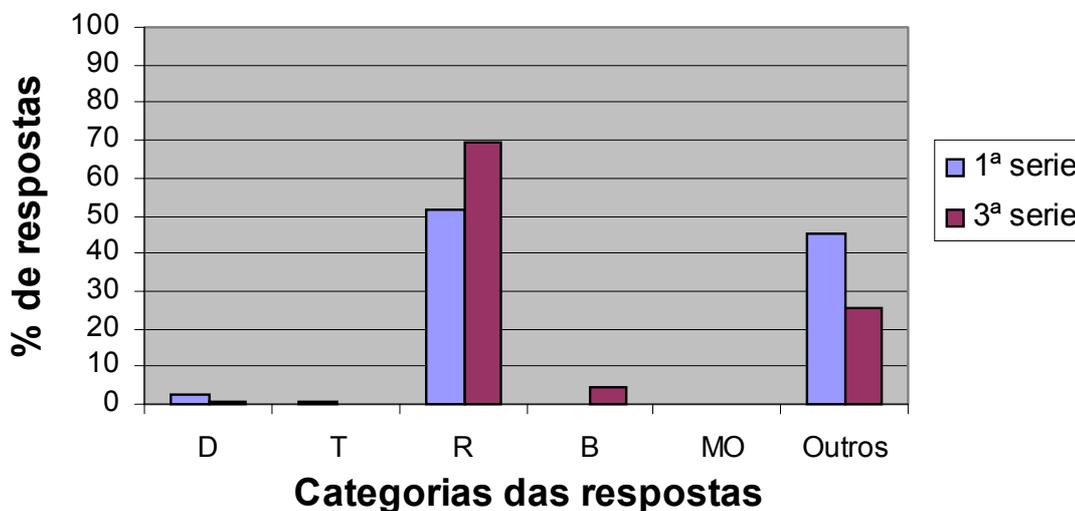


Gráfico 4.2: Desempenho percentual médio dos alunos da primeira e terceira séries do grupo controle na segunda questão do pré-teste. As categorias das respostas são: Modelo atômico de Dalton (D), Modelo atômico de Thomson (T), Modelo atômico de Rutherford (R), Modelo atômico de Bohr (B), Modelo mecânico ondulatório (MO) e respostas confusas ou não respondeu (Outros).

O modelo mais presente nas respostas dos alunos tanto da primeira quanto da terceira séries foi relacionado ao modelo de Rutherford. Os elementos presentes no desenho abaixo representam bem a maioria dos desenhos que foram associados ao modelo de Rutherford.

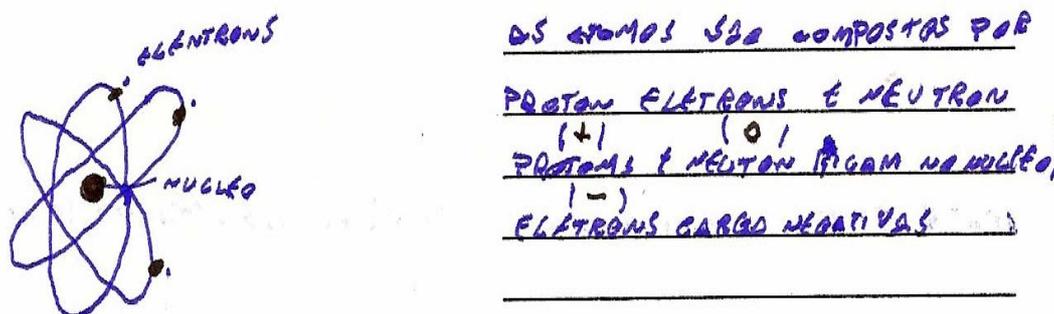


Figura 4.1: Representação de um aluno da terceira série do grupo controle de um modelo de átomo que foi associado ao modelo de Rutherford.

Esse tipo de representação é a que comumente é associada aos átomos em programas de TV. Talvez isso explique o elevado índice de desenhos semelhantes.

Os desenhos associados ao modelo de Dalton representavam o átomo como uma pequena esfera maciça. Foram associados ao modelo de Bohr os desenhos semelhantes ao modelo de Rutherford apresentado anteriormente, mas que esclareciam que os elétrons estão distribuídos em torno do núcleo em níveis de energia, o que alguns poucos alunos fizeram dizendo que os níveis de energia dos elétrons são K, L, M, N, O, P e Q. Essa representação só apareceu no grupo controle nos alunos da terceira série.

#### **4.2.3 – Questões 3 e 4**

Por serem objetivas e caberem a elas somente as categorias correta e incorreta as questões 3 e 4 serão discutidas conjuntamente nesse item. A terceira questão tem o mesmo objetivo da primeira questão, isto é, verificar a concepção dos alunos sobre a constituição da matéria, entretanto, ela é uma questão de múltipla escolha formulada da seguinte maneira:

*“De todas as coisas que existem na natureza quais delas são constituídas de átomos? Somente uma das alternativas abaixo está correta”.*

A alternativa correta é a que afirma que todos os objetos sem vida, substâncias em seus diferentes estados físicos, assim como todos os seres vivos são compostos de átomos. É possível que esta questão sirva de auxílio para aqueles alunos que ficarem em dúvida sobre a primeira questão, entretanto algum conhecimento mais diferenciado sobre a teoria atômica é necessário para que se consiga responder tanto a primeira quanto a terceira questões.

A quarta questão foi elaborada para verificar se os estudantes têm idéia das dimensões de um átomo, que é da ordem de  $10^{-10}$  metro ou 1Å. Ela também é uma questão de múltipla escolha e está relacionada ao experimento um, descrito na metodologia, que foi realizado com os alunos do grupo experimental durante a experiência didática. O enunciado da quarta questão diz o seguinte:

*“Marque a alternativa que, na sua opinião, mais se aproxima de qual é o tamanho de um átomo”.*

Nesta questão foram apresentadas cinco alternativas como possíveis respostas, mas somente uma estava correta. Três das alternativas afirmavam que os átomos são do tamanho de objetos que, apesar de pequenos, são visíveis. Uma das alternativas afirmava que os átomos são do tamanho das células. Essa alternativa foi colocada, pois, através da experiência como professor, já se observou em algumas perguntas feitas pelos estudantes uma certa confusão entre átomos e células. Se essa confusão se confirmar será necessário esclarecer durante a experiência didática as diferenças entre esses dois objetos.

Os percentuais de acertos obtidos nessas questões foram elevados: 85,3% dos alunos da primeira série e 92,1% dos alunos da terceira série responderam corretamente à terceira questão. À quarta questão responderam corretamente 75,6% dos alunos da primeira série e 90,6% dos alunos da terceira série. O número de respostas à alternativa que associava o tamanho do átomo ao tamanho das células foi baixo, demonstrando que a maioria dos alunos tem consciência das diferenças entre esses dois objetos.

#### 4.2.4 – Questão 5

A quinta questão refere-se ao conceito de modelo em Ciência. Seu objetivo é verificar se os alunos compreendem o que são modelos científicos. Seu enunciado foi o seguinte:

*“É possível que você já tenha ouvido termos como: **modelo geocêntrico**, **modelo heliocêntrico**, **modelo atômico**, **modelo de propagação retilínea da luz**. Nestes termos qual o significado da palavra **modelo** para você?”*

Como resposta a essa questão esperava-se que os estudantes demonstrassem compreensão sobre o papel dos modelos na ciência, explicitando que modelos são representações de objetos de estudo de uma determinada área, não podendo ser confundidos com os objetos. As palavras seguintes representam bem a idéia que se esperava como resposta para essa questão.

*“É preciso, porém, ter cuidado para não confundir a matéria com sua interpretação. Quando propomos um modelo de átomo, estamos formulando uma hipótese sobre como seria algo que sequer podemos ver. Dessa maneira, a interpretação ou o modelo depende não só dos dados experimentais de que dispomos, mas também da imaginação espacial e matemática, bem como da intuição sobre a natureza, porque os modelos são representações das coisas e não as coisas” (GREF, 1999, p. 197).*

A compreensão do conceito de modelo científico é uma das recomendações presentes nas orientações legais (BRASIL, 2002). O gráfico

4.3 exibe os resultados desta questão obtidos pelo grupo controle (175 estudantes da terceira série e 205 da primeira série do ensino médio). Observa-se que apenas cerca de 10 % dos estudantes demonstraram compreensão sobre o assunto.

### QUESTÃO 5 - GRUPO CONTROLE

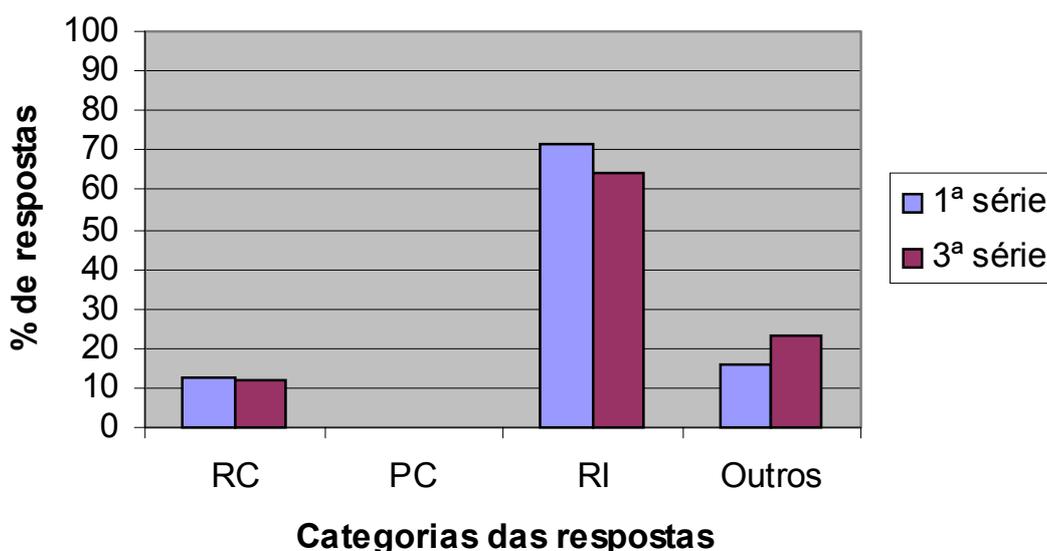


Gráfico 4.3: Desempenho percentual médio dos alunos da primeira e terceira séries do grupo controle na quinta questão do questionário. As categorias das respostas são: Respostas corretas (RC), respostas parcialmente corretas (PC), respostas incorretas (RI) e respostas confusas ou não respondeu (Outros).

O resultado mostra que a falta de conhecimento sobre os modelos utilizados pela ciência não depende da série. Observou-se que a maioria dos alunos que respondeu a essa questão tentou elaborar a resposta usando elementos fornecidos em seu enunciado, o que acabava tornando as respostas redundantes.

Essa constatação mostrou que se devia enfatizar durante a experiência didática o conceito de modelo científico, até mesmo por que ele é fundamental para o entendimento do conhecimento que será apresentado aos estudantes durante a experiência didática. O baixo desempenho dos alunos do grupo controle nessa questão é mais um apoio à utilização da série de vídeos

educativos como recurso didático durante as interações com os alunos do grupo experimental. Esses vídeos apresentam a evolução histórica dos modelos atômicos, e o conceito de modelo científico é muito evidente neles. Espera-se que seu uso auxilie bastante na aprendizagem dos estudantes.

As cinco questões seguintes têm o objetivo de verificar se os estudantes têm algum conhecimento sobre a interação da radiação com a matéria. Elas foram elaboradas para verificar se os estudantes relacionam de alguma maneira fenômenos cotidianos com transições que ocorrem em nível atômico quando a radiação interage com a matéria. Um conhecimento superficial a respeito dessas transições é suficiente para responder a todas as questões.

#### **4.2.5 – Questão 6**

A questão número seis tem o objetivo de verificar se o aluno tem uma explicação em nível microscópico para a transparência de alguns materiais como o vidro, material ao qual a questão faz referência.

*Por que alguns materiais como o vidro são transparentes e outros, como esta folha de papel, não são?*

Uma resposta mais aprofundada para esta questão não é trivial. A transparência de um material depende de vários fatores como, por exemplo, a existência de elétrons livres no material, sua densidade, porosidade e polarizabilidade de suas moléculas (HALL, 1970), e depende também do tipo de radiação que nele incide. *Se a absorção da luz é uniforme para todos os comprimentos de onda visíveis, o material tem uma aparência incolor* (CALLISTER JR., 2002, p. 488). Uma explicação aprofundada do fenômeno foge aos objetivos do ensino médio, de maneira que as respostas que afirmaram que a transparência ou opacidade de alguns materiais está

relacionada ao tipo de radiação que nele incide e também à capacidade dos átomos e moléculas que o constituem de absorverem ou não esta radiação foram consideradas corretas. As respostas que afirmaram que a transparência era devida à radiação incidente ou então à composição atômica do material foram consideradas parcialmente corretas. O resultado desta questão, obtido pelo grupo controle (175 estudantes da terceira série e 205 da primeira série do ensino médio), está apresentados no gráfico 4.4.

### QUESTÃO 6 - GRUPO CONTROLE

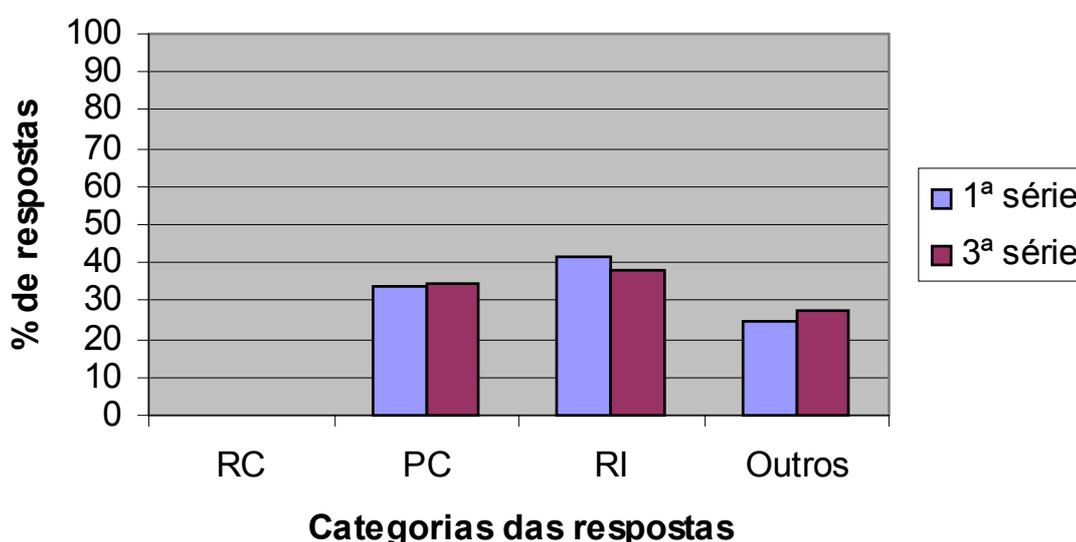


Gráfico 4.4: Desempenho percentual médio dos alunos da primeira e terceira séries do grupo controle na sexta questão do questionário. As categorias das respostas são: Respostas corretas (RC), respostas parcialmente corretas (PC), respostas incorretas (RI) e respostas confusas ou não respondeu (Outros).

As respostas foram bem diretas e a grande maioria delas não fazia nenhuma referência à composição atômico-molecular dos materiais envolvidos nem a aspectos da radiação incidente. As respostas parcialmente corretas foram dadas provavelmente por alunos que relacionaram o fenômeno ao assunto que era tratado no questionário. Pode-se observar ainda que o índice de acertos não variou entre as diferentes séries pesquisadas, o que é um indício de que o assunto não é apresentado ao longo do ensino médio.

#### 4.2.6 – Questão 7

A sétima questão também trata do fenômeno de absorção da radiação por diferentes materiais. Entretanto, de certa maneira, ela contrasta com a questão anterior, onde os materiais de interesse eram aqueles que absorvem uma pequena fração da radiação que os atravessa e, os materiais de interesse nesta questão são os que absorvem a maior parte da radiação incidente. O enunciado da questão procurou relacionar o fenômeno a uma observação que se acredita ser bastante comum a todos.

*“Por que vestir uma camisa branca em um dia de sol forte aquece menos do que uma camisa preta?”*

Mais uma vez a explicação desse fenômeno está relacionada à interação entre a radiação e a matéria. A absorção de radiação causa um aumento da vibração média das moléculas da camisa, que equivale a um aumento de sua temperatura (CABRAL e LAGO, 2002). Os diferentes processos que podem ocorrer quando a radiação interage com a matéria dependem tanto da radiação incidente quanto da composição química dos materiais. O aquecimento desses materiais através da absorção de ondas eletromagnéticas é um exemplo desses processos.

*“O aquecimento da Terra pelo Sol, o cozimento do alimento no forno do fogão e o aquecimento da água através de um coletor solar são exemplos onde a troca de calor é realizada predominantemente através da irradiação. Sua interpretação está associada à natureza eletromagnética da matéria, que leva em conta a constituição dos átomos. (...) assim como as ondas de rádio, que se propagam no vácuo e em muitos meios e fazem oscilar cargas “livres” de uma antena, há uma série de distintas ondas*

*eletromagnéticas que diferem pelo número de oscilações por segundo, ou frequência. Entre essas ondas estão, por exemplo, os raios X, a luz e as ondas de infravermelho. Estas últimas também são chamadas de radiação térmica. Como as demais elas fazem vibrar as cargas constituintes de todos os materiais, e essa vibração (energia cinética) se incorpora à energia térmica do material irradiado” (GREF, 1999, p.65).*

Materiais com composições moleculares distintas absorvem de maneiras também distintas as radiações que incidem sobre eles. A cor de um material está relacionada às frequências das ondas eletromagnéticas que as moléculas que o compõem são capazes de absorver. Um material de cor preta absorve mais radiação eletromagnética visível do que um material de cor clara exposto às mesmas condições.

*“Quando a radiação térmica incide em um corpo, parte dela é absorvida e parte é refletida por ele. Os corpos escuros absorvem a maior parte da radiação que nele incide. É por isso que um objeto preto, colocado ao Sol, tem a temperatura sensivelmente elevada. Por outro lado, os corpos claros refletem quase totalmente a radiação térmica incidente” (ALVARENGA e MÁXIMO, 2000, p.122).*

Para responder corretamente esta questão não era necessário que os estudantes tivessem conhecimento sobre a estrutura do átomo. Entretanto é necessário o conhecimento de que a matéria é composta por átomos e que diferentes materiais têm arranjos atômicos diferentes e que esses diferentes arranjos fazem com que esses materiais interajam de maneiras diferentes com a radiação.

Foram consideradas corretas as respostas que afirmaram que as roupas de cores escuras absorvem mais radiações do que as de cores claras,

sendo a capacidade de absorver ou refletir em diferentes quantidades os diferentes tipos de radiação uma propriedade relacionada à constituição atômico-molecular das camisas. As respostas que faziam referência apenas a absorção ou reflexão da radiação, sem no entanto associá-la as diferentes composições químicas das camisas, foram consideradas parcialmente corretas.

## QUESTÃO 7 - GRUPO CONTROLE

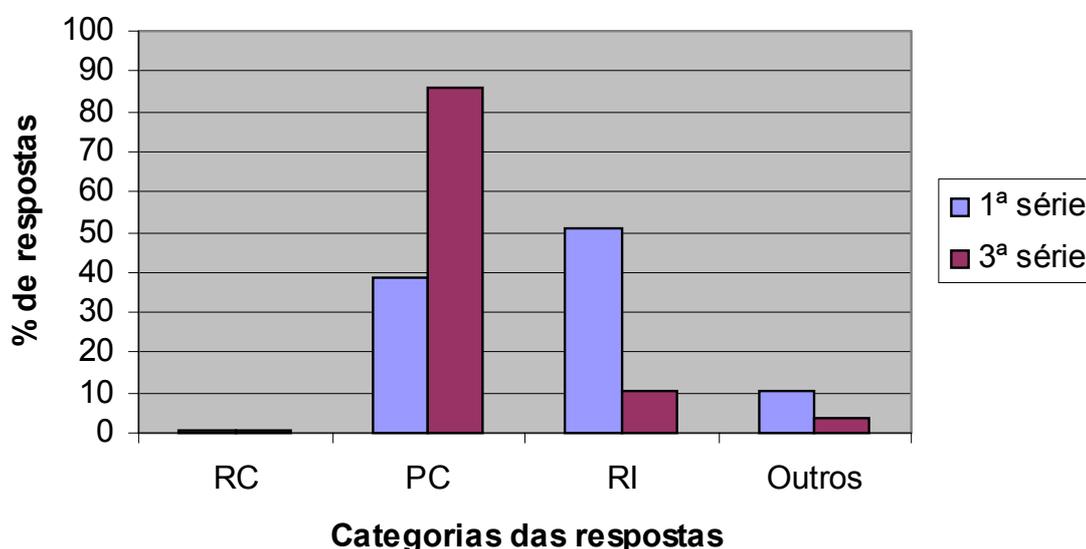


Gráfico 4.5: Desempenho percentual médio dos alunos do grupo controle da primeira e terceira séries na sétima questão do questionário. As categorias das respostas são: Respostas corretas (RC), respostas parcialmente corretas (PC), respostas incorretas (RI) e respostas confusas ou não respondeu (Outros).

O gráfico 4.5 mostra o resultado da sexta questão do grupo controle (175 estudantes da terceira série e 205 da primeira série do ensino médio). A maioria das respostas não mencionou nada a respeito composição molecular das camisas, a grande maioria afirmou simplesmente que a camisa preta absorve mais radiação do que a branca. Nessa questão houve uma grande diferença entre os resultados obtidos pelas duas diferentes séries, o que é um indício de que, nesses colégios, o assunto foi tratado ao longo do ensino médio. De acordo com a organização da maioria dos livros didáticos de Física,

do ensino médio, aspectos relacionados a essa questão são apresentados na segunda série do ensino médio, quando é abordado o tópico *transferência de calor*.

#### 4.2.7 – Questão 8

A questão oito trata do processo de emissão de radiação pelos átomos e moléculas. A radiação emitida por um átomo de um determinado elemento químico é uma característica específica de todos os átomos deste elemento químico. Esta característica é uma consequência direta da diferença entre os níveis de energia dos estados permitidos para os átomos deste elemento. Essas diferenças entre níveis de energia variam entre os diferentes elementos químicos e são como assinaturas de cada um destes elementos (MENEZES, 2005).

A espectroscopia é uma técnica que consiste em decompor e analisar a radiação emitida por um determinado material. A análise dessa radiação permite identificar a composição do material analisado, ou seja, permite que se descubra qual(is) elemento(s) está(ão) presente(s) no material, pois cada átomo molécula tem seus níveis de energia característicos. A questão número oito pergunta:

*“Como se pode afirmar que o Sol tem a substância Hélio em sua composição sem nunca o homem ter ido até lá?”*

As respostas onde os alunos que afirmaram que cada substância emite um tipo característico de radiação e a análise da radiação solar permite que se saiba a composição deste astro foram consideradas corretas. Respostas que afirmaram que a análise da radiação solar permite descobrir sua composição sem fazer referência às emissões características de cada substância foram consideradas parcialmente corretas.

### QUESTÃO 8 - GRUPO CONTROLE

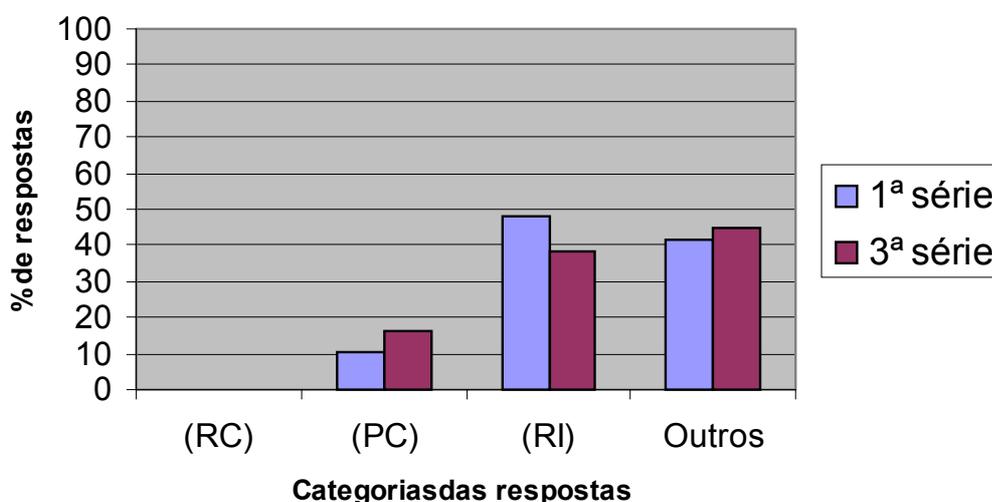


Gráfico 4.6: Desempenho percentual médio dos alunos do grupo controle da primeira e terceira séries na oitava questão do questionário. As categorias das respostas são: Respostas corretas (RC), respostas parcialmente corretas (PC), respostas incorretas (RI) e respostas confusas ou não respondeu (Outros).

O gráfico 4.6 exibe o resultados da questão oito do grupo controle (175 estudantes da terceira série e 205 da primeira série do ensino médio). Observa-se mais uma vez uma diferença pouco significativa entre o conhecimento dos alunos da primeira e da terceira séries sobre o assunto abordado na questão. Observa-se também que os percentuais de respostas corretas e parcialmente corretas são pequenos, indicando que o assunto possivelmente não é apresentado ao longo do ensino médio. Esse baixo desempenho fez com que se buscasse algum recurso para tornar mais significativo o conhecimento sobre os espectros de emissão dos materiais. Por isso, durante a experiência didática realizada com os alunos do grupo experimental, foi realizado um experimento utilizando um espectrômetro (ver item 3.6). A realização dessa experiência didática vai ser analisada mais adiante.

#### 4.2.8 – Questão 9

A questão número nove também tem o objetivo de verificar o conhecimento dos estudantes sobre a emissão de radiação pela matéria. O fenômeno apresentado no enunciado da questão é denominado luminescência.

*“Por que conseguimos ver o interruptor usado para acender as lâmpadas, assim como alguns ponteiros de relógio, mesmo depois de termos apagado todas as luzes da casa?”*

Alguns materiais podem absorver energia sob diferentes formas e depois emitir esta energia sob a forma de radiação (CALLISTER JR., 2002). A luminescência se divide em dois tipos distintos, a fluorescência e a fosforescência, que é o fenômeno envolvido na questão. No primeiro tipo a emissão de radiação pelo material cessa imediatamente após o material deixar de receber energia. No segundo tipo a *“emissão espontânea persiste durante intervalos de tempo longos (até horas, mas segundos ou frações de segundos nos casos mais característicos) depois da excitação”* (ATKINS, 1999, p.179).

O processo da fosforescência é um fenômeno que ocorre em nível molecular. Para que ele ocorra, um determinado elétron em uma molécula que tenha sido excitada, ao iniciar seu retorno para o estado fundamental reemitindo paulatinamente a energia recebida, sofre, em determinado momento, uma alteração em seu spin, o que acaba por dificultar o retorno ao estado fundamental. O material fica então com moléculas excitadas por um determinado tempo, pois o retorno das moléculas que compõem o material ao estado fundamental não ocorre conjunta e imediatamente após a excitação (ATKINS, 1999).

Não era objetivo da questão que os estudantes dessem uma resposta detalhada sobre o fenômeno da luminescência. O objetivo era verificar se os estudantes tinham conhecimento a respeito da emissão de radiação durante as

transições que ocorrem em nível atômico-molecular. As respostas onde constaram que os átomos ou moléculas que compõem o interruptor ao serem excitados retornam ao estado fundamental paulatinamente emitindo a energia absorvida foram consideradas corretas. As respostas que mencionaram somente a emissão lenta de radiação sem comentar nada a respeito das transições moleculares serão consideradas parcialmente corretas.

### QUESTÃO 9 - GRUPO CONTROLE

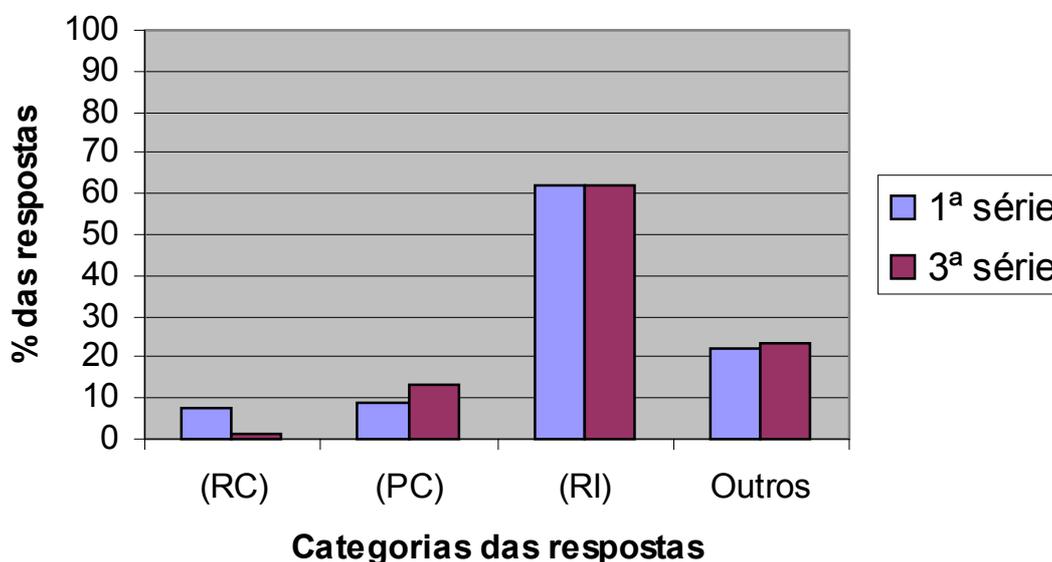


Gráfico 4.7: Desempenho percentual médio dos alunos do grupo controle da primeira e terceira séries na nona questão do questionário. As categorias das respostas são: Respostas corretas (RC), respostas parcialmente corretas (PC), respostas incorretas (RI) e respostas confusas ou não respondeu (Outros).

O gráfico 4.7 mostra os resultados dessa questão para o grupo controle (175 estudantes da terceira série e 205 da primeira série do ensino médio) e indica que a maioria dos alunos não tem conhecimento a respeito do fenômeno da luminescência. Somente uma pequena parte dos alunos da primeira série tem uma explicação sobre o fenômeno. Esses alunos são todos dos CEFET Campos e Leopoldina e, é possível que componham uma única turma de cada centro, o que infelizmente não pode ser verificado porque não foi solicitada identificação de turma no questionário.

#### 4.2.9 – Questão 10

A última questão está relacionada com as quatro anteriores e seu objetivo foi verificar se é significativo para os estudantes que diferentes tipos de radiação interagem de diferentes maneiras com o mesmo material e, também, que diferentes materiais reagem de diferentes maneiras quando exposto a um mesmo tipo de radiação. Tentou-se com as cinco últimas questões do questionário estimular os estudantes, através de diferentes fenômenos cotidianos, a expor seus conhecimentos sobre a interação entre a radiação e a matéria. O enunciado da questão dizia o seguinte:

*“Para tirarmos uma fotografia comum, como as tiradas em festas de aniversário, utilizamos luz do Sol ou luz emitida por lâmpadas comuns ou flash. Para tirarmos fotografia de partes internas de nosso corpo utilizamos raios X. Para conseguirmos imagens no escuro, como aquelas conseguidas pelas câmeras do Big Brother Brasil, ou pelos óculos de soldados nas guerras, a radiação envolvida é a infravermelha.*

*Em sua opinião, por que é necessário utilizar estes diferentes tipos de radiação, ou seja, infravermelha, luz visível e raios X, para se conseguir estas imagens? Por que não utilizamos um único tipo de radiação para obtermos as imagens citadas anteriormente?”*

As diferentes interações que ocorrem entre a radiação e a matéria dependem de um grande número de aspectos relacionados à constituição molecular dos materiais e também das características da radiação incidente. Por exemplo, a maior parte do corpo humano é praticamente transparente aos raios X, com exceção dos ossos, que devido à sua maior densidade os absorve parcialmente (CABRAL E LAGO, 2002, SILVA, 2000). As células fotossensíveis, que compõem a retina humana, são sensíveis somente a uma determinada faixa de radiação eletromagnética, denominada luz visível. Outras

radiações como ondas de rádio ou infravermelhas não são perceptíveis a estas mesmas células (GREF, 1999).

Espera-se nesta questão uma resposta que esclareça que as diferentes interações da radiação e com a matéria se devem à composição microscópica da última e a frequência característica da primeira. Respostas onde foram identificados estes elementos foram aceitas como corretas. Respostas que fizeram referência somente às características da radiação ou da matéria, foram consideradas parcialmente corretas.

### QUESTÃO 10 - GRUPO CONTROLE

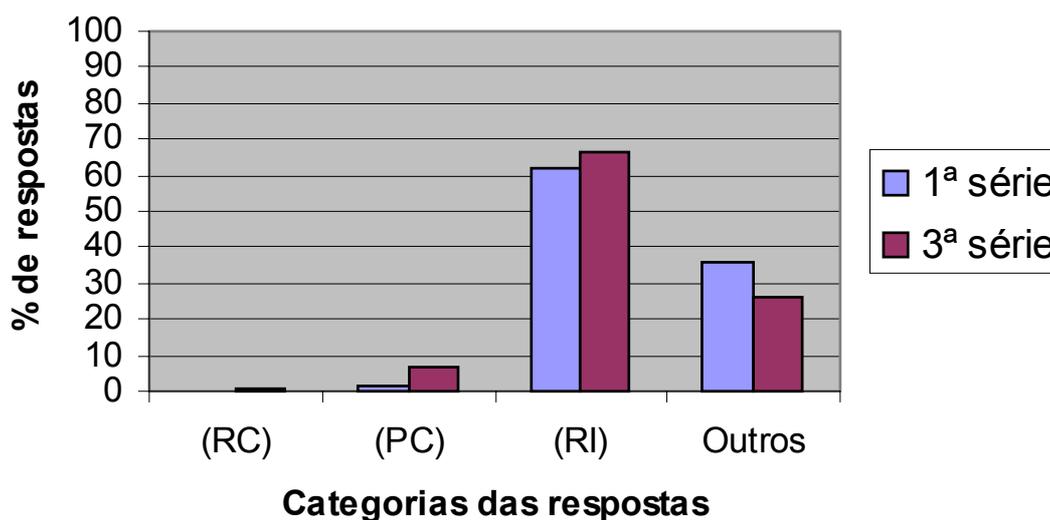


Gráfico 4.8: Desempenho percentual médio dos alunos do grupo controle da primeira e terceira séries na décima questão do questionário. As categorias das respostas são: Respostas corretas (RC), respostas parcialmente corretas (PC), respostas incorretas (RI) e respostas confusas ou não respondeu (Outros).

O gráfico 4.8 mostra os resultados da nona questão para o grupo controle (175 estudantes da terceira série e 205 da primeira série do ensino médio). Observa-se fraco desempenho dos estudantes nesta última questão, evidenciando o pouco conhecimento que eles têm a respeito das interações da radiação com a matéria.

O gráfico 4.9 apresenta uma visão geral dos resultados positivos de nove questões, obtidos pelos alunos das duas diferentes séries do grupo controle. A segunda questão, devido a suas características, não foi incluída neste gráfico. Porém seus resultados já foram analisados no item 4.2.2. Foram considerados como resultados positivos as respostas corretas e parcialmente corretas dadas pelos estudantes.

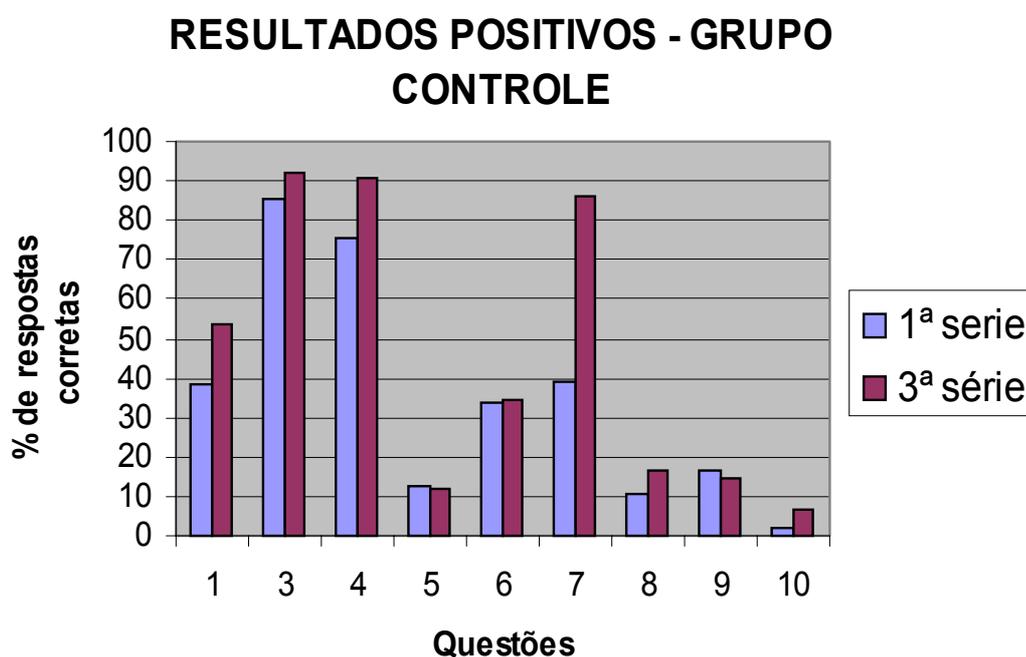


Gráfico 4.9: Resultados positivos dos alunos da primeira e terceira séries do grupo controle. Foram consideradas positivas as respostas categorizadas como corretas ou parcialmente corretas. É importante destacar que a segunda questão não foi apresentada neste gráfico.

Observa-se pelo gráfico que o conhecimento médio dos estudantes da primeira e terceira séries das três escolas em cada uma das questões apresentadas no gráfico, com exceção da sétima questão, não é muito diferente. Observa-se também que o conhecimento dos estudantes das duas séries sobre interação da radiação com a matéria (sexta questão em diante), que está relacionado com os modelos atômicos de Bohr e mecânico

ondulatório, é bastante limitado, o que indica que é pouco explorado no ensino médio desses colégios.

### **4.3 – Análise dos resultados obtidos com o grupo experimental**

Nesta seção serão apresentadas informações a respeito do conhecimento sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria dos estudantes do grupo experimental no pré-teste, ou seja, antes da participação deles na experiência didática. Essas informações foram obtidas através do mesmo questionário respondido pelos alunos do grupo controle. Com o objetivo de verificar a existência de especificidades no grupo experimental os resultados do grupo experimental no pré-teste serão apresentados comparativamente aos resultados obtidos pelos alunos da terceira série do grupo controle.

O gráfico 4.10 apresenta os resultados positivos (RC e PC) de 39 alunos do grupo experimental no pré-teste e de 175 alunos da terceira série do grupo controle, em nove das dez questões do questionário. O grupo experimental é formado por alunos da terceira série do Colégio Estadual Dr. Barros Barreto (CEBB).

Observa-se, através dos resultados apresentados no gráfico 4.10, que o conhecimento médio dos alunos do grupo experimental antes da experiência didática ficou sempre abaixo do conhecimento médio dos alunos da terceira série do grupo controle. Essa diferença já havia sido observada entre os alunos dos dois Centros Federais de Educação Tecnológica e os alunos do colégio estadual que compõem o grupo controle. A média dos alunos dos Centros Federais foi superior à dos alunos do colégio estadual. É possível que essa diferença se deva ao exame de seleção para o ingresso ao ensino médio que ocorre nos Centros Federais e também à melhor estrutura desses centros que contam com laboratórios e um maior número de horas de aula por semana. Como os alunos do grupo experimental pertencem a um colégio estadual do interior do município de Campos dos Goytacazes e os resultados que eles

obtiveram no pré-teste ficaram abaixo da média dos alunos do grupo controle, supõe-se que os alunos dos Centros Federais tenham causado uma elevação na média, que possivelmente não teria sido observada se todas os colégios participantes da pesquisa fossem estaduais.

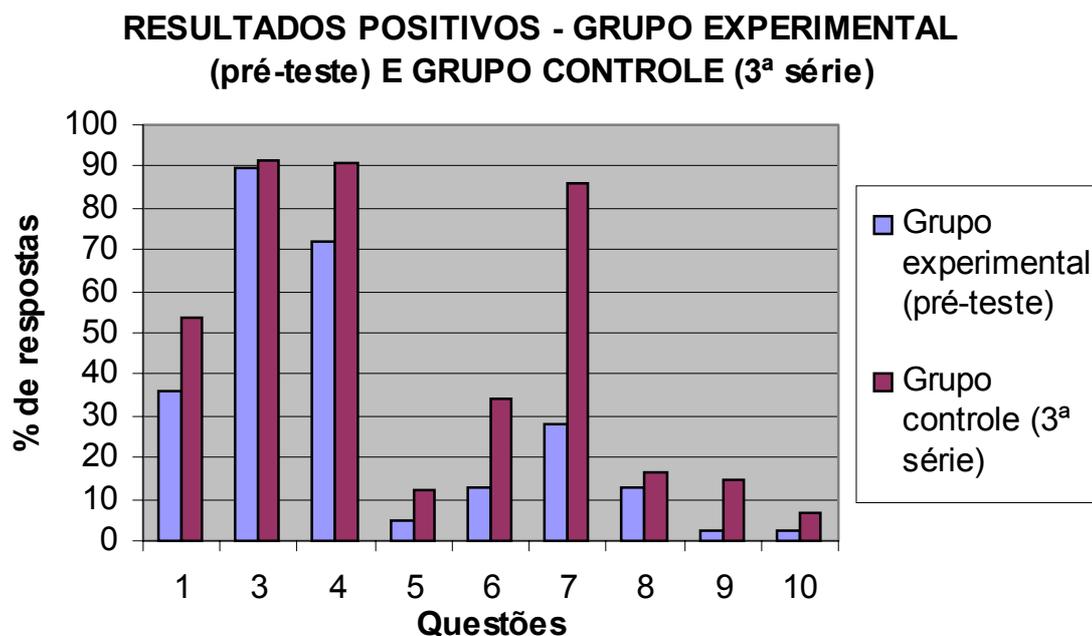


Gráfico 4.10: Este gráfico contrapõe os resultados positivos obtidos pelos alunos da terceira série do grupo controle com os resultados positivos obtidos alunos do grupo experimental no pré-teste. Foram consideradas positivas as respostas categorizadas como corretas ou parcialmente corretas. É importante destacar que a segunda questão não foi apresentada neste gráfico.

Apesar da média mais baixa, as características a respeito do conhecimento dos dois grupos, observadas através do gráfico anterior, são semelhantes: (i) pouca convicção com respeito à teoria atômica da matéria, o que pode ser observado pelo baixo desempenho na primeira questão, que permitia que os alunos se expressassem livremente a respeito da constituição da matéria; (ii) um pequeno conhecimento sobre interação da radiação com a matéria, que pode ser observado através dos resultados das cinco últimas questões do questionário. Esse pouco conhecimento sobre interação da

radiação com a matéria está de acordo com o modelo atômico mais conhecido pelos estudantes, que não explica de maneira adequada essa interação.

Essa semelhança entre os conhecimentos médios dos alunos do grupo controle com o conhecimento médio dos alunos do grupo experimental no pré-teste permite que a discussão feita na seção 4.2 sobre os resultados dos alunos do grupo controle em cada uma das dez questões do questionário, também seja válida para os resultados obtidos pelos alunos do grupo experimental no pré-teste.

Os resultados da segunda questão estão representados no gráfico 4.11. Pode-se observar que, neste caso, pouca diferença entre os conhecimentos dos alunos do grupo experimental, no pré-teste, e dos alunos da terceira série do grupo controle. O modelo atômico de Rutherford é o mais conhecido entre os estudantes dos dois grupos. Como já foi dito esse modelo não dá uma explicação satisfatória sobre a interação da radiação com a matéria de maneira que seja possível obter uma explicação adequada para os fenômenos envolvidos nas últimas questões do questionário.

Essa constatação indicou um caminho a ser percorrido durante a interação didática: apresentar e discutir com os estudantes a evolução histórica dos modelos atômicos, passando pelo modelo de Rutherford que é o mais conhecido dos estudantes, e chegando até os modelos de Bohr e mecânico ondulatório e, na seqüência, com base nesses dois últimos modelos, realizar uma discussão sobre interação da radiação com a matéria. Três semanas após a realização do pré-teste, foi iniciada a experiência didática com o grupo experimental. As interações ocorridas durante essa experiência serão apresentadas e discutidas na próxima seção.

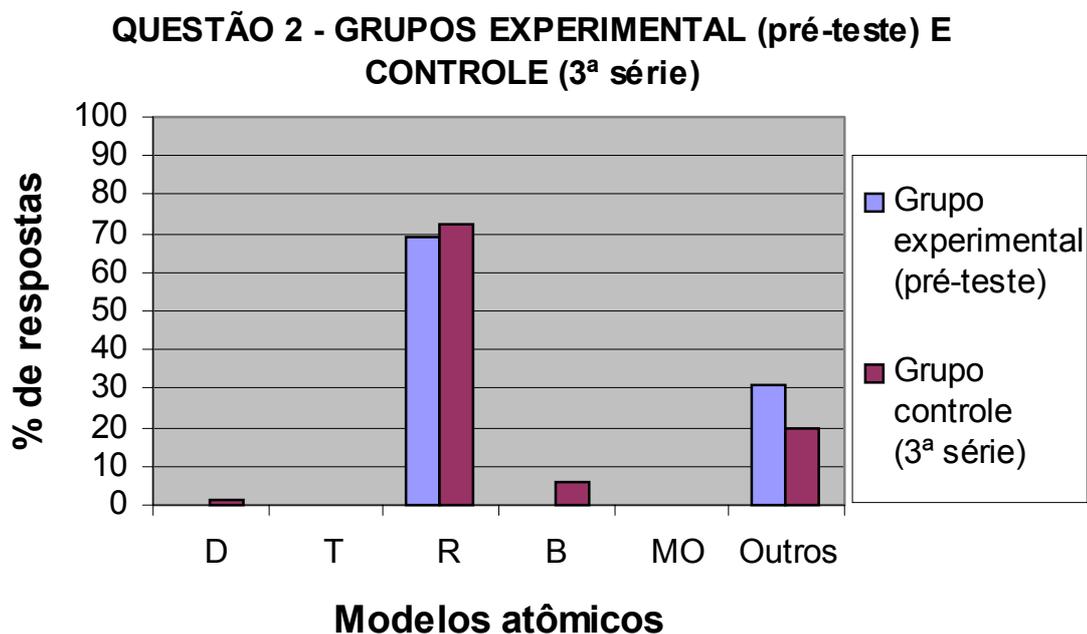


Gráfico 4.11: Este gráfico contrapõe os resultados obtidos pelos alunos da terceira série do grupo controle e pelos alunos do grupo experimental no pré-teste. As categorias das respostas são: Modelo atômico de Dalton (D), Modelo atômico de Thomson (T), Modelo atômico de Rutherford (R), Modelo atômico de Bohr (B), Modelo mecânico ondulatório (MO) e respostas confusas ou não respondeu (Outros).

#### 4.4 – Análise qualitativa das interações ocorridas durante a experiência didática

Nesta seção será feita uma análise qualitativa dos diálogos estabelecidos em sala de aula durante a experiência didática. Essa experiência foi realizada em dois encontros de 100 minutos cada com um grupo de 39 alunos da terceira série do ensino médio de uma turma de um colégio público do interior de município de Campos dos Goytacazes, Colégio Estadual Doutor Barros Barreto. Como já foi dito a experiência didática foi filmada com uma câmera de vídeo, e os diálogos estabelecidos foram extraídos dessas filmagens.

Para ter mais clareza sobre quais elementos presentes nos diálogos ocorridos durante a experiência seriam mais relevantes para análise, buscou-

se auxílio na teoria de aprendizagem de Ausubel (NOVAK, 1981). Para que ocorra aprendizagem é necessário que uma determinada informação se ligue a uma estrutura de conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz, e para que ocorra essa ligação a informação deve ser potencialmente significativa. Entende-se por informação potencialmente significativa aquela em que o aprendiz, através de conhecimentos já estabelecidos em sua estrutura cognitiva, seja capaz de perceber um sentido. Dessa maneira a análise que será feita dos diálogos ocorridos durante a interação didática terá o objetivo de verificar se as informações apresentadas e discutidas com os estudantes foram potencialmente significativas como se esperava que fossem durante o planejamento das atividades.

Durante o planejamento das atividades, decidiu-se que, o professor deveria, ao longo da realização da experiência didática, alertar os alunos sobre quais eram suas concepções atuais, que foram previamente obtidas através do pré-teste, e também sobre quais eram as idéias cientificamente aceitas atualmente sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria, de maneira a possibilitar que os estudantes tenham consciência sobre seu próprio conhecimento e a facilitar a aprendizagem do conhecimento aceito atualmente pela Ciência (MORTIMER, 2000). Por esse motivo, as falas do professor onde ficam evidentes as tentativas de evidenciar o conhecimento atual dos estudantes, com o objetivo de conduzi-los à uma explicação cientificamente aceita, também serão apresentadas ao longo da análise.

Devido a limitações instrumentais durante a filmagem, não foi possível enquadrar todos os estudantes nas cenas, de maneira que muitas vezes não se identifica a pessoa que fala. Sendo assim toda a análise feita aqui está relacionada ao grupo de estudantes e ao professor.

#### **4.4.1 – Aula 1**

A primeira aula da experiência didática foi iniciada com o professor/pesquisador, que também é o professor regular desta turma que

compõe o grupo experimental, explicando aos alunos que as atividades planejadas para aquele dia e para o encontro seguinte faziam parte de uma pesquisa que estava sendo desenvolvida pela UENF. Os alunos já haviam sido informados sobre essa pesquisa quando responderam ao pré-teste. O professor falou também da necessidade da filmagem, explicando que fazia parte da pesquisa a análise dos diálogos que ocorrerem durante a experiência didática. Foi frisado que os resultados da pesquisa não teriam nenhuma influência sobre as notas bimestrais da disciplina Física.

Em seguida apresentou a seqüência das atividades do primeiro dia de experiência didática: (i) primeiro os alunos iam assistir a três episódios de aproximadamente 9 min cada um, e em seguida eles poderiam questionar ou fazer observações sobre o que haviam assistido. (ii) Terminada a discussão sobre os vídeos todos deviam conduzir-se para uma outra sala maior, previamente preparada para a realização do experimento 1 (seção 3.5).

Os alunos se apresentavam um tanto curiosos pela presença da câmera e buscaram antes do início da apresentação dos vídeos uma posição dentro da sala onde pudessem ficar de fora da filmagem.

Durante a apresentação dos vídeos os alunos permaneceram atentos e em silêncio aparentando interesse. Os três primeiros episódios dos vídeos apresentam o desenvolvimento histórico dos modelos atômicos desde Demócrito até o modelo Rutherford. O terceiro episódio é finalizado dizendo que o modelo de Rutherford, apesar de ter sido um avanço em relação ao modelo anterior, apresentava ainda uma dificuldade teórica, cuja solução seria apresentada no próximo episódio.

Terminada a apresentação o professor perguntou *“E aí pessoal, o que vocês acharam dos vídeos?”* Inicialmente os alunos ficaram em silêncio sem responder nada, então o professor continuou perguntando *“Acharam fácil, difícil, legal, chato?”*, até que um aluno respondeu que *“A linguagem é meio da Física, é, fica meio difícil de entender, tem muita coisa!”* Essa fala do aluno evidencia uma característica dos vídeos que é a maneira detalhada e cientificamente rigorosa com que eles buscam apresentar o assunto. Isso faz

com que ele pareça um tanto aprofundado para turma de ensino médio. Essas características fizeram com que esses vídeos fossem apresentados no início da aula com o objetivo de que as informações contidas neles servissem como uma base para que se pudessem apoiar outras informações subseqüentes.

Os alunos continuaram falando sobre algumas cenas específicas que foram apresentadas nos vídeos até que um dos alunos afirma “*O modelo de Rutherford é o mais falado pra gente!*” Essa fala mostra que o aluno se antecipou ao professor e se conscientizou sobre seu próprio conhecimento a respeito dos modelos atômicos. O professor aproveitou esse momento para informar aos estudantes que o modelo que eles mais usaram no questionário tinha sido semelhante ao modelo de Rutherford, e que esse modelo se prestava para explicar diversos fenômenos físicos estudados no ensino médio. Entretanto existiram outros modelos antes do modelo de Rutherford, como eles tinham assistido nos vídeos, e outros depois.

A discussão sobre modelos atômicos despertou a curiosidade dos alunos e as perguntas seguintes tinham o objetivo de saber mais sobre os modelos atuais e sobre como se conseguiam informações sobre os átomos na antiguidade, sem a tecnologia atual. Depois de mais alguns minutos de discussão o professor convidou os alunos para irem até a outra sala onde ia ser realizada uma experiência com o objetivo de medir algo muito pequeno.

O professor utilizando o quadro negro, onde o modelo matemático (subseção 3.5.3) já havia sido colocado, apresentou qual era o objetivo da experiência e quais os passos que seriam seguidos para alcançar esse objetivo. As cadeiras foram tiradas previamente da sala para que todos pudessem acompanhar a realização da experiência de pé ao redor de algumas mesas escolares que foram dispostas paralelamente. O fato de não ficarem sentados fez com que nem todos os alunos permanecessem atentos à explicação sobre o modelo que ia ser usado para medir a espessura da película de óleo, apesar dos apelos do professor.

A experiência foi realizada pelo professor, com a ajuda dos alunos, e os dados obtidos. O professor saiu de perto da mesa e pediu que todos os alunos

tentassem ver a película de óleo, o que só era possível se olhassem para a superfície da água numa direção contrária à incidência da luz. Para não tornar o experimento complexo optou-se por não falar de incertezas nas medidas realizadas. Apesar de se ter consciência de que esse procedimento é errado do ponto de vista experimental, porém, do ponto de vista pedagógico, para esse trabalho específico, acredita-se que haveria perdas na aprendizagem se as incertezas fossem inseridas.

Na seqüência o professor pediu o auxílio dos alunos para realizar as contas no quadro e obteve o valor aproximado de  $5 \times 10^{-8}$  m para a espessura da película de óleo. Um aluno quando se deu conta das pequenas dimensões da película perguntou *“Essa conta tá certa professor?”* Esta fala demonstra sua tomada de consciência da pequena dimensão do valor obtido a partir da experiência. Um outro aluno perguntou se o átomo era muito menor ainda do que o valor obtido para a espessura da película de óleo. O professor respondeu que era aproximadamente 500 vezes menor, ou seja, que aquela película era composta por aproximadamente 500 camadas de átomos.

O tempo da aula estava quase esgotado e ela foi encerrada dizendo que na semana seguinte seria apresentada uma outra parte da história sobre modelos atômicos.

Considera-se que os resultados da aula foram positivos, pois os alunos demonstraram interesse e participaram das atividades. A partir da seleção dos diálogos que evidenciaram a percepção dos alunos sobre os conceitos trabalhados, pode-se dizer que as informações foram potencialmente significativas para uma boa parte dos estudantes.

#### **4.4.2 – Aula 2**

Uma semana após a primeira aula ocorreu a segunda, que completou as atividades planejadas para a experiência didática. A aula se iniciou com o professor dizendo que *“Hoje será apresentado o final da história sobre modelos atômicos, pelo menos da maneira como a gente conhece hoje em dia. Ela foi*

*iniciada como vimos na semana passada com Demócrito, (...) e o modelo de Rutherford apresentava um problema. Vamos ver como termina essa história?”.*

Em seguida os três últimos episódios da série de vídeo começaram a ser apresentados e percebeu-se, durante a apresentação e na gravação, que a atenção dos alunos já não foi tão grande quanto na primeira aula, principalmente durante o último episódio da série de vídeos. Acredita-se que o fato de os assuntos apresentados nesses três últimos episódios serem totalmente novos para os estudantes tenha tornado a apresentação um tanto cansativa. Os três primeiros episódios apresentavam informações que em parte eram conhecidas dos estudantes, o que pode ter tornado sua apresentação mais atraente. Mesmo percebendo esse fato o professor optou por não interromper a apresentação.

Terminado o último episódio da série de vídeos o professor, como na semana anterior, perguntou aos alunos sobre suas opiniões a respeito dos vídeos e um dos alunos respondeu *“O pior de tudo é que a gente tem que aprender o resumo de tudo muito rápido”*. O que o professor concordou dizendo *“É a Ciência é assim (aponta para a TV) e nós geralmente só vemos o final acabado na escola”*. A fala do estudante reforça a observação de que assistir aos vídeos havia sido cansativo para os estudantes.

Percebendo, neste momento, que a participação dos alunos estava pequena, o professor apresentou algumas transparências (anexo B) que continham uma seqüência de desenhos dos modelos atômicos que haviam sido apresentados na série de vídeos. Durante o planejamento da experiência didática essas transparências foram elaboradas para finalizar a discussão sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria, entretanto ela acabaram sendo utilizadas para reapresentar as informações contidas nos três últimos episódios da série de vídeos.

O professor então, partindo das idéias atomistas de Demócrito e seguindo rapidamente até Rutherford, apresentou a solução encontrada por Bohr para o problema enfrentado pelo modelo atômico de Rutherford. Por último foi apresentado o modelo atômico atual, baseado na mecânica quântica.

Durante essa exposição, apesar de ter sido dito que os alunos podiam fazer perguntas quando quisessem, a participação foi pequena e não houve nenhuma fala que se pudesse destacar.

O professor pediu então que os alunos se dividissem em grupos de quatro componentes, para a realização da segunda experiência (seção 3.6), e distribuiu um espectrômetro para cada grupo. Mostrou como se usava o espectrômetro e, em seguida, pediu que os alunos fossem até o lado de fora da sala e observassem o Sol através dele. Rapidamente os alunos perceberam a existência de um pedaço de CD dentro do espectrômetro. Ao retornar à sala os alunos foram indagados sobre o que tinham observado, o que muitos responderam *“A gente viu a cor do CD!”* Essa resposta já era esperada, pois a concepção de que as cores do espectro observadas através do CD pertencem ao próprio CD, já havia sido observada pelo professor em outras ocasiões.

O professor então distribuiu pedaços de papel celofane de diferentes cores e também fita adesiva para os grupos, pedindo que os alunos observassem novamente o Sol com a entrada do espectrômetro coberta com papel celofane. Ao retornarem novamente à sala o professor repetiu a pergunta *“O que vocês observaram?”* *“Agora ficou azul!”* Respondeu um dos alunos. O professor então explicou que o colorido inicial que eles observaram não era exatamente a cor do CD. Na realidade a luz proveniente do Sol é composta de várias cores diferentes. O que ocorre durante a interação entre essa luz vinda do Sol e o CD é a separação das cores. *“Quando a entrada do espectrômetro foi coberta pelo celofane ele absorveu uma parte daquelas cores, só deixando passar pra dentro da caixa a parte que ele não consegue absorver”*. O professor explicou então que as diferentes cores dos celofanes estavam diretamente relacionadas às radiações que as moléculas que compõem cada um dos diferentes celofanes são capazes de absorver.

O professor utilizou então uma outra transparência (anexo B) que apresentava todo o espectro de radiações eletromagnéticas. Com o auxílio dessa transparência relacionou a energia de cada radiação a seu comprimento de onda. Em seguida, utilizando mais uma transparência (anexo B), o professor

apresenta os espectros de emissão de alguns elementos, explicando que esses espectros são uma característica única de cada elemento. Nesse momento um dos alunos então perguntou se “*O tipo da radiação depende de qual órbita o elétron vai mudar?*” Essa pergunta demonstra claramente uma relação que o aluno percebeu entre espectros de emissão, que estavam sendo apresentados pelo professor, e modelo atômico de Bohr. Esses espectros já haviam sido apresentados no início dessa segunda aula, num dos episódios da série de vídeos, quando aspectos do modelo de Bohr estavam sendo discutidos. A pergunta do aluno é um indício de que a informação recebida inicialmente através do vídeo adquire para este aluno um significado à medida que a aula progride.

Ainda dentro da discussão sobre espectros e modelo atômico de Bohr uma aluna perguntou “*Isso tem a ver com o interruptor da lâmpada, não tem?*” O professor perguntou qual era essa relação que ela havia percebido, mas ela não soube explicar naquele momento. A aluna associou de alguma maneira uma informação sobre o interruptor da lâmpada, que ela possivelmente já havia observado diversas vezes, à discussão que estava sendo feita sobre modelos de interação da radiação com a matéria. A pergunta da aluna dá indícios da ocorrência de um processo denominado reconciliação integrativa descrito pela teoria de Ausubel (NOVAK, 1981). Esse processo ocorre quando uma informação específica presente na estrutura cognitiva de um indivíduo passa a se relacionar a um conceito novo e mais geral que a informação preexistente.

Usando novamente a primeira transparência o professor destacou que a principal diferença existente entre o modelo de Bohr e o modelo mecânico ondulatório estava na impossibilidade imposta pela física quântica de se atribuir órbitas para os elétrons. A física quântica só permite falar nas regiões onde existe a probabilidade de se encontrar os elétrons em torno do núcleo. Durante a apresentação das representações das densidades de probabilidade de se encontrar o elétron em um átomo em seus diferentes níveis de energia, feita com o auxílio de uma das transparências, uma aluna perguntou se o núcleo continuava no centro do átomo, o que o professor respondeu positivamente.

A segunda aula extrapolou bastante o tempo planejado. Em parte isso ocorreu pelo pequeno número de espectrômetros (10 espectrômetros) e pela empolgação dos alunos durante as observações do espectro solar, mas também pela novidade do assunto tratado. A participação inicial dos alunos ficou aquém das expectativas. Acredita-se que isso ocorreu porque os três últimos episódios da série de vídeos traziam um grande número de informações totalmente novas para os estudantes. Porém essa dificuldade inicial parece ter sido contornada no decorrer da aula. Na próxima seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos pelos alunos do grupo experimental no pós-teste, que foi respondido por eles uma semana após a o término da experiência didática.

#### **4.5 – Análise dos resultados do pós-teste**

Nesta seção serão analisados e discutidos os resultados obtidos pelos 39 alunos do grupo experimental no pós-teste, realizado uma semana após a experiência didática. Os resultados do pós-teste foram confrontados com o pré-teste do grupo experimental e com os resultados da terceira série do grupo controle. Também serão analisados os dados qualitativos de cada questão.

Na primeira etapa desta pesquisa, buscou-se elaborar um diagnóstico das concepções de estudantes da primeira e terceira séries de ensino médio (grupo controle) e com o auxílio desses dados, elaborar uma experiência didática sobre os temas. Na segunda etapa da pesquisa, a experiência didática foi realizada com um grupo experimental que respondeu ao mesmo questionário antes (pré-teste) e depois (pós-teste) para avaliar a eficiência da experiência didática.

Acredita-se que a maneira como o questionário foi elaborado, com várias questões que permitiam que os estudantes expusessem com bastante liberdade suas idéias sobre os temas, permitiu que ele pudesse ser utilizado como pré e pós-testes.

No gráfico 4.12, as médias dos resultados obtidos pelos 39 alunos do grupo experimental no pós-teste, em cada questão, são apresentadas e comparadas com as médias dos resultados obtidos pelo próprio grupo experimental, no pré-teste e, também, com as médias dos resultados obtidos pelos 175 alunos da terceira série do grupo controle.

### RESULTADOS POSITIVOS - GRUPOS EXPERIMENTAL (pré e pós testes) E CONTROLE (3ª série)

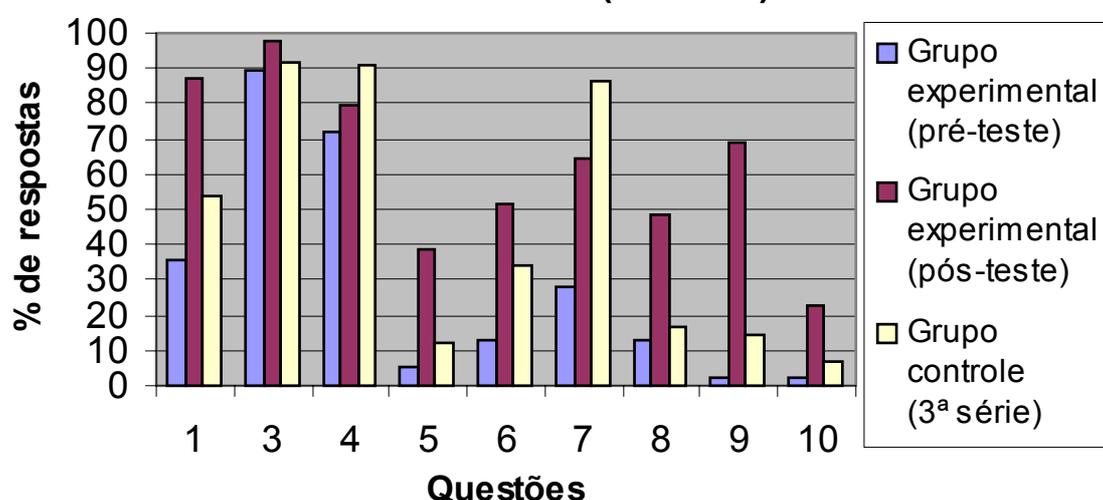


Gráfico 4.12: Este gráfico contrapõe os resultados positivos obtidos pelos alunos da terceira série do grupo controle com os resultados positivos obtidos alunos do grupo experimental no pré e no pós-testes. Foram consideradas positivas as respostas categorizadas como corretas ou parcialmente corretas. É importante destacar que a segunda questão não foi apresentada neste gráfico.

Pode-se observar pela comparação dos resultados no pré e pós-testes apresentados no gráfico 4.12 que em todas as questões, sem exceção, houve um melhor desempenho dos estudantes do grupo experimental no pós-teste, com exceção das questões 3 e 4, onde a diferença não foi expressiva.

Pode-se comparar no gráfico 4.12 as médias dos alunos do grupo experimental com os alunos da terceira série do grupo controle e observar que o grupo experimental, no pós-teste, superou o grupo controle em quase todas

as questões. Convém lembrar que do grupo controle participam duas escolas federais, tradicionais na região, que promovem uma seleção de alunos razoavelmente rigorosa no início do ensino médio. O sistema estadual de ensino não promove seleção de alunos, o valoriza os resultados encontrados neste trabalho.

Para finalizar a discussão sobre as questões apresentadas no gráfico 4.12 será apresentada uma comparação entre os resultados positivos e negativos do grupo experimental nos pré e pós-testes e dos alunos da terceira série do grupo controle. Foram considerados como resultados positivos a soma das médias obtidas nas categorias correta e parcialmente correta e resultados negativos as somas das médias das demais categorias. A tabela 5b também consta no anexo B.

<b>Percentual de Resultados</b> <b>Grupo</b> ↗ ↘	<b>Positivos</b> <b>(%)</b>	<b>Negativos</b> <b>(%)</b>
<b>Experimental (pré-teste)</b>	<b>29,1</b>	<b>70,9</b>
<b>Experimental (pós-teste)</b>	<b>62,2</b>	<b>37,8</b>
<b>Controle</b>	<b>45,2</b>	<b>54,8</b>

Tabela 16: Resultados positivos e negativos dos alunos do grupo experimental nos pré e pós-testes confrontados com os resultados dos alunos da terceira série do grupo controle. Foram consideradas positivas as respostas classificadas como corretas e parcialmente corretas.

Na tabela 16 observa-se que houve um aumento de 33,1 % na média de respostas positivas no grupo experimental após a experiência didática. Observa-se ainda que a média de respostas positivas dos alunos do grupo experimental no pós-teste ficou 17 % acima da média dos alunos da terceira série do grupo controle. Esses resultados permitem que, de uma maneira geral, a experiência didática seja considerada positiva.

Em seguida serão apresentados dados qualitativos das questões analisadas no gráfico 4.12. Foram selecionadas algumas respostas de alunos do grupo experimental no pré e no pós-testes. Um dos critérios adotados foi a presença de elementos semelhantes em um grande número de respostas. Serão privilegiados também dados que exemplifiquem bem a evolução ocorrida nas respostas dos alunos após a experiência didática. A análise aqui se restringe aos 39 alunos do grupo experimental e sempre será apresentada a resposta que um mesmo aluno deu ao pré e pós-teste em determinada questão.

Buscava-se na primeira questão a opinião do estudante sobre a composição da matéria. Esperava-se que se ele tivesse convicção na teoria atômica da matéria sua resposta afirmasse que todos os objetos e seres que ele conhece são compostos por átomos. Percebeu-se no pré-teste uma grande quantidade de respostas que faziam uma distinção entre a composição dos seres vivos e da composição dos objetos inanimados, como apresentada abaixo. Pode-se observar também a mudança na resposta do aluno após a experiência didática.

**Pré-teste:** *“Não. Acredito que os objetos são feitos através da matéria-prima com o homem sendo o criador, e os seres são aqueles que Deus criou, tanto os animais como também os seres humanos”.*

**Pós-teste:** *“Não. Eu acho que são feitos de átomos”.*

Aspectos da segunda questão serão discutidos mais adiante, a terceira e a quarta questões são objetivas, logo não cabem nessa análise que está sendo realizada. A questão seguinte então é a quinta, que está relacionada ao uso de modelos em ciência. Para ser classificada como correta a resposta tinha que conter a idéia de que modelos são representações que guardam relações com a realidade, mas não podem ser confundidos com ela. Essa questão apresentou um índice de respostas positivas muito baixo no pré-teste e, apesar

de ter evoluído consideravelmente, no pós-teste o índice de respostas positivas ficou abaixo de quarenta por cento. Foi percebido no pré-teste um grande número de respostas que buscavam apoio nos próprios elementos fornecidos no enunciado, o que indicava que os autores dessas respostas não tinham conhecimento do assunto. A resposta selecionada corresponde a um aluno que no pós-teste teve resultado positivo, e no pré-teste resultado considerado negativo.

**Pré-teste:** *“Acho que a palavra está sendo usada com o significado de exemplo”*

**Pós-teste:** *“modelo é a representação que damos ao espreitar uma coisa que estamos estudando”*

A questão número seis também teve um baixo índice de respostas positivas no pré-teste. Ela é uma questão que realmente não é simples, mas a exigência para que a resposta fosse considerada positiva era somente que nela constasse que a absorção da radiação pela matéria depende da composição atômica do material e também da radiação incidente. Se o estudante citasse somente aspectos relacionados à composição atômica, que foi o mais comum, ou somente à radiação, sua resposta seria considerada positiva. A seguir são apresentadas as respostas de um estudante no pré e no pós-testes. A resposta dada no pré-teste foi considerada negativa e dada ao pós-teste foi considerada positiva.

**Pré-teste:** *Pois o material que é composto o vidro é diferente do material do papel.*

**Pós-teste:** *Pois cada material tem uma forma única para si. O átomo do vidro absorve menos energia do que o átomo da folha de papel.*

A sétima questão podia ser respondida sem que o estudante tivesse conhecimento sobre a estrutura atômica. O critério para avaliação dessa questão foi semelhante à da questão anterior. A maioria dos alunos cujas respostas foram consideradas positivas respondeu que a camisa preta absorve mais a radiação solar do que a camisa branca. A resposta dada no pré-teste traz um elemento comum em muitas respostas que é a idéia de que o objeto “puxa” a radiação, questões semelhantes a essa foram consideradas negativas. Respostas semelhantes a apresentada no pós-teste abaixo, foram consideradas como positivas.

**Pré-teste:** *“Porque a camisa branca funciona como um isolante térmico e a camisa preta atrai a radiação solar”.*

**Pós-teste:** *“Porque a camisa branca absorve menos luz solar e a preta absorve mais luz solar”.*

A questão número oito buscava informações sobre as concepções dos estudantes a respeito da emissão de radiação pela matéria. Foi observado no pré-teste um grande número de respostas redundantes como a apresentada abaixo. Para ser classificada como positiva a resposta tinha que conter pelo menos a idéia de que a composição de um objeto pode ser analisada através da luz que ele emite, que foi o mais comum entre as respostas positivas tanto no pré quanto no pós-testes. Abaixo é apresentado um exemplo de resposta mais completa que foi dada por um aluno no pós-teste.

**Pré-teste:** *“Acho que (não) foi necessário o homem ir lá porque mesmo estando longe, o homem foi capaz de fazer uma pesquisa aprofundada para que isso fosse afirmado”.*

**Pós-teste:** *“Podemos afirmar que o Hélio emite uma característica específica, como se fosse digitais diferentes”.*

A nona questão também está relacionada à emissão de radiação pela matéria. Ela fala de um fenômeno chamado fosforescência. Foram consideradas positivas as respostas que pelo menos afirmaram que esses materiais emitem de maneira lenta a radiação que absorveram. Essa questão sofreu uma grande elevação no percentual de respostas consideradas positivas, possivelmente por ter sido discutida explicitamente durante a experiência didática, após um questionamento feito por uma aluna. Abaixo são apresentadas as respostas dadas por um aluno no pré e no pós-teste. A resposta selecionada é um exemplo típico de respostas encontradas no pré-teste. A elas não foi possível atribuir um sentido, sendo assim classificadas como negativas. A resposta dada no pós-teste por esse aluno representa um pequeno número de respostas onde foram mencionados processos atômicos, e por isso considerada positiva.

**Pré-teste:** *“Por que o material dele é feito de alguma forma de possível visibilidade para os olhos”.*

**Pós-teste:** *“Porque ao longo do dia ele absorve da luz do sol grande quantidade que faz com que isso aconteça, é um processo de absorção e liberação dos átomos”.*

Na última questão observou-se que poucos alunos apresentaram evolução dos conhecimentos após a experiência didática. Essa questão buscava algum indício nas respostas dos alunos sobre os processos de transição que ocorrem em nível atômico-molecular durante a interação da radiação com a matéria. Apesar do baixo desempenho pôde-se observar nas respostas de alguns alunos uma evolução significativa. Abaixo são

apresentadas as respostas de dois alunos no pré e pós-testes. Pode-se observar através da comparação das respostas dadas no pré-teste com as respostas dadas ao pós-teste por esses alunos, o surgimento de novos elementos que foram discutidos durante a interação didática.

#### Aluno 1

**Pré-teste:** *Cada uma e mais forte que a outra. Se fossemos tirar uma foto num aniversário com um raio x só iria sair os esqueletos na festa.*

**Pós-teste:** *Cada luz emitida vem de uma camada de energia diferente quanto mais forte a energia mais forte será a fotografia.*

#### Aluno 2

**Pré-teste:** *Porque não são todos iguais e cada um desses objetivos é necessário de uma radiação diferente.*

**Pós-teste:** *Porque toda matéria é formado por diferentes arrumações de átomos. ex: os raios x passa pela carne com facilidade e consegue chegar até o osso.*

Finalizando a análise de dados qualitativos o gráfico 4.13, apresenta os resultados obtidos na segunda questão. Serão confrontados os resultados do pré-teste e do pós-teste dos 39 alunos do grupo experimental com os resultados dos 175 alunos da terceira série do grupo controle.

## QUESTÃO 2 - GRUPOS EXPERIMENTAL (pré e pós-testes) E CONTROLE (3ª série)

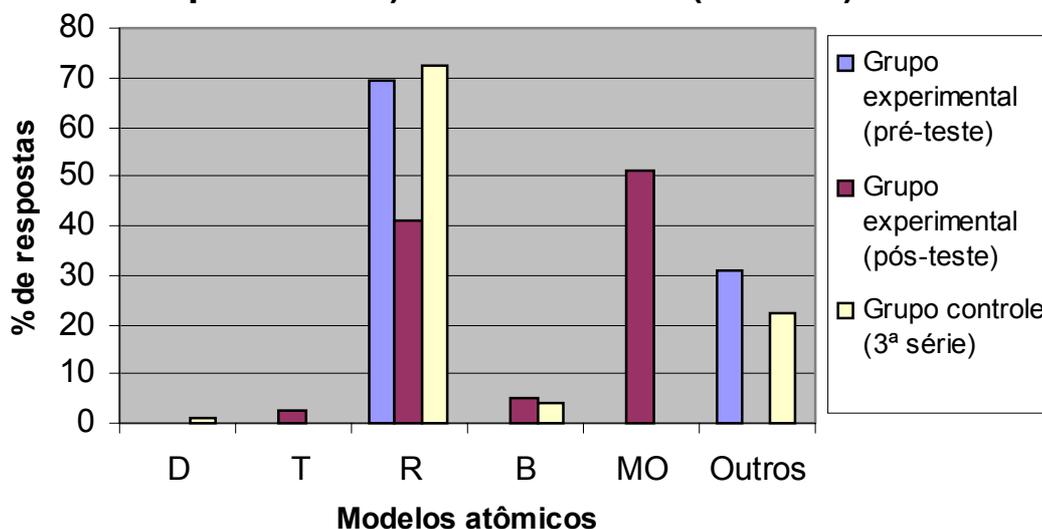
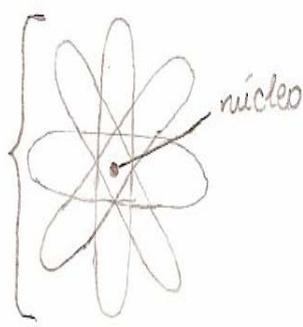


Gráfico 4.13: Este gráfico contrapõe os resultados obtidos pelos alunos da terceira série do grupo controle com os resultados obtidos pelos alunos do grupo experimental no pré e no pós-testes na segunda questão. As categorias das respostas são: Modelo atômico de Dalton (D), Modelo atômico de Thomson (T), Modelo atômico de Rutherford (R), Modelo atômico de Bohr (B), Modelo mecânico ondulatório (MO) e respostas confusas ou não respondeu (Outros).

Observa-se no gráfico 4.13 que mais de cinquenta por cento dos estudantes do grupo experimental, após a experiência didática, representaram o átomo segundo o modelo descrito pela mecânica quântica, que é a representação mais atual do modelo atômico. As representações dos alunos do grupo experimental no pré-teste eram semelhantes às dos alunos do grupo controle, que consistia em um núcleo central orbitado por elétrons. A figura 4.2 mostra a resposta dada por um aluno do grupo experimental no pré-teste. Respostas semelhantes a essa foram associadas ao modelo atômico de Rutherford.

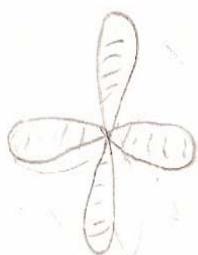


núcleo + é o centro do átomo, eu sei, e

meio

Figura 4.2: Representação apresentada como resposta à segunda questão por um aluno do grupo experimental no pré-teste.

Após a realização da experiência didática, muitos alunos fizeram uma representação do átomo semelhante à apresentada na figura 4.3. Representações semelhantes a da figura 4.4 foram mais raras no pós-teste. Nela percebe-se que o processo histórico de evolução dos modelos atômicos discutido durante a interação didática foi significativo para este estudante.



É mais provável que  
os elétrons estejam na  
parte externa.

Figura 4.3: Representação apresentada como resposta à segunda questão por um aluno do grupo experimental no pós-teste.

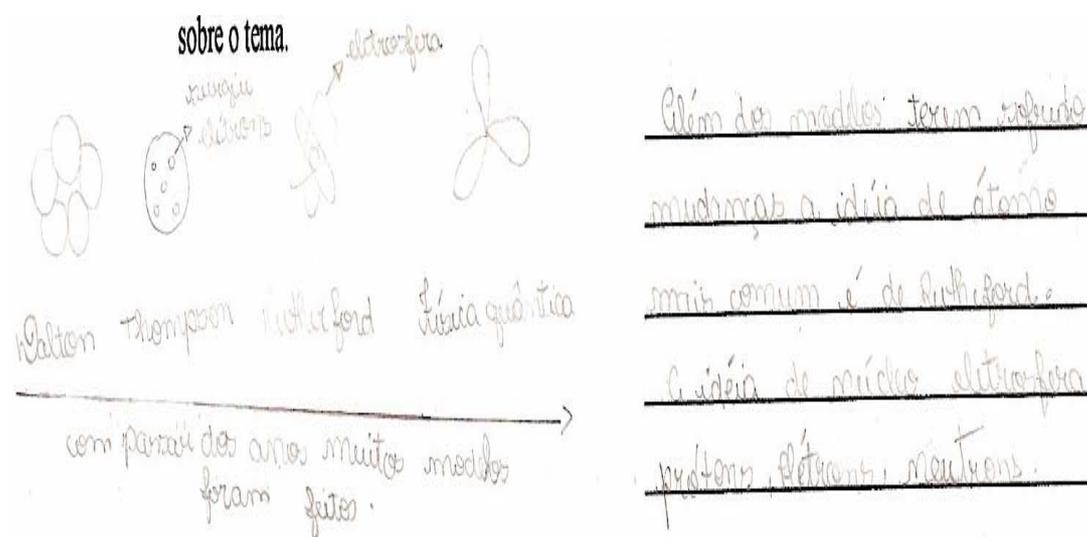


Figura 4.4: Representação apresentada como resposta à segunda questão por um aluno do grupo experimental no pós-teste.

Os resultados desta questão se diferenciam dos demais devido a migração de metade dos alunos do grupo experimental da representação do modelo de Rutherford para a representação do modelo da mecânica ondulatória, após a realização da experiência didática. Isso evidencia que as discussões sobre os temas, implementadas durante a experiência didática, foram potencialmente significativas, o que possivelmente contribuiu para uma incorporação por parte dos alunos de um novo conceito de átomo.

## **CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste último capítulo serão feitas considerações a respeito dos aspectos considerados mais relevantes durante o desenvolvimento dessa pesquisa. Serão destacados os pontos que foram considerados positivos e outros mereçam um maior aprofundamento. Após a conclusão do trabalho, quando se adquiriu uma visão mais ampla e completa da pesquisa realizada, percebeu-se a necessidade de continuar a investigação sobre a aprendizagem dos estudantes, que deve ser uma reflexão permanente no cotidiano do professor.

Durante toda a realização da pesquisa a teoria de aprendizagem significativa foi a base teórica educacional que indicou os caminhos que foram trilhados. Ausubel afirma que um dos elementos que exercem maior influência na aprendizagem do estudante é aquilo que ele já sabe (NOVAK, 1981). Com base nessa idéia foi realizado um levantamento inicial sobre as concepções de 380 alunos de três escolas públicas, grupo controle, sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria. O mesmo levantamento também foi realizado com um grupo de 39 alunos de terceira série do ensino médio (grupo experimental). Os alunos desse último grupo participaram posteriormente de uma experiência didática sobre os temas. As concepções iniciais dos estudantes obtidas nesse levantamento inicial indicaram questões que deviam receber uma maior atenção durante a interação didática.

Durante a etapa de planejamento da experiência didática, a organização hierárquica, em um mapa conceitual, do conhecimento que foi discutido em sala de aula com os estudantes, possibilitou que se tivesse maior segurança quanto à seqüência em que as atividades deviam ser desenvolvidas. Mapas conceituais decorrem naturalmente da teoria de Ausubel (BUCHWEITZ e MOREIRA, 1987), e seu uso no planejamento das atividades possibilitou que se tivesse uma maior clareza sobre a importância de cada uma delas.

A utilização dos recursos didáticos (experimentos com materiais simples e vídeos) durante a experiência didática, teve como objetivos tornar os assuntos

potencialmente mais significativos e despertar o interesse dos estudantes sobre os temas abordados. A utilização desses recursos como motivadores da aprendizagem é justificada pela teoria de Ausubel, pois a predisposição do estudante para aprender e o quão potencialmente significativa é a informação que chega a esse estudante, são fatores que exercem grande influência sobre sua aprendizagem (NOVAK,1981).

Durante a realização da experiência didática foi adotada como estratégia incentivar os estudantes a tomar consciência de suas concepções a respeito dos modelos atômicos e da interação da radiação com a matéria, de modo a tentar permitir que eles pudessem perceber diferenças entre suas concepções prévias e o conhecimento adotado pela comunidade científica, em cada época. Essa estratégia foi inspirada no trabalho de Mortimer (2000), que realizou uma pesquisa sobre as concepções atomistas de um grupo de estudantes do ensino fundamental. Nessa pesquisa Mortimer percebeu a dificuldade dos alunos com os conceitos científicos e, buscou trabalhar com os alunos o confronto entre suas explicações e as científicas. Mortimer usou como referencial a noção de perfil epistemológico de Bachelard que, como foi discutido anteriormente na seção 3.1, acredita-se que é consistente com a teoria de Ausubel.

O trabalho de Mortimer também orientou a metodologia de avaliação da aprendizagem utilizada aqui nesta pesquisa. A utilização de um pré e um pós-testes, aliada a análise das transcrições dos diálogos estabelecidos durante a experiência didática, foi eficiente para diagnosticar evolução das concepções atomistas dos estudantes. Essa experiência bem sucedida inspirou a utilização da mesma estratégia de avaliação aqui neste trabalho.

De maneira geral, acredita-se que os resultados obtidos foram positivos. A diferença de 33 por cento entre os resultados médios positivos dos estudantes do grupo experimental no pré e no pós-testes parece satisfatória. A evolução das representações atômicas dos estudantes após a experiência didática foi de aproximadamente 50 por cento, indicando desempenho satisfatório. A comparação das respostas dadas por alunos antes e depois da experiência

didática, em várias questões do questionário, mostrou que alguns deles se apropriaram de elementos que estiveram presentes durante a experiência, alcançando o objetivo pretendido. A comparação dos resultados dos estudantes do grupo experimental, com os resultados dos alunos da terceira série do grupo controle, permitiu que se tivesse idéia do avanço dos primeiros em um cenário mais amplo, e nesse cenário os resultados obtidos foram positivos.

Com base na análise dos resultados, acredita-se que os dois recursos didáticos que foram utilizados contribuíram para a aprendizagem dos estudantes. Os vídeos didáticos se mostraram eficientes no sentido de atrair a atenção. Os recursos visuais foram atrativos e, mesmo quando o assunto era totalmente estranho aos alunos, boa parte da turma permaneceu atenta à apresentação dos vídeos. Acredita-se que o uso desses vídeos possibilitou ainda que os estudantes tivessem uma melhor compreensão dos conceitos.

Os experimentos confeccionados com materiais de baixo custo, além de servir para ilustrar alguns pontos dos assuntos discutidos em sala de aula, serviram ainda para ilustrar o caráter experimental da ciência, que muitas vezes, sob a justificativa da falta de um laboratório didático, fica ausente das salas de aula do ensino médio.

As mudanças nas concepções não foram observadas somente nos estudantes. A realização dessa pesquisa também contribuiu muito para o trabalho docente de seu autor, principalmente com relação ao planejamento do ensino e à pesquisa em sala de aula.

Uma questão que ainda permanece em aberto é a avaliação da aprendizagem significativa dos estudantes sobre os temas discutidos durante a experiência didática. A teoria de Ausubel diz que quando uma nova informação se liga de uma maneira não arbitrária e hierarquicamente organizada à estrutura cognitiva de um indivíduo, ocorre o que ele denomina de aprendizagem significativa. Esse tipo de aprendizagem é bastante estável e duradouro e provavelmente informações aprendidas significativamente permanecerão na estrutura cognitiva do aprendiz por toda a vida (NOVAK, 1981). Para que se tenha

maior clareza sobre o quão significativo foram para os estudantes as informações discutidas, pretende-se realizar mais uma sondagem junto aos alunos do grupo experimental, antes que concluam o ensino médio, com o objetivo de verificar a permanência dos conceitos discutidos neste trabalho em suas estruturas cognitivas. Pensa-se em elaborar um novo instrumento de avaliação para realizar essa tarefa ou talvez realizar uma entrevista com esses alunos.

Finaliza-se essa dissertação com a esperança de que a pesquisa nela relatada possa de alguma maneira contribuir para a melhorias no ensino de Física na educação básica.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

27/2006

Leal, Christiano Carvalho

Modelo atômico e interação da radiação com a matéria: concepções de um grupo de alunos do ensino médio / Christiano Carvalho Leal. – Campos dos Goytacazes, 2006.

xv, 121f. : il.

Orientador: Marília Paixão Linhares.

Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) --Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Ciências Físicas. Campos dos Goytacazes, 2006.

Área de concentração: Ensino de ciências

Bibliografia: f. 101-104

1. Ensino de física 2. Modelos atômicos 3. Interação da radiação com a matéria I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Ciências Físicas II. Título

CDD 530.7

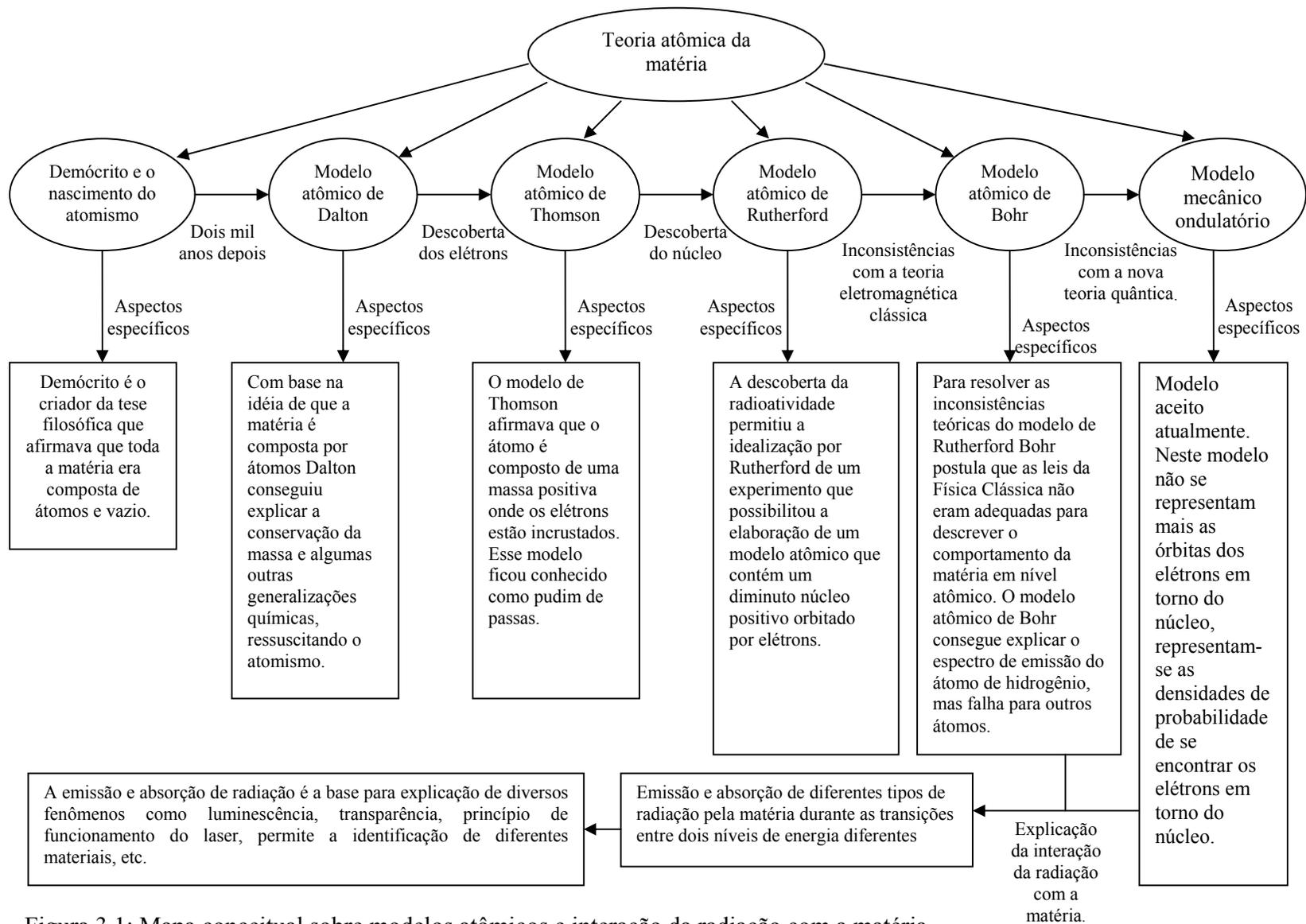


Figura 3.1: Mapa conceitual sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria.

**MODELO ATÔMICO E INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A  
MATÉRIA: CONCEPÇÕES DE UM GRUPO DE ALUNOS DO  
ENSINO MÉDIO**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF

Christiano Carvalho Leal

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual do Norte Fluminense como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Marília Paixão Linhares

CAMPOS DOS GOYTACAZES / RJ

Julho de 2006

**MODELO ATÔMICO E INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA:  
CONCEPÇÕES DE UM GRUPO DE ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF**

**Christiano Carvalho Leal**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual do Norte Fluminense como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Naturais.

Aprovada em: 27/07/2006

Comissão examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Maria Regina Dubeux Kawamura, DSc. – USP-SP

---

Prof. Fernando José Luna de Oliveira, DSc. – UENF

---

Prof. Roberto Trindade Faria Júnior, DSc. – UENF

---

Prof. José Glauco Ribeiro Tostes, DSc. – UENF

---

Prof<sup>a</sup>. Marília Paixão Linhares, DSc. – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES / RJ

Julho de 2006

Aos meus pais, esposa e filha.

## **AGRADECIMENTOS**

Muitos participaram direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho e a eles sou extremamente grato: minha esposa pela dedicação, incentivo e compreensão; minha jovem filha Giovana pelos muitos momentos de prazer que me proporcionou ao me convidar para uma brincadeira e me tirar da frente do computador; meus pais, pelo incentivo que sempre me deram para que eu estudasse; minhas irmãs e amigos pelo companheirismo e incentivo; à Professora Marília Paixão Linhares que me acolheu e apoiou num momento muito difícil para mim, teve o “feeling” de perceber minhas dificuldades e limitações e a generosidade e paciência de me ajudar a superá-las. A você professora Marília, sou muito grato; ao Professor José Glauco Tostes pelas ótimas aulas que ministrou e que tive a felicidade de participar; à professora Leda Mathias coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais por acreditar em mim e pelo incentivo; aos companheiros do programa de pós-graduação, em especial aos grandes amigos José Antônio Pinto, Ricardo Bastos e Maria Helena Pamplona pelas prazerosas conversas, trocas de experiências e grande incentivo e, finalizando, ao povo brasileiro, que com muito esforço, financia desde muito tempo meus estudos. A todos vocês, mais uma vez, meus sinceros agradecimentos, muito obrigado.

## SUMÁRIO

<b>Índice de figuras</b> .....	viii
<b>Índice de gráficos</b> .....	ix
<b>Índice de tabelas</b> .....	xi
<b>Resumo</b> .....	xiii
<b>Abstract</b> .....	xiv
<b>Capítulo 1 - Introdução</b> .....	1
<b>Capítulo 2 - Referencial teórico</b> .....	5
2.1 - Teorias de aprendizagem.....	5
2.2 - A teoria de aprendizagem de Ausubel.....	7
2.2.1 - Subsunçores.....	7
2.2.2 - Aprendizagem significativa.....	10
2.2.3 - Organizadores prévios.....	12
<b>Capítulo 3 - Metodologia</b> .....	16
3.1 – Revisão bibliográfica.....	16
3.2 – Preparação do questionário.....	23
3.3 – Preparação da experiência didática.....	27
3.4 – Os vídeos.....	33
3.5 – Experimento 1 - Medindo a espessura de uma película de óleo.....	35
3.5.1 – Materiais utilizados.....	36
3.5.2 – Passos para realização do experimento.....	37
3.5.3 – Modelo matemático.....	38
3.6 – Experimento 2 - Espectrômetro.....	41

3.6.1 – Materiais utilizados.....	41
3.6.2 – Passos para confecção do espectrômetro.....	42
3.6.3 – Como usar o espectrômetro.....	43
<b>Capítulo 4 – Análise dos resultados .....</b>	<b>48</b>
4.1 – Sobre a categorização das respostas.....	49
4.2 – Análise dos resultados obtidos com o grupo controle.....	51
4.2.1 – Questão 1.....	51
4.2.2 - Questão 2.....	54
4.2.3 - Questões 3 e 4.....	61
4.2.4 - Questão 5.....	63
4.2.5 - Questão 6.....	65
4.2.6 - Questão 7.....	67
4.2.7 - Questão 8.....	70
4.2.8 - Questão 9.....	72
4.2.9 - Questão 10.....	74
4.3 – Análise dos resultados obtidos com o grupo experimental.....	77
4.4 – Análise qualitativa das interações ocorridas durante a experiência didática.....	80
4.4.1 – Aula 1.....	81
4.4.2 – Aula 2 .....	84
4.5 – Análise dos resultados do pós-teste.....	88
<b>Capítulo 5 – Considerações finais .....</b>	<b>99</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>103</b>

<b>ANEXO A - Tabelas</b> .....	107
<b>ANEXO B - Transparências</b> .....	116
<b>ANEXO C - questionário</b> .....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Uma possível representação das estruturas (...)	9
Figura 1.2 : Relação hierárquica entre conceitos	14
Figura 3.1: Mapa conceitual sobre modelos atômicos (...)	32
Figura 3.2: Materiais utilizados no experimento (...)	36
Figura 3.3: Medindo o diâmetro da gota de óleo	38
Figura 3.4: Materiais utilizados na confecção do espectrômetro	41
Figura 3.5: Montagem do espectrômetro	42
Figura 3.6: Visão exterior do espectrômetro (...)	43
Figura 3.7: Representação do funcionamento do espectrômetro	44
Figura 3.8: Imagem do espectro solar obtida com o espectrômetro	45
Figura 3.9: Imagem do espectro solar (...) celofane azul	46
Figura 3.10: Imagem do espectro solar (...) celofane verde	47
Figura 3.11: Imagem do espectro solar (...) celofane vermelho	47
Figura 4.1: Representação de um aluno (...)	60
Figura 4.2: Representação apresentada como (...)	97
Figura 4.3: Representação apresentada como (...)	97
Figura 4.4: Representação apresentada como (...)	98

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1: Desempenho percentual médio dos alunos da primeira e terceira séries do grupo controle na primeira questão do questionário.....	53
Gráfico 4.2: Gráfico 4.2: desempenho percentual médio dos alunos da primeira e terceira séries na segunda questão do pré-teste.....	60
Gráfico 4.3: Desempenho percentual médio dos alunos da primeira e terceira séries do grupo controle na quinta questão do questionário.....	64
Gráfico 4.4: Desempenho percentual médio dos alunos da primeira e terceira séries do grupo controle na sexta questão do questionário.....	66
Gráfico 4.5: Desempenho percentual médio dos alunos do grupo controle da primeira e terceira séries na sexta questão do questionário.....	69
Gráfico 4.6: Desempenho percentual médio dos alunos do grupo controle da primeira e terceira séries na oitava questão do questionário.....	71
Gráfico 4.7: Desempenho percentual médio dos alunos do grupo controle da primeira e terceira séries na nona questão do questionário.....	73
Gráfico 4.8: Desempenho percentual médio dos alunos do grupo controle da primeira e terceira séries na décima questão do questionário.....	75
Gráfico 4.9: Desempenho percentual médio dos alunos do grupo controle da primeira e terceira séries no questionário, exceto na segunda questão.....	76

Gráfico 4.10: Desempenho percentual médio (resultados positivos) dos alunos da terceira série do grupo controle e dos alunos do grupo experimental no pré-teste, exceto na segunda questão.....	78
Gráfico 4.11: Desempenho percentual médio dos alunos do grupo experimental no pré -teste e dos alunos da terceira série do grupo controle na segunda questão.....	80
Gráfico 4.12: Desempenho percentual médio dos alunos da terceira série do grupo controle e dos alunos do grupo experimental no pré e pós-testes, exceto na segunda questão.....	89
Gráfico 4.13: Desempenho percentual médio do grupo experimental nos pré e pós-testes e dos alunos da e terceira série do grupo controle na segunda questão. .....	96

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo controle na primeira questão do questionário.....	107
Tabela 2: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo controle na segunda questão do questionário.....	108
Tabela 3: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo controle na terceira e quarta questão do questionário.....	108
Tabela 4: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo controle na quinta questão do questionário.....	109
Tabela 5: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo controle na sexta questão do questionário.....	109
Tabela 6: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo controle na sétima questão do questionário.....	110
Tabela 7: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo controle na oitava questão do questionário.....	110
Tabela 8: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo controle na nona questão do questionário.....	111
Tabela 9: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo controle na décima questão do questionário.....	111
Tabela 10: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo controle em nove das dez questões do questionário.....	112

Tabela 11: Resultados percentuais médios considerados positivos e negativos dos alunos do grupo controle nas nove questões apresentadas na tabela 10. Foram considerados positivos a soma dos resultados médios nas categorias correta e parcialmente correta. Foram considerados negativos a soma das demais categorias.....	112
Tabela 12: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo experimental em nove das dez questões no pré e no pós-testes.....	113
Tabela 13: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo experimental na segunda questão no pré e no pós-testes.....	114
Tabela 14: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo experimental no pós-testes confrontados com os resultados percentuais médios dos alunos do grupo controle.....	114
Tabela 15: Resultados percentuais médios dos alunos do grupo experimental no pós teste confrontados com os resultados percentuais médios dos alunos da terceira série do grupo controle na segunda questão.....	115
Tabela 16: Resultados positivos e negativos dos alunos do grupo experimental nos pré e pós-testes confrontados com os resultados dos alunos da terceira série do grupo controle.....	90 e 115

## RESUMO

Esse trabalho de pesquisa consiste na elaboração e realização de uma experiência didática sobre modelos atômicos e interação da radiação com a matéria junto a um grupo de 39 alunos da terceira série do ensino médio de uma escola pública. Esse grupo foi identificado como grupo experimental. A teoria de aprendizagem significativa foi o referencial teórico que embasou o desenvolvimento dessa pesquisa.

Antes da realização da experiência foi feito um levantamento, através de um questionário, das concepções de 380 estudantes de algumas escolas públicas sobre os temas. Esse grupo de estudantes foi identificado como grupo controle, e os dados obtidos no levantamento além de auxiliarem na elaboração da experiência didática, serviram como uma base de dados para comparação com os resultados obtidos pelos alunos do grupo controle após a realização da experiência didática.

Durante a experiência didática foram utilizados como recursos didáticos dois experimentos confeccionados com materiais de baixo custo e uma série de vídeos sobre o tema modelos atômicos. A grande importância dos temas modelos atômicos e interação da radiação com a matéria para a tecnologia atual, muito presente no cotidiano dos estudantes, motivaram sua apresentação. Um fator motivador também foi a sua recomendação para o ensino médio, presente nas orientações legais (BRASIL, 2002).

Após a realização da experiência didática foi verificada, através do pós-teste e da análise dos diálogos ocorridos durante a experiência, evolução nas concepções dos estudantes sobre os temas.

## **ABSTRACT**

This work consists in carrying out a didactic experience about atomic models and radiation-matter interaction at public schools with a group of thirty nine high school students. This group was named experimental group. The Ausubel significative learning theory was used as a theoretical referential which has been the basis of the development of there search.

Before the experience drawing up, it was carried out a survey, thru a questionnaire of 380 public school students about the theme. This group of students was identified as the control group and the data obtained in the survey helped to didactic experience drawing up moreover has it considered as the data basis for the comparison with the control group results after runningthe didactic experience.

During the didactic experience two experiments were used as didactic resources, made wich low prices material and a atomic models video tape serie. The big importance of atomic models and radiation-matter interaction for the nowadays technology, often present in students daily, motivated its choice. Another motivation factor was the legal orientation for high school themes recommendation (BRASIL, 2000).

After the carry out of the didactic experience was verified, thru a post-test and a dialog analyses occurred during the experience, a evolution in the conceptions of the students about the theme.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVARENGA, B., MÁXIMO, A. **Curso de Física** v.2. São Paulo: Scipione, 2000.

ATKINS, P.W. **Físico-Química**. v. 2. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1999.

AUSUBEL, D.P. **Educational Psychology: A cognitive view**. Nova York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

BASSO, A.C. **O átomo de Bohr no nível médio: uma análise sob o referencial lakatosiano**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica. Dissertação de Mestrado. 2004

BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias / Secretaria de Educação Média e Tecnológica** – Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Ministério da Educação, Brasília, 1999.

BRUCE, C. **As aventuras científicas de Sherlock Holmes: o paradoxo de Einstein e outros mistérios**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 2002.

BUCHWEITZ, B.O. O uso de diferentes recursos de ensino na aprendizagem de Física. **Cadernos de Educação**. p. 99-114. n.9, 1997.

BUCHWEITZ, B. O., MOREIRA, M.A. **Mapas conceituais**, instrumentos didáticos, de avaliação e de análise de currículo. São Paulo: Editora Moraes, 1987

BUCHWEITZ, B.O., VERGARA, D.A. O uso de um vídeo em atividades de ensino de Física. **Cadernos de Educação**. p. 5-19. Ano 7. n. 12, 1999.

BUCHWEITZ, B.O., VERGARA, D.A. TAVARES, A.P., ALVES, V.M., DOBKE, R.P.D. Vídeos didáticos e experimentos de laboratório no ensino de Física. **Livro de resumos**: VII Conferência Interamericana sobre Educação em Física. Porto Alegre (Canela), Brasil, 2000.

CABRAL, F., LAGO, A, **Física**, v. 3. São Paulo: Harbra, 2002.

CALLISTER Jr, W. D. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2002.

CASTRO, R. S., Uma e Outras Histórias. **Ensino de Ciências**: unindo a Pesquisa e a prática. p 101-118 – São Paulo: PioneiraThomson Learning, 2004.

CHASSOT, A. Sobre prováveis modelos de átomos. **Química Nova na escola**. N.3, maio, 1996.

FEYNMAN, R. P. **Física em seis lições** – 6 ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 2001.

GASPAR, A. **Física**—eletromagnetismo e física moderna. São Paulo: Ática, 2000.

GRECA, I. M., MOREIRA, M. A. Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría Del aprendizaje significativo. **Ciência e Educação**, v. 9, n.2, p.301-315, 2003.

GRAF-Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 2: Óptica e física térmica**. São Paulo: Edusp, 1998.

HALLIDAY. **Fundamentos da Física IV**. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora, 1995.

HALL, V. V. L. **Princípios e ciências dos materiais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1970.

MENEZES, L.C. **A matéria uma aventura do espírito: Fundamentos e fronteiras do conhecimento físico**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A. e PRIETO, A. B. Exploración de preconceptos: comparación de la información proporcionada por mapas conceptuales y gráficos. **ABRAPEC**. V.5. n.1 Jan/abr de 2005. Disponível em <http://www.fc.unesp.br/abrapec/revista.htm>. Acesso em: 10 abr de 2006.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de Ciências**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2000.

NOVAK, J. D. **Uma Teoria de Educação**. São Paulo: Pioneira, 1981.

NUSSENZVEIG, H.M. **Curso de Física Básica, Eletromagnetismo**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1997.

NUSSENZVEIG, H.M. **Curso de Física Básica, Fluidos, oscilações e ondas e calor**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1981.

OKUNO, E. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harper e Row do Brasil, 1982.

OSTERMANN, F., RICCI, T.F. Relatividade Restrita no Ensino Médio: Contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**/Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas.v.19, n.1, p.176-190.2002.

PEDUZZI, O.P. L. **Sobre a utilização didática da História da Ciência**, Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. p.151-170. Florianópolis: Ed. da UfSC, 2001.

ROCHA, J.F.M. **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROMANELLI, L. I. O papel mediador do professor no processo de ensino-aprendizagem do conceito de átomo. **Química Nova na escola**. n.3, maio, 1996.

RUSSEL, J. B. **Química geral**. 2 ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

SILVA, J. A. **Projeto Escola e Cidadania: Física** / José Alves da Silva, Alexandre Custódio Pinto, Cristina Leite. São Paulo: Editora do Brasil, 2000.

SIMINI, J. A. TUBINO, M. Experimento sobre raio atômico e qualidade de detergentes. **Química Nova na escola**. n.9, maio, 1999.

TOLENTINO, M., ROCHA-FILHO, R.C. O átomo e a tecnologia. **Química Nova na escola**. n.3, maio, 1996.