



**PAULA CRISTINA DE  
SOUSA PEREIRA  
ORNELAS**

**LINGUAGEM METAFÓRICA E ENSINO DA QUÍMICA  
QUÂNTICA / ENSINO SECUNDÁRIO**



**PAULA CRISTINA DE  
SOUSA PEREIRA  
ORNELAS**

**LINGUAGEM METAFÓRICA E ENSINO DA QUÍMICA  
QUÂNTICA / ENSINO SECUNDÁRIO**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Didáctica na área de especialização em Ciências para Professores do 3º CEB/Sec de Física e Química, realizada sob a orientação científica do Doutor António Francisco Carrelhas Cachapuz, Professor Catedrático (aposentado) do Departamento de Educação da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho ao meu pai, Carlos Ornelas (in memoriam),  
verdadeiramente o maior mestre que tive.

## **o júri**

presidente

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Isabel Maria Cabrita dos Reis Pires Pereira  
Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Joaquim Bernardino de Oliveira Lopes  
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. António Francisco Carrelhas Cachapuz  
Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor António Francisco Carrelhas Cachapuz, pela sua disponibilidade, compreensão e apoio em todo este trabalho de investigação.

A sua orientação científica criteriosa e crítica foram determinantes na consecução deste projecto.

Agradeço-lhe a confiança demonstrada e as suas preciosas críticas e sugestões.

Toda a paciência e perseverança com que me acompanhou e todo o empenho e profissionalismo que demonstrou na orientação da minha dissertação.

**palavras-chave**

linguagem metafórica, didáctica das Ciências, formação de professores, química quântica, ensino secundário, investigação em sala de aula.

**resumo**

O estudo da linguagem metafórica no ensino das ciências, na aprendizagem das ciências, na formação de professores de ciências e na construção das ciências é uma linha de investigação de grande actualidade. Uma boa parte dessa relevância advém do carácter abstracto de muitos dos conceitos científicos e do poder da linguagem metafórica não só como instrumento de comunicação mas também de construção do conhecimento, ou seja, seu carácter heurístico.

A finalidade deste estudo é, no quadro de uma Didáctica de raiz construtivista, contribuir para um melhor conhecimento sobre o papel e usos da linguagem metafórica no ensino das Ciências/Química tendo em vista a melhoria desse ensino, em particular no âmbito da Química Quântica/estrutura atómica (ensino secundário). Trata-se de um tema curricularmente relevante, reconhecidamente difícil quer no ensino quer na aprendizagem e de que existem poucos estudos de investigação nesse nível de ensino e em ambiente de sala de aula. De acordo com tal finalidade definiram-se como questões de investigação (i) Se existem e quais as evidências de linguagem metafórica (LM) usada por professores e alunos no quadro do ensino da estrutura atómica (ensino secundário)? (ii) Quais as características da LM usada por professores e alunos no ensino da estrutura atómica (ensino secundário)? (iii) De que forma a LM é usada por professores e alunos no quadro das estratégias de ensino da estrutura atómica (ensino secundário)? (iv) Que implicações se podem retirar do estudo tendo em vista melhorar a articulação entre a investigação sobre o ensino da Química e a formação de professores de Química?

O estudo incidiu sobre o ensino de uma unidade curricular completa, estrutura atómica, numa turma do 12º ano de escolaridade (26 alunos). Devido à sua natureza fenomenológica e ao previsível pouco controlo sobre os comportamentos dos sujeitos envolvidos (professora e alunos em ambiente de sala de aula), adoptou-se uma estratégia metodológica do tipo qualitativo e de índole naturalista (não participante), já que o foco do estudo era a valorização da dimensão semântica/contextual da produção do discurso pedagógico na sala de aula. Consideraram-se várias categorias de conteúdo predefinidas de acordo com o programa curricular dos alunos. Definiu-se como unidade de análise de conteúdo as evidências de episódios metaforicamente relevantes usados na sala de aula pela professora e alunos.

Os resultados obtidos dão respostas relevantes às questões de investigação. Em particular, as evidências obtidas sugerem dificuldades, senão mesmo a impossibilidade, de levar a cabo o ensino e a aprendizagem da estrutura atómica no ensino secundário sem o uso da LM. Esta não é certamente o único meio de ensinar e aprender conceitos abstractos mas é certamente um poderoso meio. Os resultados do estudo revelam a dificuldade, mas também o esforço, da professora em ensinar um tema de reconhecida dificuldade para professores e alunos, exigindo um sólido conhecimento químico e didáctico, apesar de ter sido facilitado por um clima de aula reflectindo um bom relacionamento professora/alunos.

Apresentam-se limitações da investigação bem como várias sugestões de futuros estudos sobre o tema abordado.

**keywords**

metaphorical language, science education, teacher education, quantum chemistry, secondary education, classroom research

**abstract**

The study of metaphorical language in science education and science building is a very timely line of research. Much of its relevance comes from the abstract nature of many of the scientific concepts and the power of metaphorical language not simply as a communication tool but also for the construction of scientific knowledge, e.g. its heuristic function.

The purpose of this study is to contribute to a better understanding of the role and uses of metaphorical language in science education with a view to improve the teaching of quantum chemistry / atomic structure (secondary education) along constructivist lines. This is a relevant topic usually considered quite difficult both for teaching and learning. Also, only a few classroom research studies are reported in upper secondary education.

Four research questions were defined (i) What are the evidences of the metaphorical language (ML) used by teachers and students during the teaching of the atomic structure (secondary education)? (ii) What are the characteristics of the ML used by teachers and students during the teaching of the atomic structure (secondary education)? (iii) In what ways the ML is used by teachers and students within the teaching strategies of the atomic structure (secondary education)? (iv) What implications can be drawn from the study in order to improve the bridge between chemistry education research and teacher training?

The study focused on the teaching of a full curricular unit (atomic structure, 26 students, 12th grade). Due to its phenomenological nature and predictable little control over the behaviours of those involved (teachers and students in a classroom environment) the study adopted a qualitative/naturalistic (no participative) methodology, as the focus of the study was the valuing of semantic / contextual discourse produced in the classroom.

Several predefined content categories were considered according to the school curriculum. The unit of content analysis was defined in terms of the evidences of episodes metaphorically relevant used in the classroom by the teacher and the students.

The results provide relevant answers to the research questions. In particular, the evidence gathered suggests difficulties, if not an impossible task, to carry out the teaching and learning of atomic structure in secondary education without the use of LM. It is certainly not the only means to teach and to learn abstract concepts but it is certainly a powerful one. The results also reveal how difficult was for the teacher, in spite of her effort, to teach a topic of recognized difficulty for teachers and students, requiring a strong chemistry and content knowledge background, despite the pleasant classroom climate reflecting a good relationship teacher / students.

Limitations of the research as well as several suggestions for further studies on the subject are presented.

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO DO ESTUDO ... ..	01
1.1 Pontos de partida... ..	01
1.2 Linguagem metafórica ... ..	05
1.2.1 Tipologia da linguagem metafórica ... ..	05
1.2.2 Definições de analogias e metáforas ... ..	07
1.2.3 Adequabilidade das analogias e metáforas ... ..	12
1.3 Analogias e metáforas na construção da ciência ... ..	13
CAPÍTULO 2 - ANALOGIAS E METÁFORAS NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS	23
2.1. Tipologia e exemplos de estudos sobre analogias e metáforas na Educação em Ciências ... ..	23
2.1.1. Exemplos no ensino ... ..	23
2.1.2. Exemplos nos manuais escolares ... ..	26
2.1.3. Exemplos na formação de professores ... ..	27
2.2. Modelos de ensino por analogias ... ..	28
2.2.1. Modelos centrados no professor ... ..	29
2.2.2. Modelos centrados no aluno ... ..	29
2.2.3. Modelos mistos ... ..	30
2.3. A Química Quântica e o tema da estrutura atómica ... ..	32
2.3.1. Da relevância do tema ... ..	32
2.3.2. A centralidade do tema nos programas ... ..	33
CAPÍTULO 3 - DESENHO E METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO ... ..	36
3.1. Finalidade, objectivos e questões de investigação ... ..	36
3.2. Decisões metodológicas e faseamento do estudo ... ..	37
3.3. Organização do estudo ... ..	39
3.4. Modelo de análise ... ..	40
3.5. Selecção do professor ... ..	43
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E SUA ANÁLISE ... ..	46
4.1. Introdução ... ..	46
4.2. Categoria de conteúdo Distribuição Espacial dos Electrões (aula nº1)	46
4.2.1. Protocolo da aula nº 1 ... ..	46
4.2.2. Descritivo da aula nº1 ... ..	53
4.2.3. Análise da categoria de conteúdo Distribuição Espacial dos Electrões	54
4.3. Categoria de conteúdo Quantização da Energia (aulas nº2 e nº3) ... ..	57
4.3.1. Protocolo da aula nº 2... ..	57
4.3.2. Descritivo da aula nº2 ... ..	63
4.3.3. Protocolo da aula nº 3 ... ..	64
4.3.4. Descritivo da aula nº3 ... ..	70
4.3.5. Análise da categoria de conteúdo Quantização da Energia ... ..	71
4.4. Categoria de conteúdo Espectro do Átomo de Hidrogénio (aulas nº4 e nº5)	74
4.4.1. Protocolo da aula nº 4 ... ..	74
4.4.2. Descritivo da aula nº 4 ... ..	80
4.4.3. Protocolo da aula nº 5 ... ..	81
4.4.4. Descritivo da aula nº 5 ... ..	86

4.4.5.	Análise da categoria de conteúdo Espectro do Átomo de Hidrogénio ...	87
4.5.	Categoria de conteúdo Números Quânticos e Orbitais (aula nº6) ...	88
4.5.1.	Protocolo da aula nº 6 ...	88
4.5.2.	Descritivo da aula nº 6 ...	92
4.5.3.	Análise da categoria de conteúdo Números Quânticos e Orbitais ...	93
CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ...		95
5.1.	Da ocorrência de analogias e metáforas ...	95
5.2.	Das características das analogias e metáforas usadas ...	96
5.3.	Do modo como analogias e metáforas foram usadas ...	97
5.4.	Das dificuldades de aprendizagem dos alunos ...	99
5.5.	Implicações para o ensino e formação de professores ...	103
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES DE FUTUROS ESTUDOS ...		107
6.1.	Conclusões ...	107
6.2.	Limitações do estudo ...	110
6.3.	Sugestões de futuros estudos ...	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ...		115
ANEXOS ...		121
Anexo 1 – Ficha Diagnóstico ...		122
Anexo 2 – Questionário aos Professores ...		124
LISTA DE FIGURAS		
Figura 1: Exemplos da noção de analogia para vários autores ...		10
Figura 2: Exemplos da noção de metáfora para vários autores ...		11
LISTA DE DIAGRAMAS		
Diagrama 1 - Relações existentes entre diversos tipos de linguagem metafórica ...		08
Diagrama 2 - Modelo de ensino misto assistido por analogias e metáforas ...		31
Diagrama 3 - Fases da análise ...		43

## Capítulo 1

### ENQUADRAMENTO TEÓRICO DO ESTUDO

#### 1.1– Pontos de partida

Este estudo insere-se numa linha de investigação que mantém a sua vitalidade desde há cerca de 25 anos sobre o modo como o estudo da linguagem metafórica pode promover a melhoria do ensino das ciências, da aprendizagem das ciências e da formação de professores de ciências.

Uma conclusão genérica desses estudos é de que a linguagem metafórica (aqui usada sem discriminar qualquer das suas variantes, ver 1.2) é usada insistentemente na educação em ciências, que o seu papel é relevante quer no ensino quer na aprendizagem das ciências e de que, frequentemente, os professores de ciências exploram de modo inadequado analogias e metáforas no seu ensino, em particular no tratamento de conteúdos reconhecidamente abstractos. Tais conclusões animaram-nos a aprofundar esta linha de investigação.

Sob o ponto de vista teórico, a investigação entronca na conjunção de três referenciais teóricos (i) o primeiro tem a ver genericamente com a linha de estudos sobre a linguagem, em particular a linguagem verbal (ii) o segundo com o caso específico da linguagem metafórica (iii) o terceiro com uma concepção de índole construtivista da Didáctica das Ciências.

(i) Em primeiro lugar, e em termos genéricos, cabe lembrar a importância da linguagem (sobretudo da linguagem verbal, escrita e/ou oral), como instrumento de mediação simbólica quer seja nas mediações interpessoais através de processos discursivos, isto é, a sua função comunicativa, quer tendo em vista a construção do conhecimento, isto é, a sua função cognitiva (bem menos conhecida).

Ambas as funções referidas estão de algum modo relacionadas embora desempenhem papéis diferenciados e sigam processos específicos. No primeiro caso (função externa), trata-se de dar a conhecer a uma dada audiência as nossas ideias sobre um dado assunto (tal como agora o estamos a fazer para quem vai ler este estudo). No segundo caso (função interna), o que está em jogo é o papel da linguagem na construção do conhecimento, na estruturação e elaboração das nossas ideias, e de são exemplos as actividades de metacognição (tal como agora sucede a quem escreve este estudo ao confrontar as suas

ideias com o que está a escrever, elaborando, corrigindo...). Neste último caso, trata-se sobretudo da relação entre linguagem e pensamento e do modo como tal relação influencia o desenvolvimento cognitivo. O tema tem sido matéria de vasta investigação, casos notórios da linha Piagetiana e de autores da designada escola russa, em particular Vigostky. Em síntese, é o que leva ASSIS (2009, p.32) a referir que “a linguagem é um instrumento amplamente usado pela espécie humana dela dependendo a nossa evolução adaptativa”. Daí a sua enorme relevância. Perturbador é o facto de não ser dado mais relevo ao estudo da linguagem, uma vez que nos encontramos numa sociedade onde se lê pouco, e onde o hábito de escrever e de conversar se vai diluindo.

Esclarecida a relevância do estudo da linguagem e sendo esta uma investigação que tem como ponto de partida um estudo sobre uma importante vertente da linguagem (linguagem metafórica), tem todo o sentido neste capítulo inicial situar qual a visão epistemológica que o enquadra a respeito da linguagem.

Abordar tal visão torna incontornável uma referência, ainda que breve, a Wittgenstein, em particular ao pensamento do autor expresso na sua obra maior sobre a filosofia da linguagem, ou seja, as “Investigações Filosóficas” (obra publicada a título póstumo em 1953). Trabalho de ruptura com a parte inicial de sua própria obra (caso inédito) e também precursora da sua ruptura (juntamente com Popper no campo da epistemologia da ciência) com o positivismo lógico cultivado desde os anos 20 (século XX) pelo designado Círculo de Viena.

O que Wittgenstein defende é uma ruptura com uma perspectiva semântico - essencialista da linguagem em favor de uma perspectiva pragmática (de índole pós – positivista). O autor defende que o nos deve preocupar não é o que é a linguagem ou qual é a sua essência mas sim de que modo ela funciona, isto é, compreender os seus usos. A sua noção chave é de que o significado de uma palavra é o seu *uso*.

CONDÉ (1998, p.116 - 118), num ensaio particularmente esclarecedor, aponta toda a diferença entre a visão semântico-essencialista (Wittgenstein primeiro) e pragmática (Wittgenstein último).

No primeiro caso, “Wittgenstein atribui à linguagem a capacidade de representar o mundo como se ele fosse um quadro, uma imagem do mundo tendo a lógica, enquanto elemento comum ao mundo e à linguagem, a condição dessa representação, ou seja possibilitaria o isomorfismo entre a linguagem e o mundo. A nova concepção de linguagem (Wittgenstein

último) não tem mais esse tipo de preocupação de a fazer corresponder isomorficamente com o mundo, não é mais necessária a correspondência entre a palavra e o objecto” (p. 116). “A lógica que possibilita as regras da linguagem surge do consenso, isto é, da prática comum no uso das expressões. A lógica não mais representa uma essência metafísica, uma ordem apriori. Quando muito, algumas palavras exigem uma relação com objectos, isto é, envolvem denotações. No entanto, esse aspecto é abandonado com relação a um grande número de palavras que encontram significações nos diferentes usos que delas fazemos” (p.118). Aspectos culturais, contextuais, emocionais ou em simultâneo podem induzir diferentes significações. HERTZOG (2010, p.42) discorrendo sobre a filosofia de Wittgenstein (último) escreve que “ a large part of speaking is not a matter of referring to objects”. SUTTON (1993, p.1224) dá um exemplo ilustrativo da relação da linguagem com o mundo “Whether to call a lion a carnivore, a hunter or just a big cat is a speaker’s decision in a particular context, not something dictated by the nature of the lion”. O mesmo se poderia dizer para outros elementos do mundo natural.

Assim sendo, o que Wittgenstein defende é que não existe uma linguagem mas sim linguagens, com diferentes e múltiplos usos, funções e papéis sendo que é mais correcto falar de jogos de linguagem (“language games”), uma metáfora. E para clarificar este conceito WITTGENSTEIN (1953), Cit. por HERTZOG, Lars, 2010, p. 44, explora uma analogia com os jogos: “We might compare a word to the ball in a game or the pieces in chess: we have not learned to understand the game by simply observing the ball or the chess king or being told what they are called. We must be clear about the role of object in the game. Balls, for instance are used in a variety of games: in one game you try to get the ball across the goal line or in a basket, in another you hit it across the net...and so on. If you simply concentrate on the fact that in each of these activities a similar shape object is in UK, you will miss all the essential differences”.

E HERTZOG (2010, p.43) sintetiza: “the point of the language game metaphor is to bring these activities surrounding the uttering of a word into focus”. O que ele quer dizer é que, por exemplo, quando usamos a expressão de “nuvem electrónica”, não é ao céu atmosférico que nos referimos ou ainda que algumas pessoas “andam nas nuvens”; usamos a palavra “nuvem” com outro significado. É o seu uso que define o (s) seu (s) significado (s). Ou seja, a relação da linguagem com o mundo (neste caso com a atmosfera terrestre)

não é pois biunívoca. Este é um exemplo entre outros de actividades/situações a que Wittgenstein chamou de jogos de linguagem.

Os argumentos acima referidos revelam toda a pertinência em termos de enquadramento teórico da filosofia de linguagem para o estudo da linguagem metafórica cujo estudo nos ocupa.

(ii) Esclarecido qual o posicionamento epistemológico subjacente ao seu estudo, falta precisar, em particular no caso da linguagem metafórica, qual a “confiança” que nela podemos depositar tendo em vista aceder às nossas ideias ou seja clarificar a relação assumida entre linguagem metafórica e sistema conceptual. Questão sem resposta única e de que se apresentam desenvolvimentos mais à frente (1.2).

Não sendo exclusiva (longe disso), a perspectiva de LAKOFF e JOHNSON (1980) exposta no seu livro seminal “Metaphors we live by”, ajuda a qualificar o campo de estudo. Os autores defendem que a linguagem metafórica não é uma simples figura de retórica. Bem pelo contrário.

Para LAKOFF e JOHNSON, 1980, p.3, “our conceptual system, in terms of which we both think and act, is fundamentally metaphorical in nature”. E os autores fundamentam tal argumento dizendo que “our concepts structure what we perceive, how we get around in the world and how we relate to other people. Our conceptual system thus plays a central role in defining our everyday realities. If we are right in suggesting that our conceptual system is largely metaphorical, then the way we think, what we experience, and what we do every day is very much a matter of metaphor”. Só que “our conceptual system is not something we are normally aware of. One way to find out is by looking at language as an important source of evidence”. Uma evidência entre outras (depreende-se), embora importante.

Esclarecida a importância genérica do estudo da linguagem metafórica, resta acrescentar qual o interesse de estudar a linguagem metafórica no caso específico deste estudo.

LAWSON (1993, p. 1213) num número especial do Journal of Research in Science Teaching dedicado ao papel das analogias na Educação em Ciências, distingue dois tipos de conceitos em ciência: “Concepts such as solid, liquid and gaseous states of matter are descriptive because perceptible exemplars for such concepts exist in the environment. Thus when students need examples in order to acquire understanding the teacher can point out several. On the other hand, perceptible exemplars for concepts such as atom, gene,

phlogiston, quark, photons and gravitation do not exist in the environment. Thus the meaning of such concepts cannot be derived from our perceptions of objects, events, or situations. Instead their meaning comes from scientists' imaginations. The concepts are creative inventions and exist as part of our conceptual system, i.e. theories. The inventions may or may not actually exist in the world out there. Such concepts are called theoretical concepts". E o autor coloca a questão: "How can a teacher help students acquire understanding of theoretical concepts? At least in part, I think, is by the use of analogies".

Este é precisamente o problema que se nos coloca já que pretendemos centrar este nosso estudo no ensino de conteúdos ("theoretical concepts") da Química Quântica (estritamente falando da Mecânica Quântica aplicada à Química, ensino secundário). Ou seja, é precisamente por esta rede de argumentos que se elegeu o estudo da linguagem metafórica no desenvolvimento deste estudo.

(iii) Finalmente, tendo em conta que se trata de um estudo sobre educação em ciências, o posicionamento teórico que se adopta é convergente com uma Didáctica das Ciências de raiz construtivista reportadas por inúmeros autores e de que aqui (por comodidade de síntese) se refere o estudo de CACHAPUZ et al. (2002). Em particular, cabe destacar os desenvolvimentos aí expressos pelos autores sobre a importância de um ensino das ciências de matriz epistemológica pós – positivista (em consonância com o referido nos pontos (i) e (ii), a defesa da interdisciplinaridade na organização e gestão dos conteúdos e a valorização de uma visão sócio - construtivista do processo de ensino/aprendizagem (neste caso, a linguagem metafórica como instrumento de mediação professor/aluno ou inter - pares para promover o desenvolvimento cognitivo do aluno).

Estes três pontos de partida reflectiram-se, naturalmente, nas decisões tomadas ao longo do estudo, em particular, no que toca à filosofia de abordagem, desenho, organização e desenvolvimento da investigação.

De um modo sumário, e sobre a organização do estudo, após esta introdução, o primeiro capítulo desdobra-se no estudo genérico sobre a linguagem metafórica. Esclarecem-se conceitos sobre diversos tipos de linguagem metafórica, em particular, sobre analogias e metáforas; discutem-se características desejáveis de analogias e metáforas no âmbito da educação e do ensino; discutem-se posições oriundas da investigação sobre a compreensibilidade de analogias e metáforas. O capítulo termina com a discussão de exemplos do papel das analogias e metáforas na construção do conhecimento em ciência.

No capítulo segundo, desenvolve-se a relação entre analogias, metáforas e a educação em ciências. Apresentam-se e caracterizam-se estudos pertinentes para o ensino das ciências, formação de professores de ciências e manuais escolares de ciências; discutem-se diversas perspectivas de ensino de analogias e metáforas aplicados ao ensino das ciências; o segundo capítulo termina com a lógica de estudos de analogias e metáforas no âmbito da Química Quântica sobre que se desenvolve este estudo.

O terceiro capítulo versa sobre o desenho e metodologia da investigação seguidos. Aí se apresentam a finalidade, objectivos e questões de investigação do estudo, decisões metodológicas e organização do estudo no espaço e no tempo.

No quarto capítulo, apresentam-se e analisam-se os resultados do estudo levado a cabo em ambiente de sala de aula.

No capítulo cinco, discutem-se os resultados obtidos à luz de argumentos teóricos desenvolvidos anteriormente.

No capítulo seis, apresentam-se as conclusões do estudo, suas limitações, bem como implicações para o ensino e a investigação em educação em ciências. A terminar apresenta-se a lista de referências usadas e os anexos ao texto principal.

## **1.2 – Linguagem metafórica**

### **1.2.1 - Tipologia da linguagem metafórica**

SUTTON (1978), em seu estudo de "The role of metaphor in teaching and learning science", apresenta uma possível tipologia de linguagem metafórica englobando analogia, metáfora, modelo, símile, alegoria e parábola (ver diagrama seguinte).

A relevância do exercício provém de se estabelecerem as conexões entre estes diferentes tipos, ou seja facilitando uma leitura estrutural e até onde se estende o significado de cada um deles, isto é, quais os seus limites e em que medida é que o significado de um se torna complemento de um outro. Por exemplo, a esquematização de uma metáfora pode-se tornar num modelo científico, a extensão de uma parábola pode originar uma alegoria e a explicação de um símile pode ser convertida numa analogia. Assim, haverá alguma dificuldade em estabelecer definições exactas sobre estes termos até porque são utilizados em áreas de saber muito diversificadas.

Símile: Aparece na linguagem tipicamente através de expressões do tipo "...parece..." ou "...é como...". É utilizada como comparação do que já é familiar com uma nova informação

embora não haja o cuidado em explicitar pontos de comparação e/ou semelhanças com o que já é conhecido. Por exemplo, na interpretação cinética de um sal a dissolver-se na água: "... as partículas do sal espalham-se na água como uma multidão a sair de um estádio de futebol se dispersa por toda a cidade."

Analogia: A analogia surge como a extensão de um símile na qual se traçam múltiplos pontos de comparação. Em relação ao exemplo anterior sobre as partículas do sal e o público de um jogo de futebol, poderiam ter sido analisados vários factores, com implicações educacionais, como por exemplo: será que o comportamento dos fãs no estádio, em movimento agitado mas sem se afastarem dos seus locais é de todo análogo ao movimento dos iões na rede cristalina? Ou ainda, movem-se em colisões aleatórias? Conforme o público se dispersa entre a população em geral, passarão a ser perceptíveis como uma espécie diferente de partículas "entre" as partículas do solvente?

O valor da analogia é função das múltiplas relações que se podem estabelecer entre o domínio do que é familiar e o domínio do que se procura conhecer. O poder explanatório de uma analogia geralmente aumenta com o número de aspectos semelhantes entre a fonte e o alvo.

Metáforas: As metáforas são menos explícitas embora muito mais estimulantes mentalmente, como se pode aperceber através de conhecidos exemplos como "corrente eléctrica", em que se compara o movimento organizado de electrões ao movimento de um fluido (fonte ou domínio familiar).

Modelo: Tal como a analogia pode ser vista como um símile elaborado, também um modelo pode ser pensado como extensão de uma metáfora. O exemplo seguinte, "...o comportamento da luz emergindo das fendas é visto como ondas numa piscina..." pode ser analisado de duas formas distintas: comparação com "ondas de luz" : descrição com detalhes de comprimento de onda, velocidade, ... e utiliza este exemplo para interpretar fenómenos de reflexão e refacção: modelo. Para que um modelo possa resistir ao longo dos tempos deve possuir certas características como por exemplo, deve ser simples, de grande poder explanatório, ter consistência interna e ter a capacidade de gerar hipóteses testáveis.

Parábola: uma metáfora ou um símile, retirado da natureza da vida comum, como por exemplo, as parábolas que surgem no Novo Testamento.

Alegoria: A alegoria surge como expressão de uma ideia sob forma figurada. Várias parábolas são convertidas em alegorias para que sejam posteriormente utilizadas com uma finalidade específica a nível didáctico para uso didáctico.

Sutton, na classificação efectuada, elabora uma síntese onde se tornam explícitas as relações existentes entre os termos utilizados (ver diagrama 1):

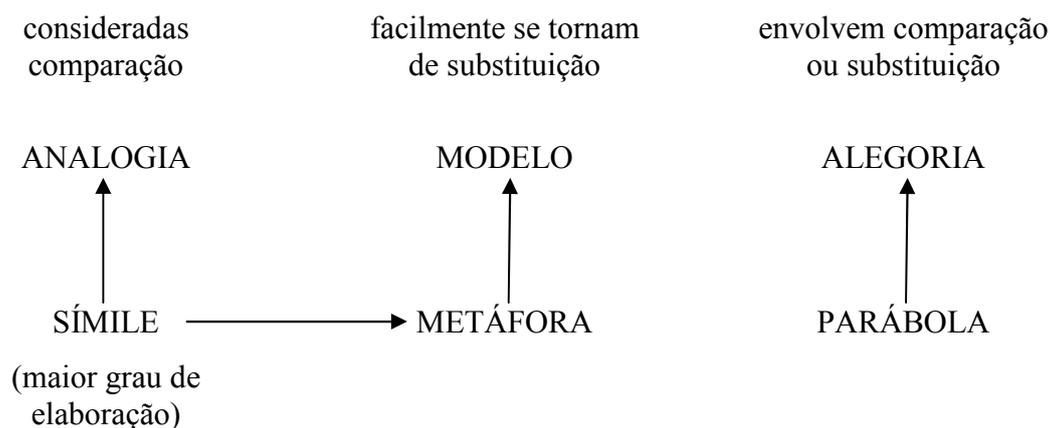


Diagrama 1: relações existentes entre os diferentes tipos de linguagem metafórica (SUTTON, 1978, p.8)

Tendo em conta o potencial interesse deste estudo por professores, não se exploram os diferentes tipos acima referidos. Mais geralmente, refere-se simplesmente linguagem metafórica, excepto em casos pertinentes sinalizados no texto, em particular no que respeita a analogias e metáforas. É importante assinalar que alguns tipos de linguagem metafórica, sobretudo metáforas, podem conduzir a modelos cujo papel na construção (e na educação em ciências) não é demais sublinhar. Alguns autores (PALMA, 2005) consideram aliás os modelos científicos como um caso particular de metáforas.

### 1.2.2 - Definições de analogias e metáforas

Apesar da preocupação em diferentes áreas do conhecimento como é o caso de filósofos, linguistas, psicólogos e educadores, em procurar distinguir cuidadosamente analogia e metáfora, estes termos continuam a ser empregues inconsistentemente pela literatura da especialidade das diferentes áreas do saber.

De um modo geral, a literatura da especialidade considera que a analogia é uma comparação explícita. Por vezes aparece sob a forma de uma proporção, A está para B como C está para D, em que A e B referem-se ao alvo (domínio de estudo) e C e D à fonte (domínio familiar). Mais frequentemente as analogias aparecem sob a forma de expressões de ligação do tipo "como", "é semelhante a", "análogo a", "tal como", "similar", "como se fosse"... (por elaboração de símiles) ou ainda iniciando a frase com termos como "imagine que" ou "suponha que", indicadores discursivos facilitando o seu reconhecimento. A metáfora é uma comparação implícita (analogia condensada) e, por isso mesmo, em geral mais difícil de discernir. No entanto, geralmente a metáfora é considerada mais rica do que a analogia, desempenhando o papel de instrumento heurístico uma vez que são mais estimulantes mentalmente (em parte por serem menos explícitas obrigam a maior elaboração mental). Aristóteles, na sua conhecida obra "Retórica" considera que as palavras correntes só dizem aquilo que já se sabe; é pela metáfora que podemos conseguir algo de novo.

Não existe uma definição única de analogia e metáfora mas sim várias definições tendo em conta o princípio teórico subjacente. Por exemplo, o significado de analogia, de "acordo com a razão" (do Grego), está originalmente relacionado com uma outra noção, a de proporção. É neste quadro que se pode compreender a conhecida analogia (usada para a compreensão da estrutura atómica, modelo de Bohr), o sol está para o núcleo do átomo como os planetas para os electrões. No que respeita à metáfora, literalmente significa "transportar" (do Grego), o que realça a ideia de algo transponível de um domínio para outro. Tal como a analogia, vários são os significados que se podem atribuir à metáfora. Por exemplo, para um especialista em gramática, "a metáfora é uma figura de estilo"; para um filósofo a metáfora é designada por "recorrência eterna, indução ou parecença"; para um cientista "a metáfora é uma analogia a que se retirou os respectivos aspectos estruturais" (HASKELL, 1987, Cit. por NASCIMENTO, Ana, 2000, dissertação de mestrado, p. 32).

É geralmente aceite que as diferentes teorias explicativas sobre analogia se metáforas se podem agrupar em dois grandes grupos: teorias semânticas e teorias pragmáticas. Teorias (no plural) pois na verdade cada uma delas pode ter várias ramificações essencialmente em função dos mecanismos e processos usados na construção dos novos significados. Esta

classificação é sobretudo interessante sob o ponto de vista teórico (não educacional) mas refere-se aqui de forma sumária tendo em vista qualificar melhor o campo de estudo.

Por exemplo, PALMA (2005) numa revisão de estudos sobre o desenvolvimento das ciências através das metáforas, considera que nas teorias semânticas algo ocorre com o significado dos termos ou expressões que intervêm. O foco dessas teorias é sempre a tensão existente entre a linguagem literal e a linguagem figurativa (metafórica) a nível dos significados. NASCIMENTO (2000, p. 32 - 36) refere várias posições sobre o assunto. Por exemplo, refere estudo de Black realizado em 1962 onde que ele considera que mais do que processos de substituição (teorias de substituição,) ou de simples comparação (teorias de comparação, com origem em Aristóteles) o que sucede é uma interacção entre dois campos semânticos que habitualmente não o estão (daí ser Black um representante das teorias de interacção). O mesmo autor considera que nas teorias pragmáticas, ao contrário das teorias semânticas, não são as chaves linguísticas que explicam uma metáfora e a tornam reconhecível mas sobretudo o contexto de ocorrência. No entanto, NASCIMENTO (2000) refere que, para alguns autores (ver figura 2), o essencial tem a ver com condições contextuais que requerem que interpretemos as metáforas diferentemente do discurso envolvente.

Refira-se finalmente um tipo de teorias por vezes considerado como algo à parte, as designadas teorias emotivas e que não atribuem qualquer papel cognitivo às analogias e metáforas mas simplesmente uma função emotiva. De acordo com OLIVEIRA (1997, p.155), elas “são consideradas como um uso desviante da linguagem. Esta perspectiva teórica que se fundamenta em perspectivas lógico - positivistas exclui, naturalmente, a metáfora da Ciência, do discurso científico ou de qualquer discurso descritivo”.

Tendo como referência as revisões de trabalhos apresentadas por NASCIMENTO (2000) e OLIVEIRA (1997), apresentam-se exemplos da noção de analogia incluindo do campo da educação em ciências (figura 1). Nem sempre é claro qual o enquadramento teórico específico subjacente. De comum têm que as analogias constituem como que uma ponte entre aspectos (observáveis/ou não) do conhecimento existente (fonte ou domínio familiar) e aspectos não observáveis do mundo natural (alvo ou domínio de estudo, p. ex. domínio científico) que se procura compreender. O estabelecimento desta relação entre estes dois domínios faz com que os fenómenos em estudo se tornem inteligíveis, promovendo assim a construção do conhecimento.

<b>Autor</b>	<b>Definição</b>
Sutton, 1978	Extensão de uma comparação na qual se tenta traçar vários pontos de comparação
Sternberg e Rifkin, 1979	Proporção do tipo A está para B como C está para D
Glynn, 1991	Identificação de semelhanças entre conceitos diferentes
Dagher, 1995	Utilização de uma situação familiar semelhante a um fenómeno não familiar que se quer explicar

Figura 1: exemplos da noção de analogia para vários autores

Também diferentes autores procuraram definir o conceito de metáfora e, tal como a analogia, este refere-se à perspectiva teórica subjacente para cada um. Com base nos mesmos autores acima referidos no caso das analogias, apresentam-se exemplos pertinentes na figura 2.

<b>Autor</b>	<b>Definição</b>
Black, 1962	Analogias condensadas. Interação de domínios sendo o alvo o aspecto mais importante
Ricoeur, 1976	Resultado da tensão entre dois termos
Schön, 1979	Processo interpretativo entre o material desconhecido e o conhecimento já existente
Gruber, 1983	Figuras de retórica que ilustram uma forma de pensar
Mayer, 1985	Conhecimento indirecto e mediado pelo sistema linguístico e/ou pelo sistema cultural adquirido

	culturalmente
Ortony, 1979	“Assimetria relevante”, com atributos da fonte mais relevantes do que os do alvo
Lakoff e Johnson, 1980	Compreender e experienciar alguma coisa em função de outra coisa. Racionalidade imaginativa
Kittay, 1987	As metáforas não se baseiam em semelhanças, antes a criam
Searle, 1991	Dizer algo e significar algo mais (papel do contexto)

Figura 2: exemplos da noção de metáfora para vários autores

Em ambos os casos, este leque de definições abrange vários domínios como por exemplo o cognitivo, o epistemológico, o linguístico e o educacional. De notar que as referências estão centradas nos anos 80 e 90 (século XX) já que foi nessa altura que a linha de investigação teve os seus primórdios, em particular na educação em ciência.

Em termos estritamente educativos, a questão pertinente é, naturalmente, de que modo os aspectos referidos podem ser explorados no ensino fornecendo aos professores de ciências e decisores para promoverem a compreensão da ciência escolar. Neste caso, fica de pé qual a melhor sugestão entre as perspectivas apresentadas.

PALMA (2005, p.50), sugere uma síntese superadora entre as perspectivas semântica e pragmáticas acima referidas sobre a compreensão das analogias e metáforas, síntese que, no nosso entender, é pertinente para o ensino das ciências e, por isso mesmo, aqui seguida. Ou seja, o autor considera que “das concepções semânticas retira a ideia central de que elas produzem novos significados, seja qual for o mecanismo ou processo usado; das concepções pragmáticas, resulta indispensável atender não só aos significados “involucrados”, mas também ao contexto e às condições adequadas que dão conta de como e porquê uma metáfora se produz e tem êxito”.

Finalmente, é possível estabelecer várias classificações de analogias e metáforas, nem sempre pertinentes para o ensino da ciência escolar embora sirvam para um melhor

conhecimento do campo de estudo. Por exemplo, analogias não pessoais /pessoais conforme a experiência de quem as usa que é incluída no estabelecimento da analogia (DREISTADT, 1968, Cit. por CACHAPUZ, António, 1989, p. 122). O exemplo mais conhecido é o tradicionalmente considerado ter ocorrido com Arquimedes e que levou à descoberta do princípio com o seu nome (foi o seu próprio corpo que fez transbordar a água da banheira); outro exemplo conhecido é a utilização de “alunos moleculares” como estratégia de ensino do equilíbrio químico (NASCIMENTO, 2000). Mas estas analogias são bem menos frequentes do que as não pessoais (as mais correntes). Também é possível classificar as analogias em analíticas/sintéticas de acordo com o modo como presumivelmente tem lugar o processo de transferência de significados da fonte para o domínio de estudo (DREISTADT, 1968, Cit. por CACHAPUZ, António, 1989, p. 122). As sintéticas são menos frequentes por exemplo a designada lei das oitavas de Newlands na classificação periódica dos elementos por analogia com as oitavas musicais. Um exemplo de analogia analítica é o usado por Bohr; o modelo planetário serviu para diferenciar o todo nas suas partes e o modo como essas componentes funcionavam no quadro global (o átomo de Thomson era considerado como um todo contínuo). Também é possível uma categorização das metáforas. Entre as várias apresentadas por LAKOFF e JOHNSON (1980), refiram-se por exemplo as estruturais (as mais correntes, em que se estrutura algo em função de outra situação, por exemplo, em termodinâmica a entropia como medida da *desordem* de um sistema) ou as orientacionais (dentro/fora; em cima/em baixo); por exemplo, “hoje sinto-me em baixo de forma”.

### **1.2.3 - Adequabilidade das analogias e metáforas**

Como foi acima referido, um dos objectivos principais da utilização de metáforas e de analogias é o de facilitar a compreensão de conceitos, eventos ou situações, principalmente os não observáveis ou aqueles que são de difícil compreensão, caso típico do ensino das ciências. A questão da adequabilidade de uma analogia ou metáfora é pois uma decisão importante.

A adequabilidade de uma analogia e metáfora deve ter em primeiro lugar em consideração o campo de estudo em que se insere e a finalidade que serve. Por exemplo, não é a mesma coisa usar analogias ou metáforas em manuais escolares ou no discurso da sala de aula; nos primeiros, as limitações de texto impõem sempre constrangimentos à elaboração do

discurso sobre a explicação das relações entre os dois domínios de estudo, suas semelhanças e limitações (ver capítulo 2). Também não é a mesma coisa quem inventa e quem usa analogias ou metáforas. No primeiro caso têm quase sempre uma função mais heurística. Acresce que, nesse caso, a fonte é sempre familiar mas pode não ser adequada. Ao invés, no caso de ser gerada por outrem a fonte pode ser compreensível mas não é necessariamente familiar a quem se dirige. Por outro lado, a escolha das características ideais de uma analogia ou metáfora e o modo como se explora depende naturalmente da posição teórica de quem a usa, por exemplo valorização diferencial do contexto (ver 1.2.2). Tendo em conta estas condições vários autores (CACHAPUZ; 1989; OLIVEIRA, 1997, entre outros), consideram algumas características genéricas para uma metáfora ou uma analogia ser adequada. Como uma súmula destes atributos pode-se considerar: (i) seja transparente, isto é os aspectos similares sejam superiores aos não similares (ii) seja adequada aos conteúdos, isto é sejam relevantes sob o ponto de vista conceptual para o tema em estudo (iii) seja compreensível, em particular a fonte e se possível esta seja do domínio familiar (iv) provoque relações com múltiplos significados de modo a desenvolver capacidades cognitivas. O terceiro ponto é particularmente pertinente no caso de jovens devido a limitados reportórios linguísticos. Daí o uso de analogias e metáforas com sujeitos de baixo nível etário merecer particulares precauções de quem as usa.

As questões do contexto (de forma a facilitar o acesso ao conhecimento prévio) ou da proximidade entre os dois domínios (fonte e alvo) são exemplos de aspectos que dividem os autores. Por exemplo, ao contrário de posições teóricas defendendo uma mera comparação, TOURANGEAU and STERNBERG (1981, Cit. por OLIVEIRA, Teresa, 1997, p.177) consideram que quando os dois domínios se relacionam de perto as analogias ou metáforas são menos potentes. Ou seja, a existência de uma tensão cognitiva ou anomalia entre os dois domínios seria positiva. Resta acrescentar que os argumentos acima referidos se dirigem sobretudo a analogias e metáforas verbais. A discussão de analogia e metáforas icónicas ultrapassa os limites deste estudo (ver por exemplo, OLIVEIRA 1997, p. 203).

### **1.3 - Analogias e metáforas na construção da ciência**

A História da Ciência está repleta de situações em que analogias e metáforas desempenharam uma função heurística na construção das ciências. KNIGHT (1992, p.52)

discorrendo sobre o papel da linguagem na construção da Química moderna, considera que “we may suspect that words are given us to play with and that metaphor and analogy are at the root of scientific thinking”. Um modo possível de racionalizar este argumento é o que KOESTLER (1964) designou por “bisociative thinking”, conceito que, no essencial, serve para designar a intersecção no discurso entre dois planos que tradicionalmente se consideram separados ou até incompatíveis e que o autor usa para estudar os processos criativos em ciência e arte. Um conhecido exemplo de tais processos criativos é referido por HORVITZ (2002, p. 36) sobre a imaginativa semelhança construída por August Kekulé na sua invenção do ciclo benzénico dizendo “ I turned my chair to the fire and dozed. Again the atoms were gambling before my eyes. This time the smaller groups kept modestly in the background. My mental eye, rendered more acute by visions of this kind, could now distinguish larger structures, of twining and twisting in snakelike motion. But look! What is that? One of the snakes had seized hold of its own tail, and the form whirled mockingly before my eyes. As if by a flash of lightning I awoke”. PALMA (2005, p.51) refere-se a este conceito considerando que “ hasta el momento en que alguien hace converger ambos universos o planos produciendo un resultado novedoso e inesperado en ese momento, ambos planos asociativos constituían mundos separados y no asociables, funcionando según una lógica própria. Cuando alguien ofrece otro plano asociativo establece una convergência inédita que produce un cambio igualmente inédito en la perception de los hechos, y la lógica habitual de acuerdo a la qual se consideraban los hechos dentro de una esfera resulta invadida por la lógica de la otra esfera”. E o autor acrescenta: “La nueva mirada producto de la transferencia metafórica – bisociación – puede también producir una reorganización de lo conocido e, incluso puede inaugurar o introducir nuevos hechos pertinentes y relevantes. Según una terminologia epistemológica puede decirse que modifica, en un sentido a veces fundamental la base empírica”. E o autor refere vários exemplos. Um deles é a conhecida “tentação newtoniana” de Durkheim no campo da Sociologia. A mesma “tentação newtoniana” surgiu em meados do século XIX quando os economistas Carey e Walras, propuseram leis que poderiam ser consideradas análogas na sua função na economia ao legado da física newtoniana (idem).

No domínio da Mecânica Quântica, a equação de Schrödinger foi estabelecida também por *analogia* com as equações da teoria electromagnética clássica e fazendo intervir a relação de De Broglie. Por isso mesmo, incorpora quer o comportamento electrónico como

corpúsculo (através da variável massa) e como onda dado que, como todas as equações, esta também admite soluções que são precisamente as funções  $\psi$  (associadas a electrões por via do seu carácter ondulatório) e que aqui tomam o nome de orbital. São estas soluções que possibilitam descrever o comportamento dos electrões nos átomos. Embora esta não seja uma descrição “exacta”, tal como na Física Clássica, é uma descrição rigorosa em termos de probabilidade.

Ainda no âmbito da Mecânica Quântica, esta considera que o quadrado da função de onda  $\psi^2$  é proporcional à probabilidade de encontrar o electrão num determinado ponto  $x, y, z$  (na verdade mais correcto seria dizer por unidade de volume, ver CHANG, 2001, p 281) e que tal probabilidade é maior perto do núcleo. Com efeito, tal argumento deriva de uma *analogia* oriunda da teoria das ondas. Para esta teoria, a intensidade da luz é proporcional ao quadrado da amplitude da onda, seja  $\psi^2$ , e o local mais provável para encontrar um fóton é onde a intensidade da luz é maior (o que é intuitivo e pode servir como uma possível estratégia de ensino para explicar aos alunos que  $\psi^2$  no caso electrónico na vizinhança do núcleo, também seria aí maior).

KNIGHT (1992, p.125), sobre a história da descoberta do cloro e do iodo, refere que “at the beginning of the XIX century, the safest way to proceed in chemistry was probably like Davy to rely upon analogy, which he saw as the key of the advance of science. A cautious movement from one established position to another seemed best, and was illustrated in his own work when he recognized the analogies between oxygen and “oxymuriatic acid” and concluded that the latter must be an element analogous to oxygen which he called chlorine. He then recognized the much closer analogies between chlorine and the curious substance giving violet fumes on heating, which he recognized as the new element iodine”.

NAGEM et al. (2003, p. 1- 13) referem vários exemplos no âmbito da Física, da Química e da Biologia. No campo da Física, “na teoria equivalência da gravidade e da inércia, Einstein imaginou um edifício com um elevador em queda livre. Dentro do elevador, físicos, sem perceberem que sua descida poderia terminar em desastre, realizam alguns experimentos. Quando soltam no ar moedas ou chaves, elas permanecem flutuando, porque elas estão caindo junto com o elevador e com os homens a uma mesma velocidade. Eles podem explicar esses eventos pela suposição de que foram transportados para fora do campo gravitacional da terra e estão em algum lugar do espaço onde tudo obedece à Lei da Inércia de Newton e continua em seu estado de repouso ou uniformemente em linha reta. O

elevador se tornou um sistema inercial, e não há como os homens em seu interior dizerem se estão caindo em um campo gravitacional ou flutuando no espaço, livres de todas as forças externas. Einstein então mudou a cena. O elevador está agora realmente no espaço e está sendo puxado por um cabo em seu topo e a velocidade aumenta de maneira constante. Desta vez, os homens notam que seus pés estão pressionando o chão, e que, se eles pulam, eles não flutuam em direção ao teto porque o chão vem ao seu encontro. Se eles soltam objetos como chaves, eles parecem “cair”. Se eles atiram objetos através do elevador, eles não se movem de maneira uniforme em uma linha reta, mas seguem uma curva parabólica em direção ao chão. Como os cientistas não imaginam que seu veículo está sendo puxado para cima através do espaço, eles podem concluir que estão dentro de um lugar estacionário na Terra que é afetado pela força da gravidade. Não é possível para eles dizerem se eles estão em repouso ou em um campo gravitacional ou se estão subindo com aceleração constante através do espaço onde não existe gravidade. Esses eventos imaginários parecem análogos a eventos reais e Einstein os utilizou para elaborar seu Princípio de Equivalência da Gravidade e da Inércia - não há maneira de se distinguir o movimento produzido pela inércia daquele produzido pela gravidade. A analogia original aqui deve ter sido relacionada à entrada em um elevador. A experiência de leveza que se contrapõe à gravidade quando o elevador desce e a sensação de aumento da gravidade (peso) quando o elevador sobe. A partir disso, deve ter suposto que a inércia e a gravidade são equivalentes e aperfeiçoou a analogia para demonstrar melhor esse princípio. Se isso está correto, a analogia básica de sua experiência ao andar de elevador, é, na realidade uma analogia pessoal”.

Os mesmos autores referem no campo da Química que “Mendeleev descobriu a lei periódica e construiu a tabela periódica em 1869. Com ela corrigiu alguns pesos atômicos de alguns elementos e previu três novos elementos a partir de espaços vazios em sua tabela e que, mais tarde, foram descobertos. Pegou 63 cartões, escreveu os nomes e as propriedades dos elementos. Fixou-os nas paredes de seu laboratório. Reexaminou cuidadosamente os dados, procurando elementos similares e agrupou-os. Uma relação surpreendente, então, tornou-se clara. Descobriu que as propriedades “eram funções periódicas de seus pesos atômicos” que repetiam periodicamente a cada sete elementos. Parece provável, já que ele anotou os elementos sobre cartões separados, que ele tenha usado o jogo de baralho como uma analogia.

Newlands, um químico inglês, antecipou por cerca de três anos a ideia da lei periódica. Em 1866, John Newlands apresentou à Sociedade Química Inglesa um artigo no qual ele comparou o arranjo dos elementos ao teclado de um piano com suas notas divididas em períodos ou oitavas. Ele disse que os elementos deveriam ser divididos em grupos de oito, porque cada oitavo elemento aparece, nesse arranjo, como uma espécie de repetição do primeiro, como a oitava nota na escala musical. Essa conclusão é conhecida como a lei das oitavas da química. O uso dessa analogia foi recebido com escárnio, o que quase encerrou sua carreira como cientista”.

No âmbito da Biologia, Darwin usou a metáfora da “árvore da vida”, sendo essa a principal metáfora de “A Origem das Espécies” em que as afinidades entre os seres de uma classe têm sido frequentemente representadas por uma árvore. Darwin refere que “...the great *Tree of Life*, which fills with its dead and broken branches the crust of the earth, and covers the surface with its everybranching and beautiful ramifications (DARWIN 1859, end of chapter 4, citado por SUTTON, Clive, 1993, p.1218).

Ainda NAGEM et al. (2003, p.2 - 4), comentando esta metáfora elabora-a referindo que se acredita que essa representação reproduza a verdade. “Os galhos verdes e jovens podem representar as espécies atuais. Aqueles produzidos nos anos anteriores podem representar a longa sucessão de espécies extintas. A cada período de crescimento, todos os galhos tentaram se expandir em todas as direções, cobrir e matar os outros galhos. Da mesma maneira, as espécies e os grupos de espécies se sobrepuseram a outras na grande batalha da vida. Os troncos divididos em grandes ramos, e esses, em galhos cada vez menores, foram, quando jovens, galhos com brotos, e a ligação entre os galhos iniciais e os atuais pode representar, de uma maneira adequada, a classificação de todas as espécies. Dos muitos galhos que emergiram quando a árvore era apenas um arbusto, apenas dois ou três, agora crescidos em galhos grossos, sobreviveram e sustentaram os outros galhos; da mesma forma, das espécies que viveram durante períodos geológicos passados, muito poucas deixaram descendentes vivos. Do período inicial de crescimento da árvore, muitos galhos morreram e caíram. Esses galhos caídos, de vários tamanhos, podem representar aquelas ordens, famílias e gêneros que não têm atualmente nenhum representante vivo, e que são conhecidos por nós no estado fóssil. Assim, quando observamos um galho novo caído da árvore e outro que foi favorecido e ainda está vivo, podemos ver animais como um

ornitorrinco ou pirambóia, que, de alguma forma, conectam dois grandes ramos da vida, e que foram recentemente salvos da competição fatal por terem habitado um local protegido. Da mesma maneira que um broto origina novos brotos, e, se estes se vigoram, desenvolvem e se sobrepõem a ramos mais frágeis, é de se acreditar que, por gerações, isso tenha ocorrido com a grande Árvore da Vida, que preenche com seus galhos partidos e mortos, a crosta da terra e cobre a sua superfície com os ramos novos.

No início dessa interessante e elaborada analogia, pode-se ler que a metáfora da árvore já era utilizada pelos biólogos. O “insight” de Darwin foi ver na analogia mais do que eles viam”.

Mais perto de nós, e ainda no âmbito da Química, refira-se o trabalho de Harry Kroto sobre a descoberta da estrutura do buckminsterfulereno, por analogia com as bolas de futebol, em que as suas faces pentagonais e hexagonais permitiam dispor 60 átomos de carbono. Sobre este caso, KEMP (2010, p.5), vai mais longe ao referir que “também se inspirou na obra de Buckminster Fuller, o arquitecto norte – americano “high tech” que construía cúpulas geodésicas”.

Finalmente, pela sua actualidade, cabe aqui recordar alguns trechos da entrevista feita em Dezembro de 2010 à vencedora do prémio Pessoa 2010, Maria do Carmo Fonseca, investigadora de Biologia Celular e Molecular, sobre o seu trabalho a nível de desvendar os mecanismos de transmissão das mensagens dos genes para o resto das células, mecanismos com potencial impacto no tratamento futuro do cancro ou anemias. A investigadora considera (FONSECA, 2010, p. 8) que, “ O meu trabalho é sobre esse processo de passar a mensagem de uma molécula para outra; como é que as moléculas *falam* entre si?” (itálico nosso). E elabora a metáfora dizendo, “*É como um atleta que passa o testemunho numa prova, e eu tento seguir os vários atletas no momento da passagem do testemunho*”.

Os exemplos apresentados não são exemplos quaisquer. Trata-se de pilares da ciência moderna e contemporânea sem os quais ela não seria o que é hoje. Filósofos e historiadores da ciência e cientistas estão de acordo com a importante função heurística das analogias e metáforas na construção do conhecimento científico. Em síntese, “New scientific insights are redescriptions of the phenomena being studied. They depend on the language imported from one area of use, in an attempt to figure out and reinterpret what is going on” (SUTTON, 1993, p. 1219).

Todavia, não seria rigoroso fechar este parágrafo referente ao papel das analogias e metáforas na construção do conhecimento científico sem apontar críticas que lhe têm sido feitas.

Por exemplo, ANDRADE et al. (2002, p.1-11) apresentam várias observações epistemológicas de Gaston Bachelard acerca do uso da linguagem metafórica na ciência patentes no seu conhecido livro “A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento”, 1938, em que introduziu a noção de *obstáculo epistemológico* fazendo uma análise epistemológica e psicológica dos obstáculos à formação do conhecimento científico. Assim, os autores citando Bachelard consideram (p.3), “estes obstáculos estariam fundamentados na experiência primeira, no conhecimento geral, no abuso das imagens usuais, no conhecimento unitário e pragmático, no substancialismo, no realismo, no animismo e no conhecimento quantitativo, e seriam as causas da “estagnação e até regressão do progresso da ciência”. E acrescentam que, “com sua visão racionalista, Bachelard faz uma análise baseada em exemplos do que ele considera conhecimento pré-científico (antiguidade clássica até o final do século XVIII) onde estas características (obstáculos) estavam fortemente presentes e onde dominava uma linguagem metafórica, com uso de imagens e generalizações que guiavam este pensamento pré-científico para uma visão concreta e imediata, que impedia o processo de abstração necessária para a formação do espírito científico”.

Sobre o conhecimento unitário e pragmático, Bachelard 1938, Cit. por ANDRADE, Beatrice et al., 2002, p. 8, refere os historiadores da química, que estudaram detidamente as teorias que, na Idade Média e no Renascimento, foram baseadas em amplas analogias”. Ele se refere particularmente à obra de Hélène Metzger que reuniu tudo o que se referia às analogias paracelsistas que estabeleciam analogias entre os astros e os metais, entre os metais e as partes do corpo. Estas analogias estabelecem uma espécie de triângulo universal, que une o céu, a terra e o homem, tão convincente que foi utilizada para o tratamento de doenças: A cada doença no homem, a cada desarmonia accidental de um órgão, o remédio apropriado é o metal correspondente ao planeta análogo ao órgão doente” ANDRADE et al. (2002, p.10) concluem que, “portanto, podemos perceber que Bachelard não é contra toda e qualquer utilização de analogias e metáforas mas sim, contra as que podem reforçar concepções da observação empírica, do senso comum, ou quando elas se tornam cópias fiéis da realidade, impedindo a compreensão do que se pretende ensinar,

tornando-se ou reforçando obstáculos epistemológicos e pedagógicos”. Consideram ainda que “a linguagem metafórica é uma forma de raciocínio inerente ao ser humano. Tanto na ciência quanto na educação, pode ser tomada como uma ferramenta útil no processo de explicação dos conceitos científicos. Colocamo-nos assim ao lado de vários autores que, nas últimas décadas, têm tomado a linguagem metafórica como uma forma legítima de pensamento, que auxilia no processo de aprendizagem do conhecimento científico por aproximar os conceitos considerados teóricos e abstractos das ciências de análogos mais familiares e melhor compreendidos pelos alunos. Concordamos plenamente com Bachelard quanto ao perigo das analogias e metáforas serem mal utilizadas, serem tomadas como cópias fiéis da realidade e se transformarem em esquemas gerais que permanecem, em vez de assumirem um papel transitório. É importante ressaltar, em educação, a necessidade de um maior preparo das analogias e metáforas, pelo professor, que as utiliza muitas vezes de forma espontânea e inadequada”.

Sobre a utilização das analogias e metáforas na educação em ciências fala-se no capítulo seguinte.



## Capítulo 2

### ANALOGIAS E METÁFORAS NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

#### 2.1 – Tipologia e exemplos de estudos sobre analogias e metáforas na Educação em Ciências

Neste parágrafo apresentam-se exemplos representativos de estudos sobre o uso de analogias e metáforas em diferentes vertentes da educação em ciências. Devido ao seu elevado número foi necessário introduzir critérios de selecção, a saber, estudos:

- envolvendo várias áreas das ciências, com ênfase na química
- com suporte empírico
- representativos de importantes vertentes da educação em ciências (ensino, formação de professores e manuais escolares)
- recentes, tendo sido adoptado convencionalmente estudos a partir de 2000 e com ênfase na segunda metade da década.
- tanto quanto possível, estudos envolvendo a realidade portuguesa

Com esta tipologia, pensa-se assim ajudar a ilustrar o “estado da arte” no domínio em estudo, em particular através dos seus desenvolvimentos mais recentes.

##### 2.1.1 – Exemplos no ensino

São os estudos mais frequentes e com incidência no ensino secundário. Tópicos como equilíbrio químico, corrente eléctrica e estrutura da matéria são recorrentes.

(i) No tema do equilíbrio químico, RAVIOLO e GARRITZ (2008) fizeram uma extensa revisão bibliográfica sobre analogias usadas no ensino do equilíbrio químico. Os autores classificaram as analogias em cinco grandes grupos, a saber: análogos (fonte) familiares (por exemplo, casais de dança); jogos (por exemplo, uso de esferas); experiências (por exemplo, solubilidade); fluxo (por exemplo, fluxo de gás entre seringas); máquinas (sobe e desce dos jardins infantis).

Os resultados da análise indicam que as analogias incidiam sobretudo sobre a reversibilidade (94%) e o carácter dinâmico (69%). Os autores referem ainda que nem todos os exemplos identificados eram adequados.

(ii) HARRISON and DE JONG (2005) exploraram o uso de analogias múltiplas no ensino do equilíbrio químico com alunos no final do ensino secundário. Algumas analogias usadas

foram: escola de dança (“school dance”), auto - estrada movimentada (busy highway”) ou ainda açúcar numa chávena de chá (“sugar in a tea cup”).

Sobre o trabalho do professor envolvido, os autores referem que ele planeou explorar o conhecimento prévio dos alunos. Sempre que possível enriqueceu as analogias. No entanto, embora tenha planeado discutir os limites de cada analogia (“where each analogy broke down”), não o fez.

(iii) Ainda sobre o tema do equilíbrio químico, NASCIMENTO (2000), concluiu uma tese de mestrado tendo em vista o estudo das metáforas e analogias usadas por professores no ensino do tema a alunos do 10 ° ano de escolaridade (Portugal). A autora concluiu que, sob o ponto de vista didáctico, as metáforas e analogias usadas pelos professores apresentam carências ao nível (a) dos constituintes expressos das analogias (b) da exploração didáctica, isto é, dos atributos comuns e não comuns bem como sobre os limites das analogias e metáforas usadas (c) da estratégia de apresentação que se revelou sem planeamento prévio (d) da falta de envolvimento dos alunos, ou seja, os professores não incentivaram os alunos a construir e a usarem analogias e metáforas. A autora considera que, tal como revelado pelo estudo, os professores não estão conscientes das potencialidades nem das limitações na utilização de analogias e metáforas. Conclui, considerando que é necessário repensar a formação inicial e contínua de professores tendo em vista superar tais deficiências.

(iv) Tem ainda sentido incluir aqui alguns estudos descritos por FABIÃO e DUARTE (2005, p.5) dado dizerem respeito a temas pouco usuais. O primeiro estudo foi desenvolvido em 1999 por Pittman no conteúdo curricular “Síntese de Proteínas”, e envolveu uma amostra constituída por 189 alunos do 8º ano. A metodologia seguida incluiu, entre outros passos, a elucidação dos alunos sobre o conceito de analogia e a apresentação pelo professor investigador de algumas analogias, antes de lhes ter sido solicitado que criassem as suas próprias analogias. O estudo permitiu retirar algumas implicações educacionais, nomeadamente a de que as analogias geradas pelos alunos constituem um meio privilegiado de avaliação diagnóstica e formativa. No segundo estudo, FABIÃO e DUARTE referem uma investigação levada a cabo em 1996 por Kaufman em que se apresenta uma caracterização do papel explicativo das analogias no domínio complexo da “fisiologia cardiovascular” com uma amostra heterogénea que incluiu quer alunos do curso de medicina quer especialistas. Os resultados evidenciaram, de uma forma geral, que: os sujeitos utilizavam analogias espontâneas como explicação a questões com

diferentes níveis de abstracção; os indivíduos que usavam analogias de um modo mais efectivo tendiam a gerar uma percentagem mais elevada de respostas correctas; os detentores de mais conhecimentos empregavam o raciocínio analógico de uma forma mais efectiva; o recurso à analogia revelou-se como facilitador da compreensão de conceitos, mas também podia contribuir para o aparecimento de concepções alternativas. Num outro estudo referido por Fabião e Duarte, Wong investigou em 1993 a capacidade heurística das analogias para a compreensão de fenómenos relativos à pressão de ar com onze estudantes universitários de áreas científicas diferenciadas. A estratégia consistiu em apresentar um mecanismo pistão/cilindro utilizado para demonstrar fenómenos de compressão, descompressão e equilíbrio, sendo solicitado aos alunos para produzirem as suas próprias analogias explicativas dos fenómenos. Os resultados indicam que as mudanças nas explicações dadas com base nas analogias produzidas pelos alunos foram substanciais incluindo novas inferências e “insights”.

(v) Um outro tipo de estudo pouco vulgar foi o levado a cabo por CAFFAGNI (2010) no ensino não formal das ciências. A autora estudou o uso de analogias e metáforas por monitores no centro de ciência e tecnologia da universidade de S. Paulo (USP), Brasil (“Estação Ciência” da USP). Algumas partes da exposição levantaram mais dificuldades de compreensão ao público, por exemplo, “A vida debaixo de água” ou “O corpo Humano”. A autora refere que, nestes casos, foi maior a frequência de uso das analogias e metáforas pelos monitores.

(vi) Também são referidos na bibliografia recente vários estudos no âmbito do estudo da estrutura da matéria. Por exemplo, LIU and LESNIAK (2006) estudaram a progressão da compreensão de 54 alunos sobre o conceito químico de substância desde o grau 1 (escola elementar) até ao grau 10 (escola secundária). Os autores adoptaram um referencial neo – piagetiano e concluíram que os alunos usam analogias nas suas explicações do conceito e que os progressos identificados foram multifacetados.

(vii) Nesta mesma linha, SMITH and RAZ (2003) investigaram o uso de software específico para introduzir o conceito de estrutura da matéria a jovens alunos. Os autores concluíram que os alunos têm dificuldades em visualizar a dimensão microscópica da estrutura da matéria e que tal situação representa uma importante barreira para a compreensão da química.

(viii) ADBO and TABER (2009, p. 710) também usaram analogias para estudar as concepções de 18 alunos (idade 16 anos) sobre a estrutura da matéria. Os autores consideram que a química como disciplina acadêmica deve ser estudada com base em modelos e que as analogias e metáforas desempenham um papel essencial para o efeito. Os exemplos apresentados são de várias ordens, por exemplo sobre a constituição do núcleo: “It is like a rubber ball with rocks in it” e sobre o papel dos neutrões “ The neutrons are just small things that make it, the nucleus stronger”.

(ix) Num estudo abrangendo alunos dos 4 aos 11 anos de idade, PAIK and GO (2007) exploraram analogias para estudar as suas concepções sobre calor e temperatura. Os resultados são diferenciados em função das idades mas subsistem ideias sobre a substancialização da energia frequentemente referidas na literatura.

(x) LEVIN and WAGNER (2006) usaram metáforas produzidas por 97 estudantes em aulas de ciências (grau 8) para estudar qual a concepção que os alunos têm sobre a escrita científica. Os resultados são convergentes com a ideia defendida por cientistas, filósofos e escritores (por exemplo, Heisenberg, Locke ou Henry Miller) de que a escrita é uma forma de aprendizagem.

(xi) O tema da corrente eléctrica é recorrente no estudo de metáforas e analogias usadas por professores e alunos. Por exemplo, CHIU and LIN (2005) estudaram o uso de múltiplas analogias para promover a mudança conceptual de 32 alunos (grau 4) sobre o conceito de corrente eléctrica. Os autores consideram que os resultados são positivos não só porque permitiram aos alunos conceptualizar novos conceitos como também os ajudaram a ultrapassar suas ideias alternativas sobre o tema.

(xii) Sobre este mesmo tema, PAATZ et al. (2004), estudaram o uso de analogias no ensino das leis de Kirchoff com 11 alunos com 16/17 anos de idade. A conclusão dos autores é de que os alunos foram capazes de conceber e avaliar todos os aspectos essenciais das leis de Kirchoff.

### **2.1.2 – Exemplos nos manuais escolares**

É de há muito conhecido que a inclusão de analogias nos livros de texto, nomeadamente na área da Física, remonta ao século XIX. Por exemplo, no século XIX, a influência de Maxwell através do modelo de “circuito hidráulico” levou a que esta analogia se mantenha há mais de cem anos em livros de texto (apesar de ser discutível a sua adequabilidade).

(i) Um dos mais recentes estudos sobre o uso de analogias em manuais escolares de química é o JÚNIOR (2009). Trata-se de um estudo centrado no ensino secundário em que o autor identificou 154 exemplos de analogias posteriormente analisadas de acordo com o referencial de dez categorias adaptadas de THIELE and TREAGUST (1994), a saber: quantidade; frequência; conteúdo do conceito alvo; tipo de relação analógica entre a fonte e o alvo; nível de abstracção dos conceitos (fonte e alvo); nível de enriquecimento da analogia; extensão das semelhanças); estrutura das inter - relações feito pelo autor; presença de orientação pré – tópico; formato da apresentação.

Com base neste referencial, JÚNIOR (2009) considerou que a maior parte das analogias identificadas não favorece a aprendizagem. Por exemplo, só em 6,5% dos casos se discutem as limitações da analogia.

(ii) ORGILL and BODNER (2006) analisaram a adequabilidade das analogias de oito livros de Bioquímica e correspondentes cursos dirigidos a alunos de medicina (curso propedêutico). Além de alguns aspectos problemáticos identificados, os autores realçam a diferença entre analogias usadas em livro e analogias orais (sala de aula) dado que, no primeiro caso, elas não oferecem nenhum mecanismo para feedback imediato ou para correcção de ideias alternativas.

### **2.1.3 - Exemplos na Formação de professores**

São os estudos menos frequentes. Não se consideram aqui os estudos em que, embora dizendo respeito ao ensino de um dado tema, o foco do estudo não é o professor (embora haja estudos de interface destas duas vertentes da educação em ciências).

O essencial dos estudos tem a ver com o modo como analogias e metáforas são usadas para conceptualizar o papel profissional do professor. Por exemplo, o professor como actor, como jardineiro, como empresário ou como facilitador das aprendizagens dos alunos. Subjacentes à interpretação de cada um desses papéis estão, naturalmente, princípios pedagógicos. Por exemplo, no primeiro caso, a interpretação previsível é de que a ênfase é na “performance”; ao invés, no último caso, a ênfase é no seu papel de mediador da aprendizagem.

É assim possível investigar as crenças do professor sobre o ensino, a aprendizagem, papéis e funções que ele desempenha. Por isso mesmo, esta linha de investigação, que remonta aos anos 80 e 90 (sobretudo com os trabalhos de Ken Tobin), foi rapidamente transposta

para estratégias de trabalho (muitas vezes de índole projectiva) na formação inicial e contínua de professores (ciências e outras áreas). O pressuposto é de que a reflexão (auto ou hetero) crítica sobre as crenças assim desvendadas possa levar à sua mudança no sentido desejado. Pressupõe a disponibilidade do próprio para a mudança.

(i) Refere-se aqui um estudo de investigação algo original de ZEMBYLAS (2004) sobre o uso de metáforas tendo em vista investigar as emoções de um professor de ciências no ensino de jovens alunos (1º ciclo), ou seja, como é que alguém sente (afectos) sobre acontecimentos e pessoas na sua vida profissional.

Trata-se de um estudo etnográfico (desenvolvido durante três anos) e cujo resultado essencial sublinha o papel das emoções no trabalho profissional do professor. Por exemplo, frases do professor como : “I feel very *close* to my students” ou ainda, “The conversation I had with John (um aluno) truly *warmed my spirits*”, são interpretadas como metáforas emocionais, respectivamente, “*love as closeness*” e “*joy as warm*” (p.310).

(ii) Uma outra linha de trabalho sobre a formação de professores é a nível do conhecimento de analogias e metáforas por parte de alunos futuros professores de ciências tendo em vista a sua formação para o futuro ensino. Um exemplo deste tipo de estudos é apresentado por FABIÃO e DUARTE (2005) no âmbito da formação inicial de professores com 18 alunos/futuros professores do 1º ano de uma Escola Superior de Educação (Portugal). Os autores estudaram a produção e exploração de analogias e metáforas por estes alunos no tema do equilíbrio químico, concluindo da existência de dificuldades mormente ao nível do desconhecimento das fontes e ainda devido ao desconhecimento do próprio tema em estudo.

## **2.2 - Modelos de ensino por analogias**

A designação de modelo de ensino faz-se no respeito pela designação com que geralmente surge na bibliografia embora na verdade mais correcto fosse designar por estratégias de ensino assistidas por analogias. Por outro lado, embora tais registos bibliográficos se refiram explicitamente ao caso de analogias em que as articulações entre a fonte e alvo são mais explícitas, é nosso entendimento que, no essencial, podem ser extensivos a metáforas. Está fora dos propósitos deste estudo apresentar todos os modelos de ensino por analogias (ver revisão em OLIVEIRA, 1997, p. 426 - 442). A maior parte desses modelos teve lugar

durante os anos 80 (século XX) pois, tal como já acima se referiu, foi sobretudo nessa altura que esta linha de investigação se afirmou na investigação educacional.

Definimos assim como critérios de escolha desses estudos (i) o serem centrados no professor, no aluno ou mistos (ii) dizerem respeito a estudos no âmbito do ensino das ciências.

### **2.2.1 – Modelos centrados no professor**

São os mais frequentes. Glynn (1991), Cit. por OLIVEIRA, Teresa, 1997, p. 430, propôs um modelo para os professores aplicarem na sua prática de ensino, baseado no ensino por analogias, conhecido por TWA, “Teaching With Analogies” e frequentemente referido na literatura. Neste modelo podem-se destacar as diferentes fases que se seguem: (1) Introduzir o conceito alvo (2) Rever situações análogas do conhecimento prévio dos alunos (3) Identificar as características mais significantes do domínio do conhecimento do aluno (4) Relacionar as características do domínio do conhecimento do aluno com o conceito alvo (5) Tirar conclusões sobre o conceito alvo (6) Verificar os limites da analogia.

As etapas 5 e 6 não são necessariamente sequenciais. Embora seja um modelo de referência, foram - lhe apontadas limitações, em particular o facto de as conclusões serem descritas antes de se identificar as limitações da analogia, o que possibilita a ocorrência mais fácil de ideias alternativas dos alunos.

O modelo TWA é frequentemente usado na análise de manuais escolares. Só que é frequente não incluir as seis fases do modelo, o que faz com que os alunos possam identificar características irrelevantes entre o alvo e a fonte, esquematizá-las, retirar conclusões erradas acerca do alvo e não conseguir perceber o limite da analogia. Corre-se assim o risco da compreensão dos alunos sobre o conceito alvo poder ser incorrecta e/ou incompleta.

### **2.2.2. Modelos centrados no aluno**

Neste caso, pretende-se sobretudo promover a criatividade e a imaginação dos alunos. Para SUTTON (1978) deverão ser os próprios alunos a criarem as suas metáforas e analogias. Para tal, o professor deverá criar uma estratégia de ensino que promova o estímulo e a criatividade no aluno. Assim, para Sutton, o papel do professor deverá ser tal que: (1) Alargue a analogia de forma a que os alunos estabeleçam um maior número de correlações

possíveis entre a analogia em questão e a informação específica de que dispõem (2) Discuta a ou as analogias e metáforas dos alunos tendo em conta as suas concepções alternativas sobre o assunto em questão, o que fará com que os alunos criem eles próprios as suas analogias e metáforas (3) Valorize os raciocínios dos alunos não lhes impondo limites a nível de imaginação e criatividade (4) Permita o uso de linguagem não científica, não criando obstáculos quanto à linguagem por eles utilizada pois certamente estará longe de ser adequada e científica; não procure definições precisas dos conceitos em causa. Uma das dificuldades que podem surgir com esta variante é de os alunos gerarem fontes que não são adequadas por exemplo, incorporação de ideias alternativas sobretudo no caso de jovens alunos. Parece pois difícil prescindir do papel mediador do professor.

### **2.2.3 – Modelos mistos**

CACHAPUZ (1989, p.124), apresenta um modelo de ensino misto assistido por analogias e metáforas para ser aplicado na sala de aula sendo este organizado segundo quatro fases sequenciais: (1) Apresentação da situação problema/conceito pertencendo ao domínio em estudo (2) Introdução do (s) conceito (s) pertencendo ao domínio familiar (sub – domínio analógico) (3) Exploração interactiva da correspondência estabelecida (4) Estabelecimento dos limites da analogia. Na prática, as duas etapas finais estão intimamente articuladas. A selecção do domínio familiar pode ser ou não da responsabilidade do aluno originando a possibilidade de duas estratégias de ensino, uma centrada no aluno (ECA) e outra centrada no professor (ECP). Este tipo de modelo pode ser esquematizado da seguinte forma:

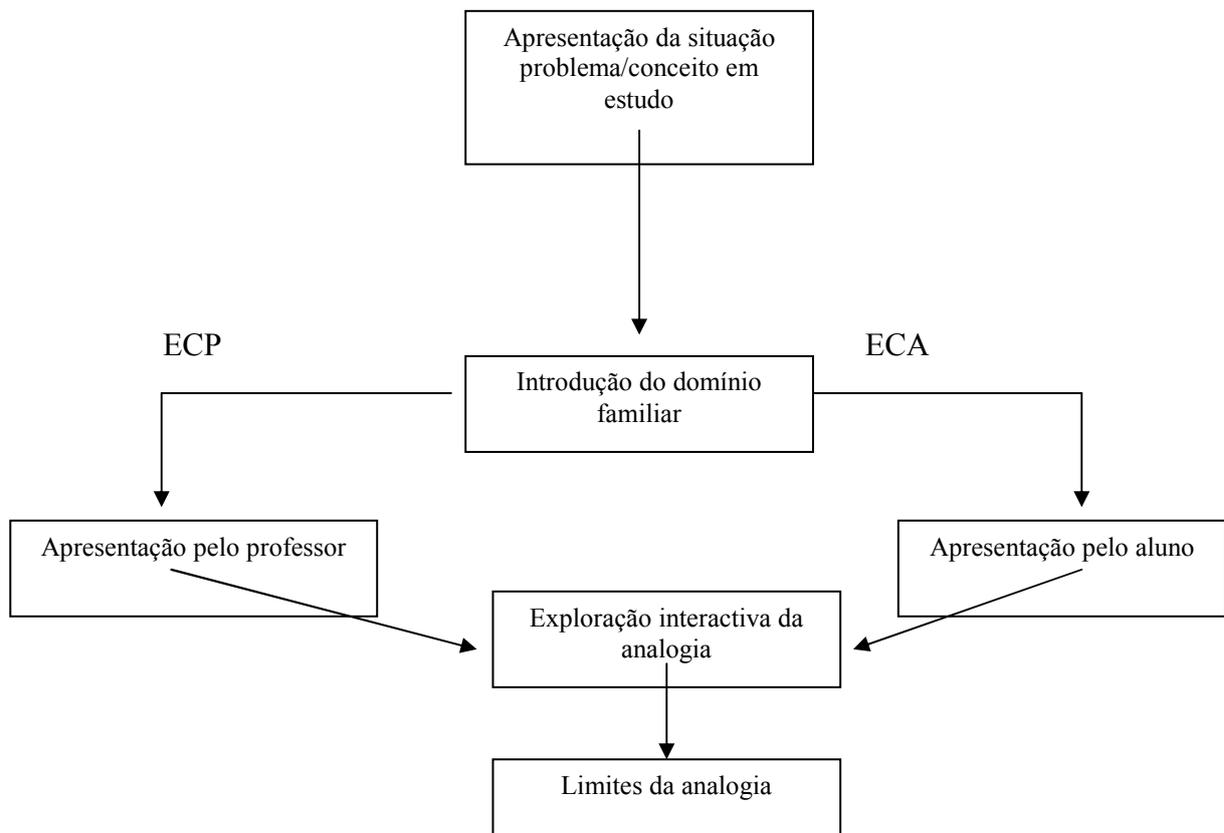


Diagrama 2 - de ensino misto assistido por analogias e metáforas

O critério de escolha de uma das duas estratégias depende da perspectiva pedagógica do professor, dos objectivos e dos contextos de ensino. Assim, no caso da apresentação de conceitos pertencentes a um domínio completamente novo para o aluno, será de optar por uma estratégia centrada no professor (ECP). Neste caso, as analogias funcionam como mediadoras de ensino, que estabelecem pontes entre o domínio familiar do aluno e o domínio do conceito que se pretende desenvolver. Neste caso, é necessário um maior cuidado por parte do professor em tornar perceptíveis as múltiplas relações (estrutura analógica) entre a fonte e ao alvo.

Uma estratégia centrada nos alunos deve ser tida em consideração quando o domínio de que faz parte o conceito em estudo já se encontra minimamente estruturado pelos alunos (por exemplo extensão de um tema) ou quando é ele próprio que a gera a analogia ou metáfora. No primeiro caso, a estratégia deve ser previamente planeada, e depende das

características dos alunos e do conhecimento que deles tem o professor. No segundo caso, menos frequente, o domínio familiar é naturalmente conhecido por quem o apresenta; só que pode não ser adequado. Cada caso é um caso. O autor refere que caberá sempre ao professor decidir que tipo de exploração fazer nas etapas subsequentes (p. 125).

No nosso entender, apesar de ser uma estratégia de trabalho bastante flexível, uma crítica a este modelo é que não foi convenientemente testado, isto é, tem reduzido suporte empírico.

Finalmente, a exemplo do que referimos no capítulo 1.3 sobre as críticas de índole epistemológica apresentadas por Bachelard sobre o uso de analogias e metáforas, é importante sublinhar particulares precauções no seu uso didáctico com jovens alunos.

Uma analogia é considerada má quando é difícil identificar os aspectos importantes mostrados pela fonte e pelo alvo ou quando a primeira não é familiar ou inadequada (uma questão nem sempre fácil de decidir pelos professores). Para uma analogia poder ser utilizada é considerado um pré-requisito a elaboração de um exame crítico sobre todos os aspectos da analogia. Uma analogia pode ser usada para explicar correctamente, até prever alguns aspectos do alvo; contudo, todas as analogias têm um limite e esse limite deve ser explorado cuidadosamente com os alunos. Por exemplo, na bem conhecida utilização de uma analogia entre um circuito hidráulico (fonte) e um circuito eléctrico (conceito alvo) é possível o professor explorar múltiplas semelhanças, respectivamente: tubos/fios eléctricos; secção do tubo/resistência; válvulas/interruptor; bomba hidráulica/pilha; corrente de água/corrente eléctrica; moléculas de água/electrões. Só que, um jovem aluno que acredite que a electricidade num fio eléctrico é como água numa mangueira, pode concluir erradamente que, se o fio for cortado, a electricidade irá sair através do fio. A mediação do professor é insubstituível.

## **2.3 - A Química Quântica e o tema da estrutura atómica**

### **2.3.1 – Da relevância do tema**

O avanço da Química nas últimas décadas teria sido impossível sem o suporte da Mecânica Quântica. Num ensaio recente sobre a Mecânica Quântica, BRUCKINGTON (2005, p.27), refere que “as teorias clássicas da Física deram lugar a uma nova maneira de enxergar o mundo, a partir da primeira metade do século XX, que não só parecia estar em desacordo com toda a Física construída até então, como se mostrava em total desacordo com o senso

comum. Ela traz a noção de que a natureza parece estar além da imaginação”. E o autor acrescenta que, “a ciência impõe então uma nova forma do homem se relacionar com a natureza: saltos quânticos, relação observador/observado, não causalidade, indeterminismo etc., exigindo uma revisão profunda das concepções de ciência e sua capacidade de construção de imagens da realidade”. É conhecido como tal evolução e controvérsias geradas não só afectaram o campo específico da ciência mas também o campo da própria filosofia do século XX. Quase 100 anos volvidos, tal impacto ainda permanece.

No campo da Química, as apropriações feitas em termos de conceitos como, incerteza, saltos quânticos ou orbital, tiveram, a partir dos anos 30, enorme impacto, designadamente na interpretação da estrutura e propriedades dos átomos e da ligação química. Por isso mesmo, é hoje impensável conceber a Química moderna e o seu ensino sem tais contributos.

No entanto, ao contrário de frequentes estudos sobre concepções de alunos sobre a natureza corpuscular já acima referidos (ver exemplos complementares em ADBO and TABER, 2009), não há na literatura muitos exemplos de estudos sobre a temática do ensino ou aprendizagem da estrutura atómica no âmbito da Química Quântica. Tal situação não deixa aliás de ser algo surpreendente dado ser conhecido dos professores dificuldades dos alunos neste domínio. COOL and TREAGUST (2003) estudaram aspectos da aprendizagem da ligação química e TABER (2003) sobre a ligação metálica, em ambos os casos revelando a importância de conhecimentos prévios na formação de novos conceitos. Mas não são estudos especificamente sobre a estrutura atómica mas antes sobre a sua aplicação a outros sistemas da química.

Mais perto do foco deste estudo são os estudos de PETRI and NIEDERER (1998) e também de PARK and LIGHT (2009). Petri and Niederer estudaram concepções de alunos em final de ensino secundário sobre a estrutura atómica e, no essencial, os resultados revelaram a co - existência do modelo planetário e do modelo de nuvem electrónica a nível conceptual, com dominância do primeiro. No caso de Park and Light, de certa forma, o seu estudo ajuda a compreender a competição a nível da aprendizagem entre esses dois modelos de estrutura atómica referidos por Petri and Niederer. Na verdade, para PARK and LIGHT (p.237), os conceitos de quantização (modelo de Bohr) e probabilidade de presença electrónica (com base no princípio de Heisenberg e usado no modelo de nuvem electrónica para apoiar o conceito de orbital) são considerados “threshold concepts”,

verdadeiras barreiras conceptuais que se levantam aos alunos, “representing a transformed way of understanding or interpreting or viewing something without the learner cannot progress”. Segundo os autores, o mesmo se aplica aos conceitos de limite na Matemática ou entropia na Física.

Ambas as dificuldades (quantização da energia e probabilidade de presença electrónica) têm necessariamente consequências quando os alunos abordam o estudo, ainda que qualitativo, do modelo atómico orbital. É o que leva aqueles mesmos autores a afirmar com base em estudo empírico que a frequente concepção dos alunos é “combined the different orbital shapes (nos diagramas que se lhes apresentam com base no modelo de nuvem electrónica) with Bohr’s orbiting electrons as a set path” (p. 251). Uma conclusão que ADBO AND TABER (2009, p.765) em estudo feito com alunos suecos de 16 anos de idade, traduzem da seguinte forma: “...the students seem to create hybrid models where they simply try to adapt the Bohr model to accommodate orbitals”. Uma conclusão que sendo relevante, no nosso entender, não surpreenderia um professor experiente.

### **2.3.2 - A centralidade do tema nos programas**

Em Portugal, em termos de organização curricular, o tratamento da Química Quântica em particular no que respeita ao estudo da estrutura atómica, é feito na disciplina de Física e Química A (disciplina bienal), uma das três disciplinas do tronco comum da componente de Formação Específica do Curso Geral de Ciências Naturais e do Curso de Ciências e Tecnologias do Ensino Secundário (ver programa, M.E., 2001).

De forma sumária, as ideias estruturantes sobre a estrutura atómica são desenvolvidas no 10º ano e antecedendo o estudo da tabela periódica; as aplicações dessas noções são feitas no 11º ano de escolaridade com destaque para o estudo da ligação química em moléculas diatómicas e poliatómicas. O tema da estrutura atómica é retomado no início do 12º ano, na disciplina de Química, anual, (ver programa, M.E., 2004) que é optativa do Curso de Ciências e Tecnologias do Ensino Secundário. Neste caso, as três unidades programáticas estão subordinadas à temática geral “Materiais, sua estrutura, aplicação e implicações da sua produção e utilização”. Ambos os programas colocam a ênfase numa perspectiva C/T/S/A.

Em termos globais, o estudo da estrutura atômica, com maior ou menor aprofundamento, faz parte de todo o currículo do ensino básico e secundário. No que respeita ao ensino básico, o ensino faz-se, no essencial, com base na exploração da analogia do modelo planetário em que os electrões ocupam "anéis" em redor do núcleo do átomo (órbitas bem definidas) representando uma miniatura do sistema solar: os electrões como os planetas e o núcleo como o sol. Neste modelo não há ainda qualquer intervenção do conceito de quantização (da energia) tal como expresso no modelo de Bohr. Este último só intervém no ensino secundário, no 10<sup>o</sup> ano de escolaridade, a respeito do estudo do átomo de hidrogénio. O programa do 10<sup>o</sup> ano prevê no entanto o estudo do "Modelo Quântico", "Números Quânticos" e "Orbitais s, p, d". Ou seja, explora-se de modo qualitativo o designado modelo de nuvem electrónica e, nesse âmbito, a noção e variação da probabilidade de presença electrónica, embora não se faça referência ao princípio de Heisenberg.

No início do programa do 12<sup>o</sup> ano, os professores retomam ideias centrais da estrutura atômica a título de revisões tendo em conta a "interrupção" no 11<sup>o</sup> ano de escolaridade (aqui o foco é na aplicação das ideias sobre a estrutura atômica, em particular no estudo da ligação química). Desenvolvem-se as orbitais d e f (necessárias ao estudo dos metais de transição) e calcula-se os valores de energia associados aos diferentes níveis n usando a expressão de Bohr. Não é pois por acaso que os manuais escolares do 12<sup>o</sup> ano aprofundam o estudo da estrutura atômica (ver por exemplo DANTAS e RAMALHO, 2005).

Os actuais programas curriculares do 10<sup>o</sup> ano de escolaridade e, em menor grau, do 12<sup>o</sup> ano de escolaridade, parecem pois traduzir o dilema entre a importância de noções chave da Química Quântica necessárias à compreensão da Química Moderna (em particular, quantização, noção de orbital e de probabilidade de presença electrónica) e as dificuldades inerentes a tal abordagem a um nível pré – universitário. Não admira pois que a estrutura electrónica no ensino secundário seja um tema que levanta particulares dificuldades de compreensão para os alunos.

Em conclusão, a conjugação de argumentos apresentados sobre (a) a importância da linguagem metafórica no ensino das Ciências, (b) a escassez de estudos de pesquisa dessa índole no âmbito da Química Quântica/estrutura atômica/ensino secundário e, em particular, em ambiente formal de ensino (c) o potencial de mobilização de linguagem metafórica na abordagem de um tal conteúdo conceptualmente abstracto (d) a relevância

curricular do tema estrutura atômica no ensino secundário, foram considerados motivos bastantes que nos levaram a desenhar esta investigação. Por outro lado, tendo em conta a natureza abstracta do tema e sua forte incidência conceptual, uma maneira possível de levar a bom porto a nossa pretensão é pelo estudo da linguagem metafórica usada por professores e alunos em ambiente formal de ensino (sala de aula), já que a linguagem é reconhecidamente um poderoso instrumento de comunicação e construção do conhecimento.

Escolheu-se o 12º ano de escolaridade pois representa, à luz do que acima se referiu, o culminar do estudo desse tema no ensino secundário.

## Capítulo 3

### DESENHO E METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO

#### 3.1 – Finalidade, objectivos e questões de investigação

Neste capítulo define-se a finalidade do estudo, os seus objectivos e questões de investigação e apresenta-se o seu desenho e organização metodológica.

Com base nas reflexões expostas nos capítulos 1 e 2, os pressupostos do estudo são que (i) a linguagem metafórica é relevante no ensino e na aprendizagem da Química (ii) é possível identificar tal tipo de linguagem no discurso do professor e do aluno numa situação não controlada de sala de aula (independentemente do tipo específico de linguagem metafórica usada, isto é, símile, analogia, metáfora...) (iii) através de tal identificação é possível contribuir para dar respostas a questões pertinentes sob o ponto de vista da educação em ciências.

A finalidade do estudo é assim contribuir para um melhor conhecimento sobre o papel e usos da linguagem metafórica no ensino das Ciências/Química tendo em vista a melhoria desse ensino, em particular no âmbito da Química Quântica/estrutura atómica (ensino secundário).

Em conformidade, alinham-se as seguintes questões de investigação:

Q1- Se existem e quais as evidências de linguagem metafórica usada por professores e alunos no quadro do ensino da estrutura atómica (ensino secundário)?

Q2 – Quais as características da linguagem metafórica usada por professores e alunos no ensino da estrutura atómica (ensino secundário)?

Q3 – De que forma a linguagem metafórica é usada por professores e alunos no quadro das estratégias de ensino da estrutura atómica (ensino secundário)?

Q4 – Que implicações se podem retirar do estudo tendo em vista melhorar a articulação entre a investigação sobre o ensino da Química e a formação de professores de Química?

Em articulação com estas questões de investigação o estudo visa três objectivos específicos, a saber:

O1 – Identificar e caracterizar a linguagem metafórica usada no discurso do professor e alunos no âmbito do ensino da estrutura atómica (ensino secundário).

O2 – Contribuir para uma melhor compreensão do papel e limitações da linguagem metafórica usada no âmbito do ensino da estrutura atómica (ensino secundário).

O3 – Contribuir para a construção do conhecimento no âmbito da formação de professores de Química (ensino secundário) articulando a dimensão da investigação sobre o ensino com a dimensão da formação.

### **3.2 – Decisões metodológicas e faseamento do estudo**

As principais fases do estudo distribuíram-se no tempo do modo como a seguir se indica:

Setembro de 1995 / Novembro de 1995 - decisões sobre a organização do estudo em particular sobre: selecção da unidade didáctica; nível de escolaridade dos alunos; escolha do professor; selecção do método de investigação.

Dezembro de 1995 / Janeiro de 1996 – gravação das seis aulas correspondentes à unidade didáctica em estudo.

Abril de 1996 / Setembro de 1996 – transcrições dos protocolos constituindo o corpus do estudo. Início da análise e da redacção. Interrupção do estudo.

Diversas vicissitudes de ordem pessoal/familiar obrigaram a investigadora a interromper este processo, só sendo retomado em 2010. Tal situação merece um comentário tendo em vista situar o estudo nesse enquadramento temporal.

Sob o ponto de vista da actualidade da linha de investigação em que este estudo se insere, as investigações recentes referidas no capítulo 2 (publicadas em prestigiadas revistas internacionais de pesquisa em Educação em Ciências) legitimam a pertinência deste estudo.

No entanto, o facto de, desde então, terem havido mudanças curriculares no âmbito do ensino secundário merece ser mais escrutinado. No capítulo 2.3.2 já se referiram aspectos centrais dos actuais programas curriculares do ensino secundário. Importa agora confrontar a sua compatibilidade com aqueles sobre que incidiu este estudo (12º ano).

Na verdade, os actuais programas curriculares de Química do ensino secundário apresentam algumas diferenças que, nalgumas unidades curriculares, são substanciais em boa parte devido ao agora claro enfoque C/T/S (ver capítulo 2.3.2). No entanto, no caso do estudo da estrutura atómica (porventura devido ao seu carácter mais abstracto) as mudanças são de pouca monta. Com efeito, (i) então como agora, continua a ser no 10º ano e 12º ano de escolaridade onde se explora o estudo da estrutura atómica (ii) Os currículos

têm em comum no 10º ano uma unidade curricular sobre a estrutura do átomo, algo mais elaborada no currículo actual (por exemplo, o estudo da configuração electrónica de átomos de elementos de  $Z < \text{ou} = 23$ ). No caso do 12º ano, verifica-se um pouco a situação inversa, isto é, o currículo anterior era mais elaborado no estudo da estrutura atómica. Por exemplo, não se aprofunda agora o significado da função  $\psi$  ao quadrado em termos da probabilidade de presença electrónica. No entanto, antes como agora, não se explora o princípio de incerteza de Heisenberg, embora se continue a apresentar o modelo de nuvem electrónica (modelo quântico) da estrutura atómica e a falar-se de probabilidade de presença electrónica e sua variação com a distância ao núcleo (iii) Por outro lado, como a disciplina de Química do 12º ano é optativa, é frequente professores (em função do nível académico dos alunos) apresentarem aprofundamentos sobre a estrutura atómica que vão ao encontro de aprofundamentos do programa anterior. Por exemplo, no recente manual escolar de DANTAS e RAMALHO (2007), os autores não se limitam a rever conteúdos do 10º ano. Vão mais além. De facto, embora não desenvolvam a equação de Schrödinger, fala-se da sua existência; noção (qualitativa) de probabilidade electrónica e sua variação em termos da densidade electrónica, noção qualitativa de orbital e orbitais d e f (aspectos claramente convergentes com o 12º ano antigo). Ou seja, as ideias estruturantes sobre a estrutura atómica fazem parte do 10º ano de escolaridade sendo retomadas e aprofundadas depois no 12º ano (para quem escolhe Química como disciplina optativa) e são substancialmente compatíveis com o programa curricular (estrutura atómica) do 12º ano sobre que incidiu este estudo.

Do exposto resulta que tem todo o sentido na organização das categorias de conteúdo deste estudo (categorias que são articuladas com os programas curriculares) ter em conta tal compatibilidade. De acordo com tal posição não se considerou uma categoria de conteúdo relativa à função de onda ( $\psi$ ); embora se reporte o que se passou na sala de aula não se aprofunda a sua análise. Como limitação a assinalar ficaram por aprofundar alguns aspectos pertinentes do actual 12º ano, por exemplo, o caso das orbitais d e f em que só se faz uma breve referência no final dos protocolos.

Continuamos pois a considerar que o estudo mantém o seu sentido e pertinência. Razões bastantes para o termos mantido embora com as reformulações devidas. Os resultados obtidos corroboraram aliás a justeza de tal decisão. Disso se fala no que se segue.

### **3.3 – Organização do estudo**

O quadro referencial teórico em que nos movemos já foi delineado no capítulo 1, em particular, o sentido que demos a esta investigação ser convergente com uma perspectiva construtivista da Didáctica das Ciências/Química. Tal perspectiva fundacional implica articulações coerentes entre os objectivos/questões de investigação acima apresentados e o desenho e metodologia de investigação.

A racionalidade da escolha de abordagem metodológica teve assim a ver com a natureza fenomenológica do estudo e o previsível pouco controlo sobre os comportamentos dos sujeitos envolvidos (campo de observação na sala de aula). Assim sendo, adoptou-se uma estratégia metodológica do tipo qualitativo e de índole naturalista (não participante), já que o foco do estudo passa pela valorização da dimensão semântica/contextual da produção do discurso didáctico. Ou seja, de acordo com YIN (1987), implica que o investigador obtenha elementos do tipo descritivo em relação próxima com as pessoas e situações observadas em seu contexto natural de produção (neste caso a sala de aula). Nesta conformidade o estudo cabe no que a literatura designa geralmente por “field research” ou seja, Estudo de Campo (ROBSON, 1994).

A índole fenomenológica do estudo implica uma convergência na escolha dos métodos e técnicas de investigação. De acordo com ROBSON (1994), todos os diferentes métodos e técnicas disponíveis para a investigação educacional têm vantagens e limitações, pelo que a opção por uma delas deve ser feita com base na comparação das suas potencialidades e limitações intrínsecas e contextuais, tendo por base os objectivos do estudo em causa.

Tendo em conta as vantagens e as limitações das diferentes técnicas de investigação bem como o tipo de estudo, optou-se pela análise de conteúdo (do discurso pedagógico da sala de aula) como técnica de investigação empírica dado permitir fazer inferências válidas dos dados para o seu contexto. Ou seja, efectuar inferências, com base numa lógica explicitada, sobre as mensagens cujas características foram sistematizadas. No caso de um estudo com as características do actual, esta técnica tem ainda a vantagem de funcionar como técnica não - obstrutiva pois quando se recorre a uma investigação empírica (neste caso o professor e os alunos como fonte de informação) um dos problemas é as respostas poderem ser afectadas pelo facto de os sujeitos darem-se conta de que estão a ser “testados” (no presente estudo havia um gravador na sala de aula). No entanto, tendo em vista a “habituação” à gravação das aulas foram feitas gravações prévias de aulas sem conexão

com o tema aqui em estudo. Porventura mais importante, nem o professor nem os alunos tinham conhecimento dos objectivos do estudo, não sabendo quando e através de que procedimentos os protocolos iriam ser analisados.

Em termos genéricos, pode-se então considerar o seguinte modelo de trabalho:

- O discurso pedagógico de sala de aula relativo à totalidade da unidade didáctica foi gravado em áudio e foram redigidos os protocolos.
- Elaborou-se uma síntese de cada protocolo com base nos objectivos e objecto do estudo.
- Tendo como referência as categorias de conteúdo (pré – definidas tendo em conta a estrutura curricular) construiu-se um modelo de análise do discurso pedagógico capaz de permitir inferências sobre o objecto do estudo.

Desenvolvimentos deste modelo de trabalho são apresentados a seguir.

### **3.4 - Modelo de análise**

Numa primeira fase construiu-se um corpus sobre o qual incidiu toda a análise posterior. Este corpus é formado por seis protocolos escritos, transcritos a partir da áudio - gravação das seis aulas relativas à totalidade da unidade didáctica “Estrutura Electrónica dos Átomos” do 12º ano de escolaridade, contendo as gravações das aulas.

Numa segunda fase elaborou-se um descritivo de aula para cada uma das aulas. Por descritivo de aula entende-se aqui uma síntese escrita de cada aula áudio - gravada. Esta fase teve como finalidade uma descrição sumária e sequencial de momentos e ideias essenciais desenvolvidas nas aulas e considerados pertinentes para a análise subsequente. A unidade de estudo neste caso foi a aula.

Numa terceira fase, e tendo como referencial os programas curriculares (ensino secundário) e a prática de ensino registada, definiram-se quatro categorias de conteúdo com incidência curricular, pela conjugação de dois critérios: (i) ideias estruturantes da estrutura atómica de acordo com o currículo intencional do ensino secundário (em particular, 10º e 12º anos de escolaridade) (ii) ideias estruturantes efectivamente desenvolvidas na prática pedagógica (a posteriori) pelo docente. Não sendo possível o estudo de todas foi dada prioridade às categorias de conteúdo: Distribuição Espacial dos Electrões; Quantização da Energia; Espectro do Átomo de Hidrogénio; Números Quânticos e Orbitais. De registar que uma dada categoria de conteúdo não se reporta necessariamente

a um só protocolo de aula podendo emergir em várias aulas (o que realmente aconteceu e era expectável num ambiente não controlado como uma sala de aula).

Numa quarta fase, analisou-se a totalidade dos protocolos escritos (seis aulas). Em termos operativos, para cada categoria de conteúdo, identificaram-se episódios metaforicamente relevantes (EMR), isto é, segmentos do discurso pedagógico (tal como revelado nos protocolos escritos) nos quais é possível reconhecer a utilização de analogia e/ou metáforas e/ou símiles...) pela professora e/ou alunos. Os EMR constituem assim a unidade de análise de conteúdo. A definição de um dado EMR foi feita pelo cruzamento entre a natureza semântica do discurso pedagógico (professora e alunos) e o contexto de produção do mesmo (objecto de estudo/estrutura atómica nas circunstâncias educativas relativas ao ambiente formal de ensino em jogo). Ou seja, tendo como enquadramento o contexto de estudo, foram feitas inferências semânticas sobre o uso feito de marcadores linguísticos de comparações explícitas (ver exemplos destes marcadores em 1.2.2) por exemplo, “*tipo* uma órbita à volta do núcleo”) ou implícitas (mas redutíveis às primeiras), sobretudo no caso de metáforas (analogias condensadas), por exemplo, “*densidade electrónica*”. Ao termos em conta o cruzamento entre a dimensão semântica e a contextual (pragmática) do discurso, o procedimento metodológico seguido é pois conforme à opção teórica tomada em 1.2.2 sobre a síntese adoptada entre as duas perspectivas de estudo da linguagem.

Só foram retidos para a fase seguinte os EMR validados por um segundo analista (investigador em educação em ciências com experiência no domínio em estudo). Ou seja, tal modelo de análise consistiu em, com base num corpus inicial de estudo (discurso pedagógico do professor e alunos) construir um novo discurso (conjunto de EMR) através do resultado do cruzamento entre o discurso a analisar e as condições e contextos de produção da análise.

Numa quinta fase, definidos os EMR (cujos exemplos identificados são em extensão variável), a análise desenvolveu-se tendo com vista caracterizar a natureza das interacções verbais ocorridas quando do estudo de uma dada categoria de conteúdo, interacções aqui assumidas como revelando aspectos da organização dos sistemas conceptuais do professor e dos alunos quando do ensino e da aprendizagem do tema em estudo. Os resultados da análise de uma dada categoria de conteúdo são apresentados de modo a explicitar o uso feito da linguagem metafórica seguindo os diferentes momentos de aula.

No diagrama que se segue apresentam-se esquematicamente os aspectos centrais do caminho seguido

### Diagrama de fases da análise

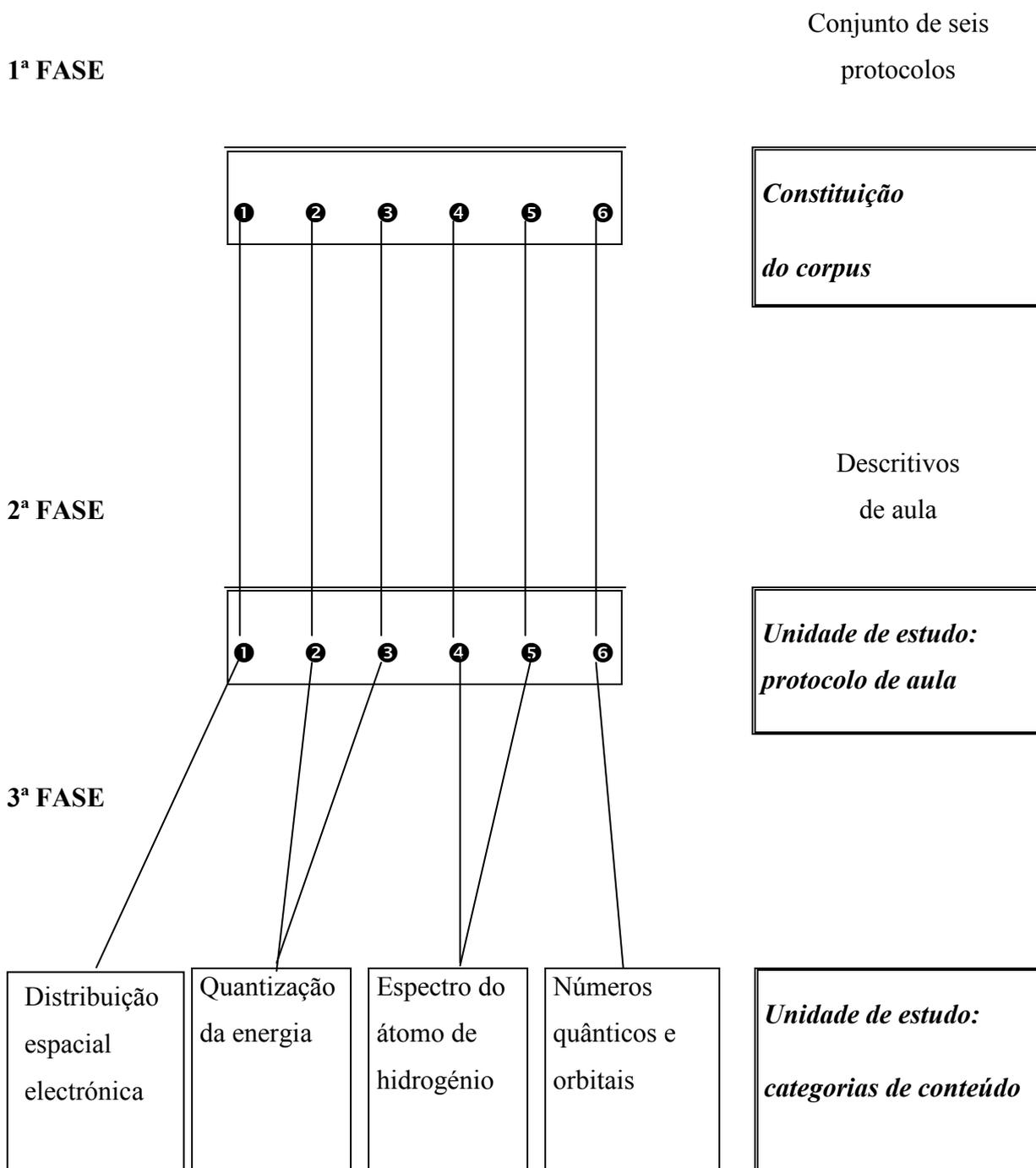


Diagrama 3 – Fases da análise

Quanto às convenções usadas no texto: (i) Nos protocolos as entradas são numeradas por ordem crescente quer para a professora P quer para os alunos A. Nos protocolos, o discurso dos alunos aparece em itálico e negrito (ii) Sempre que é necessário referir um extracto do protocolo, indica-se à esquerda de P ou A o nº da aula (de 1 a 6) e à direita o número da entrada correspondente no protocolo. Por exemplo: 3P5 (aula número 3, quinta entrada da professora); 2A4 (aula número 2, quarta entrada de aluno) (iii) As citações dos extractos dos protocolos são feitas entre aspas; para assinalar a linguagem metafórica usada (ou pelo menos o seu aspecto focal) usa-se o itálico.

### **3.5 - Selecção do professor**

A decisão sobre a escolha do professor com que se iria trabalhar neste estudo foi orientada por vários critérios: (i) Não se optar por um professor que leccionasse na mesma escola da investigadora. Embora pudesse trazer algumas vantagens (em termos de relações pessoais e de conveniência de horário de trabalho), sabe-se também que conduzir uma investigação com pessoas com quem se trabalha diariamente pode ser confuso e embaraçoso (ii) Um professor que leccionasse o conteúdo programático escolhido (iii) Um professor do ensino secundário (efectivo/nomeação definitiva) com grande prática profissional.

Tendo em conta estes factores, foi seleccionada uma professora com habilitação própria, Licenciatura em Ensino da Física e da Química, com estágio pedagógico e grande experiência profissional (10 anos de experiência profissional, à época) e leccionando o 12º ano de escolaridade.

A disponibilidade e interesse com que o convite foi aceite também fez transparecer o profissionalismo da professora escolhida. A escola onde se encontrava então colocada era a Escola Secundária de Condeixa - a - Nova (Distrito de Coimbra). A professora desconhecia os objectivos do estudo, em particular no que respeita ao uso da linguagem metafórica, excepto que se pretendia genericamente saber as estratégias de ensino desenvolvidas no ensino do tema.

A turma constituída por 26 alunos foi escolhida por ser da área de estudos do ramo científico e com comportamento e aproveitamento académico mediano não só à disciplina de Química como às restantes.

Embora uma limitação deste estudo seja o facto de se ter baseado apenas num professor (e com uma turma) apostou-se na qualidade do ensino do mesmo. Uma eventual alternativa

inicial de estudo da LM em manuais escolares, foi considerada como potencialmente menos inovadora (é a estratégia de trabalho mais comum) e até com eventual menor impacto educacional. Por outro lado, não é objectivo do estudo a generalização estatística dos resultados obtidos mas tão só generalizações analíticas.



## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS E SUA ANÁLISE**

#### **4.1 – Introdução**

Apresentam-se os resultados para cada uma das quatro categorias de conteúdo definidas bem como a respectiva análise. Para uma dada categoria de conteúdo, para facilitar o cruzamento e a análise dos dados obtidos (e tendo em conta o número reduzido de protocolos de aulas), estes são apresentados no corpo do texto juntamente com os descritivos de aulas sintetizando as fases essenciais dessa aula.

Por muito fiel que o investigador seja à audiogravação, existem sempre momentos numa aula que são impossíveis de traduzir no protocolo escrito correspondente (a pausa correspondente à espera de uma resposta, o gesto da professora ou do aluno utilizado para enfatizar a sua explicação, as chamadas de atenção com mudança de timbre de voz, ...). Estes aspectos, que aqui não são tidos inteiramente em conta, poderiam eventualmente contribuir para aprofundar a análise do conteúdo dos protocolos. Mantiveram-se as palavras utilizadas quer pela professora quer pelos alunos, mesmo que, por vezes, as frases não sejam conclusivas ou apareça a mesma palavra duas vezes seguidas.

#### **4.2 – Categoria de conteúdo Distribuição Espacial dos Electrões (aula nº1)**

##### **4.2.1- Protocolo da aula nº 1**

P1 - Vou só começar por vos situar, como fiz em relação ao primeiro capítulo, vos situar qual é que é, exactamente, a referência que o programa faz desta parte da matéria. E vou citar.

Ele pretende dar uma informação sobre a distribuição espacial dos electrões obtida por métodos experimentais (métodos de difracção), difracção que nós já falámos no capítulo anterior. Agora vamos rever e ver como é que isso só, em que é que isso vai servir para nós a partir da difracção de electrões vemos onde estão situados os electrões nos átomos. Vamos só recapitular aqui algumas coisas. Eu para isso pedia para vocês pegarem no vosso tema nº1, têm? No trabalho, no tema nº1. Vejam lá. Nós temos falado em, quando falámos dos vários modelos atómicos ou quando vocês fizeram referência a isso vocês aperceberam-se que, já sabiam isso de anos anteriores que chegou-se a uma certa altura, que chegaram a partir de diversas evidências experimentais conclusão de que havia partículas com carga negativa no átomo. A essas partículas foi dado o nome de electrões.

Mas viram também, aperceberam-se disso também que o sítio que esses electrões ocupavam no átomo não foi sempre aceite como sendo o mesmo. Foi havendo evolução. Ora bem, falámos no Modelo de Thomson, se bem se recordam e que foi o primeiro a falar da existência de cargas, de partículas com carga eléctrica negativa, depois Rutherford fala em que os electrões se distribuem em órbitas à volta do núcleo e circulam

nessas órbitas. O Bohr vem também falar em órbitas associando ao conceito de órbita uma quantificação de energia por isso é que as orbitais de menor energia ( ... ) Há um senhor importante que também se debruça sobre como é que os electrões descrevem os movimentos no átomo e fala, se bem que nós não tenhamos focado aqui, mas fala que os electrões não descreviam órbitas circulares mas a forma dessas orbitais seria elíptica. Só que entretanto, as conclusões em termos experimentais, as evidências experimentais apontam no sentido absolutamente contrário a estas conclusões, ou seja, seria lógico que se os electrões descrevem órbitas em volta do núcleo, pelas Leis da Mecânica Clássica eu conseguiria detectar exactamente o sítio onde estariam esses electrões. O que é facto é que não conseguem detectar esses sítios exactos através da aplicação das Leis da Mecânica Clássica. Ora bem, aqui no trabalho, quando nós falámos, ponto 4:

-espectros atómicos, só recordando o que é que é dito sobre isto, como é que então, ou que técnicas são essas agora. É importante saber que técnicas são essas que nos vão elucidar sobre a posição dos electrões e depois, quais são essas posições, como é que se exprimem, se há maneira de serem visualizadas ou não, se há maneira de serem descritas qualitativamente ou quantitativamente e no capítulo 4, diz logo no início: «Foi a contribuição de uma das áreas de Física, o estudo da Luz ou Óptica, desenvolvida significativamente no século passado e princípio deste que permitiu a formulação do modelo atómico que veio esclarecer satisfatoriamente a questão sobre onde se encontram os electrões nos átomos». Depois é feita uma descrição de que foram analisados vários espectros e nós na próxima aula vamos ver concretamente em que é que consistem esses espectros, que espécie de espectros diferentes nós vamos ter e que informações eles nos vão dar. Mas queria que, mais à frente no capítulo 6, diz, por isso já estão a ver, vai haver técnicas relacionadas com a Luz e com a Óptica que foram coisas que tivemos a dar um bocadinho forçado que nos vão elucidar para ver onde estão os electrões nos átomos. No capítulo 6 dizem-nos assim, na insuficiência da Teoria Atómica de Bohr, dizem-nos assim: «Uma das principais dificuldades do conceito de Bohr seria no conceito de órbita. É que nenhum físico conseguira desenvolver qualquer processo que permitisse determinar a posição dos electrões nas respectivas órbitas num determinado instante». Conforme nós vimos quando estudamos depois, mais à frente, que as partículas onde estão associados também certos fenómenos ondulatórios, queria recordar que, e mais à frente vocês têm em 1927, dois físicos americanos, Davison e Germer verificaram ocasionalmente que um feixe de electrões se comportava exactamente como um feixe de radiação electromagnética à superfície de um metal. Nós vamos, a partir de agora estudar é que experiências são essas concretamente e o que é que elas nos permitem visualizar em termos de localização de electrões. E vocês podem perguntar, será que é assim tão importante nós sabermos onde se encontram os electrões nos átomos? Acham que é? Se é, porque é que será? É importante sabermos onde se encontram os electrões nos átomos?

**A1 - Claro que é. Para sabermos a quantidade de energia que o átomo tem.**

P2 - Tem a ver também com a quantidade de energia, sim senhora. E isso, é importante saber isso?

**A2 - Acho que é.**

P3 - Porquê?

**A3 - Porque assim conhecem-se os átomos.**

P4 - Sim, e mais? Nunca pensaram nisso, porque é que é importante? Afinal há uma data de séculos que as pessoas perguntam como é que é constituída a matéria. E há uns anos para cá as pessoas sentem necessidade

de ver, andam sempre à volta disto, os químicos e os físicos, mas afinal o que é que há dentro dos átomos? Há partículas ainda mais pequeninas. Como é que elas se distribuem? Como é que elas estão? Que energia têm associada. Mas isso será que é assim tão importante? Um bocadito deve ser. Senão, se calhar, muitas das pessoas não andavam aqui feitas tolas sempre a debruçarem-se sobre isso. Mas para que é que será?

**A4 - *Descobrir novas características do átomo.***

P5 - E para quê?

**A5 - *Para assim distinguir melhor diferentes matérias, produtos.***

Há isso, se calhar tem a ver com isso, não é? Nós conhecendo as substâncias, ou seja, conhecemos propriedades macroscópicas das substâncias, conhecemos como é que as substâncias se nos apresentam, sabemos que há uma imensidade de variedades de substâncias que nos rodeiam. O que nos interessa é começar a dissecar essas substâncias para ver, para já são constituídas em termos de átomos, sim senhor, então como é que eles se agrupam? Se calhar, se se agruparem de maneira diferente originam substâncias diferentes. E depois ainda, levar essa nossa tentativa até há exaustão é e ainda por cima apesar de sabermos já que são constituídas por determinados átomos agrupados de determinada maneira, saber ainda, e dentro do átomo ainda, como é que funcionarão as coisas dentro do átomo. Porque é que há átomos de espécies diferentes, ou seja, porque é que há átomos de elementos diferentes? O que é que acontece lá dentro? Como é que as partículas lá dentro estão distribuídas? E nós sabemos além disso, que o conhecimento da distribuição dos electrões nos vai também dar uma elucidação sobre a quantidade de energia, sim senhora, sobre a maneira como os átomos se vão ligar, em última análise e além disso, vai-nos permitir também estudar qualquer coisa relacionada, depois mais tarde, com as próprias reacções químicas, é ou não é?

**A6 - *Sim.***

P7 - Estão a concordar com tudo o que eu digo é? Não me querem contrariar, pois não?

**A7 - *Não, não. Parece mal para a professora.***

P8 - As técnicas então que foram desenvolvidas para saber como é que os electrões se distribuem são técnicas de difracção. O que é que é isso de difracção? Ainda ontem fizeram um teste sobre isso.

**A8 - *Ah! Pois foi.***

P9 - Havia lá uma pergunta de verdadeiro e falso, não é? Que é que é isso de técnicas de difracção? O que é que é uma difracção? Ou seja, quando fazemos incidir um feixe de luz, contra um determinado obstáculo, vai haver uma evolução ... Aquele obstáculo vai funcionar como se ele próprio fosse depois uma fonte também, não é? À partida, a propagação da luz é semelhante a uma pedra que cai num charco com toda aquela propagação de água. Se nós recordarmos, além disso, naquele glossário que eu vos dei. Em que é que consistia a difracção? Falava em difracção de electrões como sendo a curvatura dos feixes por onde passava através da rede, e depois, à frente, têm essa folha ou não? Vocês não trazem o material necessário para as aulas. Fala-vos à frente de um outro fenómeno que é o fenómeno de difusão ou dispersão da radiação. E o fenómeno da difusão consiste no seguinte: deflexão dos feixes de partículas sub atómicas, ou seja, posso depreender que seja deflexão dos feixes de electrões, por exemplo, não? Os electrões são partículas sub atómicas ou não? São ou não são?

**A9 - *São.***

P10 - Ou deflexão de raios de energia radiante pela sua interacção com os núcleos ou com os electrões dos átomos, e depois continua. Então o que é que se fez? Através de feixes de Raios X, se eu colocar, vou fazer apenas um esquema, se eu colocar aqui uma fonte de radiação e concretamente de Raios X. Se fizer incidir esses Raios X num determinado local onde haja uma amostra de uma determinada substância. Essa radiação ao passar por essa amostra vai encontrar à frente uma película que eu vou aqui chamar película fotográfica que vai servir para eu registar o que é que aquela amostra vai provocar na radiação incidente. O que eu vou verificar é que vai haver um fenómeno de difracção dos Raios X, ou seja, estes Raios X ao embaterem nos átomos que constituem aquela amostra, os electrões dessa amostra vão provocar uma difusão destes raios ali. Está bem? E o que é que eu vou observar? Eu vou observar na película fotográfica determinadas manchas, nós vimos, vocês lembram-se com certeza quando nós falamos dos nomes de difracção e, que aqui havia radiação e depois a gente via através da fenda que se formavam estas ondas, quando não tínhamos uma fenda e tínhamos duas e havia aqui radiação a incidir, a partir daqui formava-se uma onda semelhante e o que é que nós víamos era que esta onda interferia com aquela onda provocando o que nós chamamos de interferência mesmo em termos de, é um fenómeno também característico de natureza electromagnética, esta interferência ia originar, se eu tivesse também uma chapa aqui, iria originar zonas luminosas alternando com zonas mais escuras, não é, dependendo da forma como as suas ondas estivessem a interactuar, a interactuar uma com a outra. Ora bem, aqui, quando eu faço isto, quando faço incidir os Raios X sobre a amostra, eu também estou a observar ali determinados acontecimentos, ou determinada impressão naquela película fotográfica que me vai permitir elucidar sobre a maneira como os electrões estão distribuídos nos átomos daquela amostra já que esses electrões vão provocar uma difracção destes Raios X, ou seja, vão servir como obstáculos em que os Raios X embatem a partir dos quais vão acontecer determinados fenómenos ondulatórios. Por isso, isto aqui é o que nós chamamos de difracção de electrões. Pronto. O vosso livro tem um desenho sobre, não é um esquema como aqui, na página 39, quando se fazem incidir determinados feixes de radiação sobre uma determinada amostra. Só que agora então temos que tentar ver que conclusões vão ser tiradas a partir das observações que se depararam ou as que foram recolhidas aqui nas películas. Por isso, quais as conclusões, em termos de quê? Em termos de distribuição, desses mesmos átomos, desculpem, em termos de distribuição desses mesmos electrões que em última análise é aquilo que nos interessa, que é o objecto de estudo deste capítulo. E a primeira conclusão é que realmente os electrões não se distribuem em órbitas fixas. A partir da análise disto, os electrões, chega-se à conclusão que eles não se distribuem em órbitas fixas, mas que vai haver uma certa probabilidade de os encontrar a uma certa distância do núcleo sabendo eu que essa probabilidade vai variar com a distância ao núcleo. Ou seja, para zonas mais próximas do núcleo, há maior probabilidade de encontrar electrões do que para zonas mais afastadas do núcleo. Essa probabilidade vai diminuir. Por isso, conclusões que chegam a partir daqui é que deixa de se falar em órbitas. O conceito de órbita é totalmente posto de parte. Passa-se a falar antes em probabilidade de encontrar electrões a uma certa distância  $r$  do núcleo, sabendo em que essa probabilidade vai depender de  $r$ , vai depender da distância que nós estamos a considerar. Vocês já estudaram, já ouviram falar em probabilidades? Aonde? Já ou não? Nunca ouviram falar em probabilidades? Os meus alunos do 9º ano estão a dar isso agora!

***A10 - É a nova reforma.***

P11 - Também não me vão dizer que a professora de Matemática esteve grávida, ... Pelo menos esta noção vocês devem ter, é que a probabilidade é um conceito matemático, realmente, e vamos ter que aprender a trabalhar com ele, ou seja mais uma vez temos a Matemática ao serviço da Física e da Química. E ele vai-nos ajudar a compreender algumas coisas que se calhar nós não conseguíamos descrever tão linearmente como o senhor Bohr ou como outros senhores atrás faziam. Vai aqui começar a entrar um conceito novo que é um conceito de probabilidade e depois vamos tentar matematizar e ver como é que vamos trabalhar com ele no caso que nos interessa que é o caso de encontrar o electrão à volta do núcleo. Ora bem, só que essa probabilidade apesar de ser um conceito matemático os físicos têm de tentar sempre representá-la. De alguma maneira surgem várias representações ou várias visualizações, vá lá, se podemos chamar assim deste conceito de probabilidade que é um conceito que vai praticamente dominar este capítulo. Pronto, não se sabe exactamente o sítio onde se encontra o electrão mas existe uma certa probabilidade num ponto de o encontrar. Então é sobre isto que nós vamos debruçar o nosso estudo agora. E como é que nós representamos ou expressamos, vá lá melhor falando, como é que nós expressamos essa probabilidade?

***A11 - Professora, mas os electrões continuam a moverem-se da mesma maneira que se conhecia?***

P12 - Qual é que era?

***A12 - Tipo uma órbita à volta do núcleo.***

P13 - Andam à volta do núcleo. Mas será que descrevem exactamente uma órbita?

***A13 - É isso que estava a perguntar.***

P14 - Pois é que se calhar não. Porque então não havia necessidade de ter desenvolvido todo este modelo de nuvem electrónica, de aprofundar uma parte diferente da Física, que é a Física Quântica e tínhamos que nos contentar com as Leis Clássicas do movimento, como por exemplo, as Leis de Newton, chegavam perfeitamente para descrever o sítio onde se encontravam os electrões e ainda por cima, o ano passado, vocês estudaram campo electrostático, por isso sabiam exactamente que tipo de campos é que estão ali a serem originados, que tipo de energia associada temos àquelas partículas, e pronto, ficava tudo muito mais simples. Escusávamos de estar aqui agora a perder tempo com isto. Ora bem, nós vamos então ver o conceito de probabilidade. Como o vamos representar? E surge em primeiro lugar o conceito de probabilidade por cada ponto a uma distância  $r$  do núcleo. Esta probabilidade ou esta curva, pode ser desenhada desta maneira, ou seja, para sítios muito perto do núcleo, como é que vai ser a probabilidade de encontrar lá um electrão?

***A14 - É maior.***

P15 - É muito grande. Para sítios muito afastados do núcleo? Vai tendendo para zero.

***A15 - Ah! Nunca chega a ser zero.***

P16 - Nós sabemos que há um limite material. Há um limite porque nós nunca conseguimos ter átomos isolados. Nós temos amostras, temos átomos encostados uns aos outros e por isso, há, pode-se definir um limite do sítio onde acaba. Muitas vezes surge uma representação que vocês concerteza, isto é, que vocês já falaram no 10º ano quando estudaram Física e Química que foi, no fundo traduz isto que está aqui que é associar esta representação por uma representação por nuvem. Não foi?

***A16 - Foi.***

P17 - Esta densidade. Isto é uma zona de maior densidade. Esta densidade corresponde a zonas onde há mais probabilidade de encontrar o electrão. Essa densidade vai sendo maior perto do núcleo e à medida que nos

afastamos, a densidade vai sendo menor. Corresponde a zonas menos densas, porquê? Porque a probabilidade de encontrar um electrão começa a ser mínima para distâncias muito elevadas ao núcleo. Isto é a representação de uma nuvem electrónica, não é? Só que esta não é a única maneira de definir ou de representar probabilidade de encontrar electrões.

Associada à probabilidade por ponto vai haver um outro tipo de probabilidade que é a probabilidade por superfície e associada à probabilidade por superfície surge então o conceito de superfícies de isoprobabilidade que serão o quê? O que é que vocês acham?

**A17 - São superfícies onde existe probabilidade de encontrar electrões.**

P18 - Agora outra dúvida. Como é que serão essas superfícies? Que forma terão? Não é isso que aí está! Como é que a gente imagina que é um átomo?

**A18 - Uma bolita.**

P19 - Uma bolita. Isto é uma maneira muito pouco científica.

**A19 - Uma esfera.**

P20 - Uma esfera. Eu posso considerar como boa aproximação que um átomo é uma esfera se considerarmos o seguinte e agora vou pôr à prova os vossos conhecimentos do ano passado quando falámos em campos electrostáticos e isto eu sei que deram, não é? Que é o seguinte. Eu posso dizer que ao meu núcleo está associada uma carga positiva, não é? Eu sei que cargas positivas geram campos à sua volta e eu aprendi a desenhar em cada ponto as linhas de campo criadas por uma carga positiva. Recordam-se disso?

**A20 - Linhas de campo, para fora.**

P21 - Eram assim, radiais e eram para fora, sim senhora. Ora bem, isto equivale a quê? Se eu considerar agora isoladamente, não vou desenhar as linhas de campo, mas se eu vou desenhar aqui três pontos que estão mais ou menos situados ou que estejam situados ali numa mesma recta imaginária. Se eu quiser desenhar em cada um deles o vector campo electrostático associado, eu vou pôr aqui um campo electrostático E agora aqui, vou pôr também aqui uma setinha, é também um vector mas vai ser um vector maior ou menor que este?

**A21 - Menor.**

P22 - Menor ainda.

---

### **TOQUE**

---

Deixem-me só acabar de dizer uma coisa. Se eu considerar que aquele átomo não está sujeito a nenhum outro campo eléctrico que vá deformar o que se passa no meu átomo, ou seja, o campo criado pelo núcleo sobre os electrões que andam à volta, eu posso considerar como boa aproximação que estas superfícies são esféricas já que ao átomo corresponde uma forma esférica. Nem sempre é verdade, que vocês sabem que, às vezes, estão átomos nas proximidades de campos que os deformam e que vão criar aquilo que nós vamos chamar mais tarde de dipolos. Mas isso é objecto de estudo posterior. Está bem?

#### 4.2.2. – Descritivo da aula nº1

Nesta aula podem-se distinguir três momentos particularmente relevantes no que respeita ao desenvolvimento do processo de ensino/aprendizagem:

1º momento de aula – 1P1 (integral): revisões sobre a distribuição espacial dos electrões.

2º momento de aula – 1P2 a 1P9: justificação do interesse no conhecimento da estrutura da matéria; estudo da difracção de raios X e fenómenos de interferência como elementos instrumentais para tal estudo.

3º momento de aula – 1P8 a 1P22: Limitações do modelo de Bohr. Conceito de nuvem electrónica.

A aula inicia -se com um breve resumo sobre os modelos já utilizados para o estudo da estrutura do átomo. A professora começa por falar no Modelo de Thomson passando para Rutherford no qual sublinhou o conceito de órbita. Fez referência ao Modelo de Bohr associando ao conceito de órbita uma certa quantidade de energia.

A professora coloca a questão à turma sobre a importância do conhecimento da distribuição electrónica no átomo, precipitando a entrada num outro plano de distribuição espacial. Os alunos responderam afirmativamente pois, como disseram, podem conhecer a quantidade de energia do átomo e em que diferem as substâncias. A professora passa a fazer uma síntese das respostas dos alunos e partindo do geral (natureza macroscópica) - substâncias, como ela própria o diz, se as dissecarmos pode-se chegar ao agrupamento de átomos que as constituem (natureza microscópica) e ainda ter conhecimento sobre o modo como as partículas sub atómicas se encontram distribuídas. Este conhecimento é articulado com as técnicas experimentais de difracção de raios X como suporte experimental para se ter conhecimento sobre a distribuição dos electrões no átomo avançando com a experiência de Davison e Germer (1P1). Usando uma analogia compara em seguida a propagação da luz com a propagação de água devido à queda de uma pedra num charco.

A professora conclui, através das técnicas mencionadas, que os electrões não se distribuem em órbitas fixas. Relembra o conceito de probabilidade da matemática). Um dos alunos pergunta se o movimento dos electrões pode ser comparado a uma órbita à volta do núcleo. A professora explica que os electrões não descrevem exactamente uma órbita e retoma a noção de probabilidade procurando possíveis representações. Introduce o conceito de probabilidade por ponto e traduz este conceito utilizando uma representação por nuvem

explicando o esquema em termos de densidade electrónica: a uma maior probabilidade associa zonas de maior densidade electrónica. Termina a aula referindo rapidamente a existência também de probabilidade por superfície (em termos qualitativos) assunto que será explorado na aula seguinte.

#### **4.2.3 – Análise da categoria de conteúdo Distribuição Espacial dos Electrões**

No essencial, os EMR referentes a esta categoria de conteúdo distribuem-se pela aula nº 1. No início da primeira aula, e no quadro do estudo da problemática da distribuição espacial dos electrões nos átomos, a professora refere que vai partir da difracção dos electrões para “*vermos* onde estão situados os electrões nos átomos” (1P1). *Vermos*, aparece aqui como uma metáfora de observação científica mediada por instrumentação. Este tipo de expressão verbal é recorrente noutros pontos do protocolo (ver por exemplo final de 1P1). As implicações epistemológicas do seu uso são discutíveis nomeadamente no quadro da crítica ao realismo ingénuo. O modo como se explora o seu significado é bem diferente em “...ver como é que vamos trabalhar...”(1P11) ou ainda quando se pede aos alunos para *verem* o que está escrito no livro a propósito do cálculo de valores de energia (4P6).

A professora relembra em seguida (abordagem de sentido histórico) vários modelos de estrutura do átomo, a existência de *órbitas* (1P1) descritas pelos electrões à volta do núcleo (1P1) apesar da importante analogia com o sistema planetário não ter sido elaborada e de serem conhecidos problemas de conceptualização sobre o assunto em alunos de nível etário idêntico (ADBO and TABER, 2009). A utilização da analogia planetária ajuda os alunos a compreenderem como é que os electrões circulam nas órbitas, isto é, que o electrão tem um movimento circular no modelo de Bohr (“*órbita* circular” (1P1). Poderia ter sido revisto com os alunos que o modelo do átomo que vigorava até então era o de que havia uma interacção electrostática entre o protão positivo “solar” e o electrão negativo “planetário” de forma a que o electrão era atraído para o núcleo e que esta força de atracção era exactamente compensada pela aceleração que surgia devido ao movimento circular do electrão (modelo planetário). Ao referir-se ao corte epistemológico que colocou em cheque o modelo de Bohr, recorda que às partículas estão associados “...certos fenómenos *ondulatórios*...” (1P1), e de que a experiência de Davisson e Germer envolveu um “...*feixe* de electrões...”(1P1). Note-se que sob o ponto de vista histórico, esta experiência – um exemplo de uma experiência crucial no sentido Popperiano – explora aliás um raciocínio

analógico já que a corroboração do comportamento ondulatório dos electrões dependia de os resultados serem comparáveis aos obtidos por uma radiação electromagnética (raios X) sobre o mesmo metal (ouro e também alumínio). E é precisamente por isso que alguns livros de texto apresentam (e bem), lado a lado, as figuras de difracção que se obtêm nas duas situações. Refira-se finalmente que devido ao contexto histórico da descoberta dos raios X em 1895 por Rontgen a sua designação de X representa, em si mesmo, a metáfora de algo de natureza desconhecida.

É de salientar que, para a professora, neste extracto da aula (1P1) não se refere a diferença entre o conceito de *órbita* e o conceito qualitativo de orbital. Estes alunos já tinham estudado o conceito de órbita nos 8º e 9º anos de escolaridade e orbital (qualitativo) no 10º ano. Não é claro se os alunos compreenderam que existe uma Física, a Física Quântica, diferente das Leis da Mecânica Clássica, as quais eles conhecem e procuram a todo o custo utilizar para a explicação de qualquer fenómeno (um exemplo típico da dificuldade de mudança conceptual). Para corroborar esta afirmação tem-se, passados cerca de dezanove minutos a intervenção de um aluno, nos seguintes termos:

1A11 “Professora, mas os electrões continuam a moverem - se da mesma maneira que se conhecia?”

1P12 “Qual é que era?”

1A12 “Tipo uma *órbita* à volta do núcleo”.

A intervenção deste aluno sugere que não houve aprendizagem ou pelo menos não é clara a diferenciação entre os dois conceitos.

A professora estava atenta a estas intervenções dos alunos embora a resposta não tenha sido a mais convincente:

1P13 “Andam à volta do núcleo. Mas será que descrevem exactamente uma *órbita*?”

1A13 “É isso que estava a perguntar”.

1P14 “Pois é que se calhar não. Porque então não havia necessidade de (...) perder tempo com isto”.

O professor não explorou interactivamente a metáfora “órbita” do aluno estabelecendo os seus limites; o aluno não volta a interrogá-la. É pois previsível que para este aluno, os electrões continuem a moverem-se numa *órbita* fixa em torno do núcleo.

Como poderia ter actuado o professor? Quando o aluno se referiu ao conceito de *órbita* da seguinte forma, “*tipo* uma órbita à volta do núcleo” (1A12), o termo (*tipo*) é próprio de uma forma de linguagem específica, a linguagem exploratória, de carácter tentativo, para dar nexos a nova informação (orbital). O professor poderia ter permitido que o aluno explorasse o que significava para ele este conceito, isto é, dizer por palavras suas o que é que para ele estava subjacente àquela resposta (1A12).

Em temáticas tão abstractas como esta, esta forma de explorar a inter - subjectividade torna-se muito útil para a compreensão dos alunos na medida em que se criam oportunidades de fazer surgir uma inter - linguagem que seja mediadora entre a linguagem do dia a dia e a terminologia técnica de forma a que a esta seja melhor apreendida pelos alunos.

Na discussão que se segue sobre o para quê conhecer a distribuição dos electrões nos átomos, a professora adianta que para um melhor conhecimento das substâncias que nos rodeiam, “...o que nos interessa é *dissecar* essas substâncias...” (1P6), uma metáfora do campo da Biologia, e aprofunda o argumento considerando que interessa saber “...como funcionarão as coisas *dentro* do átomo...” ou ainda “...o que é que acontece lá *dentro*...” (1P6).

A abordagem do tema difracção (iniciada em 1P8 embora ideias básicas sobre difracção de electrões já tenham sido abordadas tendo em vista apoiar argumentos sobre a distribuição electrónica), também é rico em linguagem metafórica (e até em diversos tipos da mesma, embora tais distinções como foi dito não sejam relevantes para o objecto deste estudo). Por exemplo, ao referir em 1P9 que “...aquele obstáculo vai funcionar como se ele próprio fosse depois uma *fonte*...”, a professora está a usar simultaneamente uma metáfora, *fonte*, numa expressão que ela mesmo é um símile, isto é, o obstáculo como uma fonte). Segue-se uma analogia bem conhecida, “...a propagação da luz é semelhante a uma pedra que cai num charco com toda aquela propagação de água...” (1P9) para ajudar a explicar a curvatura dos *feixes* por onde passava através da *rede*. Ou ainda, que “...se formavam *ondas*...” (1P10) e que pode haver fenómenos de *interferência* (idem). A analogia pretendida seria entre uma onda mecânica e uma onda electromagnética. Mais uma vez, ao utilizar a analogia, a professora deveria ter tido o cuidado de a elaborar, explorando-a devidamente e mostrando aos alunos a estrutura das relações fonte/alvo e as limitações que a mesma contém. Deste modo, ao fazer a comparação entre a propagação da luz e a das

ondas originadas pela pedra que cai num charco deveria ter explorado que as ondas de água são ondas mecânicas que resultam da propagação da vibração de moléculas de água e que necessitam de um suporte material para se propagarem, enquanto que as ondas luminosas não são ondas mecânicas pois não necessitam de qualquer suporte material para a sua propagação. Uma onda luminosa consiste na propagação simultânea de sinais eléctricos e magnéticos. São por isso designadas por ondas electromagnéticas. Esta última informação é transmitida pelo professor de uma forma pouco clara em 1P9 “... esta *onda interfere* com aquela *onda* provocando o que nós chamamos de *interferência* mesmo em termos de, é um fenómeno também característico de natureza electromagnética ...”. Também teria sido interessante ter explorado com os alunos o aparecimento da analogia tendo em conta que embora as ondas mecânicas e as ondas luminosas sejam de natureza distinta ambas são descritas por equações idênticas (em que intervêm as grandezas velocidade de propagação da onda, comprimento de onda, frequência de vibração e período de vibração).

Tal como referido no capítulo 2, a utilização de analogias - sem ser feita a correcta correspondência entre o domínio familiar (fonte) e o domínio científico (alvo) e sem se explorar convenientemente com os alunos as limitações da própria analogia - pode ser prejudicial para a compreensão do aluno, já que ele pode estabelecer uma relação cientificamente incorrecta entre os dois domínios.

A professora aborda em seguida o conceito de probabilidade de presença de um electrão (ver 1P11), esclarecendo que a Matemática está ao *serviço* da Física e da Química, e introduz a metáfora *nuvem* electrónica (1P14). A esta metáfora da *nuvem electrónica* associa o conceito de *densidade* electrónica (1P17) como modos possíveis de qualificar diferentes probabilidades de encontrar um electrão.

### **4.3 - Categoria de Conteúdo Quantização da Energia (aulas nº2 e nº3)**

#### **4.3.1 - Protocolo da aula nº 2**

P1 - Nós ontem ... vamos só recordar o que é que estivemos a fazer, está bem? Falámos que ... com os métodos experimentais, ou seja, com difracção dos raios X, é possível conhecer um pouco o que é que se passa em termos electrónicos no átomo. Chegou-se à conclusão que os átomos, que os electrões não se movem em órbitas, como se cria anteriormente com Bohr e com Rutherford, mas passou-se a falar em probabilidade de encontrar um electrão em determinada zona do espaço, não foi? A partir daí chegámos a falar em maneiras de ilustrar isto, ou seja, de ilustrar o que é que se passa em termos de probabilidade,

falámos na probabilidade por ponto, não foi? E agora estávamos a falar nas superfícies de isoprobabilidade. Foi isso? Pronto. Estávamos a dizer que poderíamos considerar o átomo, como boa aproximação, como tendo uma forma esférica, não é? Recordámos aquilo que vocês conhecem do ano passado de campo eléctrico, ou seja, creio que na altura estaríamos a ver isto não é? Este seria o campo eléctrico criado por esta carga pontual se admitirmos que o núcleo é uma carga pontual, vá lá, como aproximação. O campo eléctrico em vários pontos, com certeza lembram-se também que em cada ponto onde existe um determinado campo eléctrico estava associada uma determinada energia, um determinado potencial chamado potencial eléctrico de forma fixo e também falámos na altura que em relação a uma carga nós podemos desenhar linhas concêntricas com a carga pontual que está a criar um determinado campo eléctrico e dizer que essas linhas ou os pontos situados nessas linhas tinham todos o mesmo potencial porque estavam todos à mesma distância de cada um dos pontos desta linha, a carga era sempre a mesma logo o potencial era sempre o mesmo e dissemos que estas linhas se chamavam?

***A1 - Orbitais.***

P2 - No ano passado? Equipotenciais, não foi? Linhas equipotenciais. Linhas que tinham o mesmo potencial eléctrico. Ora bem nós agora não estamos a falar em termos de potencial, estamos a falar em termos de probabilidade de encontrar electrões perto do núcleo.

Consideramos o núcleo, se não houver nenhuma interacção exterior, como esférico devido ao tal campo eléctrico criado pelo núcleo e definimos então também superfícies e agora eu não falo em linhas, não é porque se eu estou a considerar o átomo a três dimensões eu tenho que falar em superfícies esféricas em que todos os pontos dessa superfície estão à mesma distância do núcleo e em que a probabilidade de encontrar electrões nessa superfície vai ser sempre a mesma dentro dessa superfície. Por isso nós chamamos a essa superfície, superfície de isoprobabilidade. Bem, mas nós vamos aqui começar a trabalhar não com superfícies a três dimensões mas vamos tentar simplificar, vamos reduzi-lo a duas dimensões e para isso vamos imaginar que conseguimos fazer um corte transversal no átomo de maneira a que eu conseguisse também passar pelo centro do núcleo, cortá-lo e vê-lo de frente. E se eu fizesse isso, ao ver de frente o meu átomo cortado eu veria aqui uma parte central que equivaleria ao núcleo e todas as superfícies estariam cortadas e eu obteria coisas assim deste género, ou seja, o que eu visualizava agora não eram superfícies de isoprobabilidade, mas sim linhas que resultam de eu cortar o átomo e estas linhas chamam-se também de linhas de isoprobabilidade, ou seja, qualquer ponto situado aqui no meio destas linhas que está à mesma distância do núcleo, ou em qualquer um desses pontos vai haver uma igual probabilidade de encontrar um electrão. Ah! Queria chamar a atenção para uma coisa. É que aquelas linhas ou curvas também como são chamadas, de uma maneira ou de outra, é que estas linhas não são órbitas, atenção! Está bem? Não vamos confundir isto com órbitas. Correspondem a zonas com igual probabilidade de encontrar o electrão. Atenção!

***A2 - Então qual é a diferença entre linhas equipotenciais e as superfícies equipotenciais?***

P3 - As linhas resultam de nós cortarmos as superfícies, transversalmente.

***A3 - Então as superfícies são esferas ocas, como ovos de chocolate?***

P4 - Sim, se tu cortares um ovo de chocolate ao meio, um Kinder surpresa, tem aquela castanha e depois aquela branquinha por dentro. Pronto, se tu quiseres representar no papel, a duas dimensões, um Kinder surpresa cortado ao meio, tu vais representá-lo assim ... esta é a parte de chocolate e por dentro que será

pegado, mas só se eu tivesse outra cor, aqui uma outra que corresponderia a quê? As linhas que correspondem a esse chocolate, isto quando eu faço a representação a duas dimensões, mas toda a gente conhece o que é que é um Kinder surpresa a três dimensões e eventualmente já terão provado, mas isso é outra história. Mas perceberam qual é a passagem daqui para aqui? O que é que se fez? Corta-se. Vamos tentar imaginar. Cortamos um átomo transversalmente como fazemos ao Kinder. Sim senhora! Estou a ver que a Dina é gulosa. Geralmente estas curvas ou linhas de isoprobabilidade têm marcados números que nos dão justamente a maior ou menor probabilidade de encontrar electrões nessas linhas e o que nós vemos que acontece é que as linhas que estão marcadas mais próximas do núcleo correspondem a uma probabilidade maior e à medida que nos vamos afastando do núcleo essa probabilidade vai diminuindo, até por exemplo chegarmos a zonas mais afastadas onde a probabilidade é muito menor. Por exemplo, eu sabendo o raio destas linhas e sabendo a probabilidade de encontrar electrões lá, eu posso relacionar essa probabilidade através dos raios das respectivas curvas de isoprobabilidade e, por exemplo, eu sei que nesta primeira que está a um raio  $r_1$  muito maior do que esta segunda que está a um raio  $r_2$ , em relação ao núcleo, a probabilidade de encontrar electrões aqui nesta primeira curva de isoprobabilidade é cerca de 100 sobre esta probabilidade que é de 2, ou seja, isto é igual a 50, ou seja, a probabilidade de encontrar electrões aqui é cerca de 50 vezes maior, do que a probabilidade de encontrar electrões aqui, nesta linha muito mais afastada. Está bem? A probabilidade entre a linha com raio  $r_1$  e a linha com raio  $r_2$  e esta probabilidade vai ser 50 vezes maior para encontrar o electrão. Ora bem, mas nós agora particularizamos, eu estava a pôr no quadro creio que na última aula alínea a), alínea b), foi ? Ou foi 1, 2, ...?

**A4 - a), b)**

P5 - Foi a), b), não é? E tinha posto a) a primeira maneira de representar essa probabilidade. E tinha posto b) esta segunda maneira que eu fui particularizar para o caso de considerar o átomo a duas dimensões, mas vamos então numa terceira tentativa arranjar uma outra maneira de ver a probabilidade de encontrar electrões mas agora então generalizando mais, e, vá lá, aqui consideramos só o caso de termos curvas ou linhas mas vamos então ver o que acontece mesmo, se nós considerarmos o caso genérico ou o caso mais lato, ou seja, trabalhando mesmo com o átomo a três dimensões e vamos ver o que é que se passa nas tais superfícies propriamente ditas. Aqui definimos o que era isto, mas depois trabalhámos com as curvas. Nós agora vamos mesmo trabalhar com as superfícies, ou seja, vamos extrapolar isto para o caso, ou seja, isto que é o átomo a duas dimensões para o caso de estarmos mesmo a trabalhar com o átomo a três dimensões. Nessa ocasião define-se também probabilidade de encontrar o electrão a uma determinada distância do núcleo, como? Relacionando com a probabilidade de encontrar o electrão essa probabilidade por superfície também chamada de probabilidade radial ou probabilidade por superfície esférica com determinado raio  $r$ , ou seja, a distância da superfície ao núcleo do átomo é dada como? Multiplicando a probabilidade de encontrar o electrão num determinado ponto dessa superfície, ou seja, num determinado ponto que esteja a essa distância  $r$ , pela área de toda a superfície, ou seja, pela área dessa esfera. E nós sabemos qual é que é a expressão matemática que nos dá a área de uma esfera. Sabemos? Já estudaram a área de volumes de sólidos, não já? Então, aí há muito tempo?

**A5 - Há uns anos.**

P6 - Então como é que é a área de uma esfera?

**A6 -  $\pi^2$ .**

P7 -  $\pi^2$ ? É a área de uma circunferência.  $4\pi r^2$ . Tá? Vamos lá ver. Esta expressão, a probabilidade radial, é dada pela probabilidade de encontrar o electrão num determinado ponto dessa superfície vezes toda a superfície, toda a superfície que nós estamos a considerar, vezes  $4\pi r^2$ , ou seja, como o vosso livro também menciona, não fala nestes termos, fala assim, que é exactamente a mesma coisa, k mas eu vou pôr por baixo, probabilidade por superfície esférica em determinado raio r é igual à probabilidade de encontrar o electrão num ponto que esteja à distância r do núcleo vezes a área dessa superfície esférica em que r é o raio dessa superfície esférica, matematizando o nosso conceito físico. Então vamos ver o que é que acontece na situação limite ou nas duas situações limites possíveis, ou seja, vamos ver o que é que acontece à probabilidade quando eu estou numa superfície  $r = 0$ , ou seja, estou caída no núcleo ou quando eu estou a uma distância infinitamente afastada do núcleo. Vamos ver o que é que acontece em termos numéricos à probabilidade.

**A7 - Quando r é zero é quando ele, quando o corpo se encontra mesmo no centro do núcleo?**

P8 - Sim. Quando r é zero? Quando a distância ao núcleo é zero, ou seja, qual é que é a probabilidade aqui de encontrar o electrão?

**A8 - É zero.**

P9 - É zero. Basta chegar ali e ver que multiplicar qualquer coisa por zero dá zero. E será de esperar que seja zero?

**A9 - No núcleo não existe electrão.**

P10 - Claro. Então a probabilidade por superfície é igual a zero. Quando nós estamos infinitamente afastados do núcleo?

**A10 - A probabilidade é infinita.**

P12 - É. Então quer dizer que a probabilidade de encontrar electrões vai aumentando há medida que nos vamos afastando do núcleo, é?

**A11 - Pois, qualquer número vezes infinito é infinito.**

P12 - Mas nós não nos podemos reputar unicamente a isto. Qual é que é a probabilidade de encontrar um electrão num ponto, afastado infinitamente do núcleo?

**A12 - É zero.**

P13 - É zero. Agora é isto que vai ser igual a zero, por isso a probabilidade de encontrar um electrão nessa superfície é também igual a zero. Agora aqui a probabilidade de encontrar o electrão num ponto a uma distância infinita do núcleo é zero, o que vai implicar que a probabilidade de encontrar o electrão na superfície esférica aonde nós, para onde foi definido este ponto, vai ser também igual a zero. E vocês perguntam assim: então afinal mas é zero quando estamos muito próximo do núcleo, é zero quando estamos muito afastados do núcleo, então o que é que acontece entre estas duas situações extremas?

**A13 - Existem electrões.**

P14 - Existem electrões claro, claro que existem.

**A14 - Existe uma probabilidade maior.**

P15 - Há probabilidade, vai haver zonas que vão corresponder a maior ou menor probabilidade de encontrar o electrão e essas zonas são visualizadas como vocês têm na página 42 do vosso livro. Através de técnicas de difracção, chega-se à conclusão que, por exemplo, para o Argon a probabilidade electrónica por superfície

esférica ao longo da distância que separa desde o núcleo até uma distância suficientemente grande do núcleo, a probabilidade vai variando desta maneira, ou seja, muito próximo do núcleo a probabilidade praticamente, vem aí, a linha desce, não é? Depois vai haver três picos com maior probabilidade de encontrar o electrão. Depois a probabilidade vai diminuindo outra vez e vai tendendo para zero à medida que nos vamos afastando do núcleo e se vocês virem, este esquema que aqui têm, que é para o Argon, estes picos vão coincidir, nem mais nem menos do que as camadas de energia que Bohr definiu quando estudou o electrão e que chamou à primeira camada, camada K, à segunda camada, camada L, à terceira camada, camada M, e por aí sucessivamente. Estão a ver? A probabilidade entre o núcleo e uma distância infinita vai variando e vai-nos indicando zonas onde à maior densidade electrónica e outras zonas onde há menor densidade electrónica e vai-nos dando informações para cada átomo de cada elemento de qual será a distribuição electrónica correspondente a cada átomo. Como? Através de técnicas de difracção de raios X. O que é que é isso? É fazer embater em determinadas amostras que contenham esses átomos, determinadas radiações que vão provocar determinados efeitos visualizados nas tais chapas reveladoras daquilo que se passa a nível sub atómico. Eu não vou aprofundar muito mais isto. Este é um assunto um pouco árido, que nós vamos aproveitar unicamente alguns conceitos importantes para agora nos ajudar a resolver alguns exercícios práticos. E vocês, quem tiver Química depois na Faculdade, aí sim, vai ter tempo de matematizar muito mais estes conceitos, ainda. Ora bem, eu queria que vocês tentassem resolver o exercício 2.1 da página 83 do vosso livro, que é justamente sobre isto, aplicando esta expressão. Vamos ver a aplicação disto, está bem? Então, conseguem-se desenvencilhar-se sozinhos ou não? Então, não vale ver as soluções meninos. É como ir ver os últimos capítulos da telenovela. Então? Como é que nós vamos equacionar isto? O que é que nos dizem aqui?

***A15 - Dão-nos os raios unicamente.***

P16 - Dão-nos dois raios. Um raio de uma superfície  $r$  de dez picómetros. O outro raio é de trinta picómetros. Dizem-nos que a razão, o que é que é a razão entre duas probabilidades?

***A16 - É uma divisão.***

P17 - É o quociente entre a probabilidade electrónica de um ponto da primeira, ou seja, num ponto aqui, sobre a probabilidade de um ponto aqui, é igual a cinquenta, ou seja, se eu quiser indicar isso eu digo que a probabilidade do ponto que está a dez picómetros sobre a probabilidade do ponto do que está a trinta picómetros é igual a cinquenta. É isto que me dizem, não é? A razão entre as probabilidades no ponto. Não fala em probabilidades por superfície esférica, pois não? O que é que nos perguntam? Qual é que é a relação, agora sim, entre as probabilidades de encontrar electrões naquelas superfícies, ou seja, qual é que é a probabilidade de encontrar electrões na superfície esférica que está a um raio de dez picómetros sobre a probabilidade de encontrar electrões na superfície esférica que está a trinta. Pedem-nos também a relação. Então e agora? É isto que nos pedem e dão-nos isto. E agora? E nós sabemos isto. É só com aquilo que vamos trabalhar e com este dado que nos dão. Como é que eu vou fazer?

***A17 - Vamos achar um ponto.***

P18 - Ou seja, nós temos estas relações. Nós podemos exprimir esta, nós temos a relações entre as probabilidades no ponto. Então se eu conseguir fazer exprimir, eu aqui tenho, estou a exprimir a probabilidade por superfície esférica em função da probabilidade por ponto.

Mas eu posso fazer ao contrário, posso exprimir a probabilidade por ponto em função da probabilidade por superfície esférica, não posso? E se eu fizer isso, se eu substituir as probabilidades de cada um dos pontos respectivos nesta expressão, se calhar eu vou conseguir chegar à relação que vai existir entre as probabilidades por superfícies respectivas. Como é que isso se faz? Então vamos lá pegar. Para a probabilidade, para a superfície que está a dez picómetros é igual à probabilidade no ponto que está a dez vezes a respectiva área, que é dez ao quadrado. Vou trabalhar em picómetros. Para já não me vou preocupar com isso. A probabilidade para a superfície que está a trinta é igual à probabilidade que existe no ponto que está a esta distância vezes a área da superfície esférica respectiva. O que é que eu vou tentar fazer? Vou tentar exprimir estas probabilidades em função daquelas, ou seja, vou tentar isolar estas num membro sozinhas. Isto é equivalente à probabilidade de encontrar o electrão neste ponto é igual à probabilidade de o encontrar na superfície que está a raio dez sobre a área ao quadrado. E a probabilidade de encontrar o electrão aqui há-de ser igual à probabilidade por superfície à distância trinta sobre a respectiva área. Não é? Até agora ainda não fiz nada. Unicamente substituí os valores de  $r$  e simplifiquei a expressão de maneira a vir-me isto isolado. Porquê? Porque agora dão-me, o enunciado do problema dá-me a relação que existe entre as duas probabilidades e eu já as tenho ali. E então o que é que eu vou fazer? Vou pegar naquelas probabilidades e substituí-las na minha expressão. Como é que isto vai ficar? É equivalente a... à fracção probabilidade de encontrar o electrão num ponto à distância dez picómetros do núcleo é dada por aquilo que ali está. Então vou substituir. Probabilidade dez sobre probabilidade  $4\pi$  vezes dez ao quadrado, sobre a probabilidade de encontrar o electrão num ponto a uma distância trinta é dada por aquilo. Então vou substituir. Este quociente é igual a quanto?

***A18 - Cinquenta.***

P19 - A cinquenta, pronto! Não é? Então agora já conseguem simplificar aqui mais coisas. O  $4\pi$ . E pronto. Eu quero saber esta relação. Vou tentar saber esta relação. Vou tentar exprimir o meu resultado em função dali daquelas probabilidades, ou seja, a probabilidade nesta superfície sobre a probabilidade nesta superfície há-de ser igual a cinquenta vezes dez ao quadrado sobre trinta ao quadrado. Não é assim. Pronto, então e agora. Agora unicamente é só resolver ali aquilo. Cinquenta vezes dez ao quadrado que vai dar ...

***A19 - Nós podemos fazer por outro processo, quer dizer ...***

***Vai dar ao mesmo, não é? Nós temos as duas medições e sabemos que o quociente entre a probabilidade por ponto dez sobre a probabilidade por ponto trinta é cinquenta. Fazemos cinquenta, o  $4\pi$  de cima e o  $4\pi$  de baixo cortava. Ficava cinquenta vezes em sobre trinta?***

P20 - Claro, é a mesma coisa. Isto há-de dar um valor ... dá quinhentos sobre nove. E é sim senhor. Vamos fazer outro. Este não está no livro. Vou-vos ditar. “A probabilidade electrónica radial, é sinónimo de superfície esférica, tá bem?, para um dado átomo tem para  $r$  igual a vinte e cinco picómetros e  $r$  igual a setenta picómetros valores cuja relação é três meios. Determina a relação que existe entre as probabilidades para dois pontos àquelas distâncias do núcleo.” Está? Agora o que é que acontece? Agora dão-nos a relação entre as probabilidades radiais e pedem-nos a relação entre as probabilidades por ponto. Neste problema era o contrário. Davam-nos as probabilidades no ponto e pedia-nos a relação entre as probabilidades radiais. Neste aqui é exactamente o oposto. Então vá. Agora este aqui vocês conseguem fazer sozinhos. Então já está? Isto dá, já fizeram a conta? Isto dá 11,76. Sim? Conseguiram fazer? O que é que agora nos dão? Dizem-nos que a

probabilidade de encontrar o electrão na superfície que está a setenta picómetros é igual a três meios. O que é que nos pedem? Pedem-nos a relação que existe entre as respectivas probabilidades nos dois pontos daquelas superfícies. É isto que nos pedem. Então o que é que eu vou fazer agora? Ainda está mais simplificado em relação ao problema anterior. Eu sei qual é que é a expressão que me dá esta probabilidade radial, ou seja, esta probabilidade por superfície esférica. Qual é que é? É igual à probabilidade de encontrar o electrão no ponto que está à distância vinte e cinco do núcleo vezes a respectiva área na respectiva superfície que é  $4\pi$  vezes, agora qual é que é o  $r$ ? Vinte e cinco ao quadrado. Isto sobre a probabilidade radial que é igual à probabilidade de encontrar o electrão no ponto que está a esta distância do núcleo vezes a respectiva área da respectiva superfície que é  $4\pi$  vezes agora o raio é setenta ao quadrado. E esta relação é igual a três meios. Então e agora? Agora há aqui coisas que eu posso simplificar, não há? Posso simplificar isto com aquilo. Então isto é equivalente a probabilidade do ponto sobre a probabilidade por ponto é igual a três meios vezes e agora vou passar isto para aqui em vez dos termos da fracção, não é? Vezes setenta ao quadrado sobre vinte e cinco ao quadrado, ou seja, a relação existente vai dar 11,76, que é isto que é pedido, tá?

---

### *TOQUE*

---

#### **4.3.2 – Descritivo da aula nº2**

Esta aula também pode ser dividida em três momentos de interesse para a análise:

1º momento de aula – 2P1 a 2P4: noção de curvas de isoprobabilidade explorando a noção (supostamente) familiar de linhas equipotenciais aprendidas no ano anterior (11º ano de Física).

2º momento de aula – 2P5 a 2P15: noção qualitativa da probabilidade de localização de um electrão e de sua variação em função da distância ao núcleo.

3º momento de aula – 2P16 a 2P20 – resolução de dois exercícios de aplicação relativos a conceitos estudados sobre probabilidade electrónica.

Foram recordados termos explicados na aula anterior (difracção de raios X e probabilidade pontual). Para introduzir o termo de isoprobabilidade é evocado o conceito de linhas equipotenciais (“linhas que tinham o mesmo potencial eléctrico”) abordado no ano anterior. A passagem do termo “linhas” para o termo “superfícies” é explicada por se ter utilizado, como aproximação, para modelo atómico a forma esférica. A professora trabalha com linhas de isoprobabilidade com o objectivo de simplificar o estudo, uma vez que assim deixa de estar a trabalhar a três dimensões para reduzir o estudo a duas dimensões. Para isso, leva os alunos a imaginarem que cortam um átomo pois desta forma conseguiriam visualizar as linhas de isoprobabilidade. Um dos alunos questiona a professora sobre a diferença existente entre linhas equipotenciais e superfícies

equipotenciais. A professora responde que as linhas resultam de cortarmos as superfícies transversalmente. Outro aluno questiona - a sobre o mesmo tema, fazendo uma comparação entre superfícies e os ovos de chocolate Kinder. A professora aceita a comparação e utiliza-a para explicar novamente a passagem de superfícies para linhas de isoprobabilidade. Articula o termo linhas com o conceito de isoprobabilidade explicando que nas linhas que se encontram mais próximas do núcleo há uma maior probabilidade de encontrar o electrão e que o valor numérico associado a essa probabilidade está relacionado com o raio da curva de isoprobabilidade.

A professora sistematiza as várias formas, já estudadas, para representar a probabilidade; probabilidade por ponto, linhas ou curvas de isoprobabilidade e probabilidade por superfície (ou probabilidade radial ou probabilidade por superfície esférica) a qual a professor define, como se encontra no Manual Escolar (ou seja, o produto da probabilidade de encontrar o electrão num ponto que esteja à distância  $r$  do núcleo vezes a área dessa superfície esférica). Chama a atenção dos alunos para as duas situações limite que são quando  $r$  é igual a zero e quando  $r$  é igual a infinito e de que nas duas situações extremas a probabilidade é nula, reportando a explicação para uma figura do Manual Escolar onde os alunos observam um gráfico que traduz a probabilidade electrónica por superfície esférica para o átomo de argon em função do raio. Faz referência aos máximos do gráfico aos quais se encontra associada uma distribuição electrónica mostrando as zonas no átomo onde existe maior densidade electrónica. Remete os alunos novamente para o Manual Escolar e leva-os à resolução de exercícios com o objectivo de determinar a relação existente entre duas probabilidades referidas.

### **4.3.3 – Protocolo da aula nº3**

P1 - Nós tivemos a ver nas duas aulas passadas, começamos a estudar o capítulo da estrutura electrónica dos átomos, ou seja, toda uma série de assuntos que se relacionam com a distribuição dos electrões nos átomos. Vimos nas duas primeiras aulas como é que nós podemos experimentalmente, nos apercebermos das posições, entre aspas, que os electrões ocupam nos átomos isto porque nós vimos que essas posições não é aquele conceito de posição que vocês estudaram no 10º ano, aquele conceito cinemático de posição porque não se pode descrever a posição de um electrão pelas Leis da Mecânica Clássica mas servimo-nos de um outro conceito matemático que é o conceito de probabilidade para descrever o que é que se passa em termos de distribuição de electrões à volta do núcleo. Nós hoje vamos continuar a estudar algo relacionado com os electrões mas agora não vai ser a posição mas sim a sua energia. Neste capítulo vamos estudar o que é que se passa com os electrões. Vimos anteriormente primeiro em relação às suas posições e estudamos o conceito

matemático de probabilidade. Experimentalmente apercebemo-nos dessa tal probabilidade de encontrar os electrões como? Através de determinadas técnicas experimentais a que nós chamámos de técnicas de difracção. Hoje vamos começar e vamos prolongar o nosso estudo ao longo destas aulas sobre o aspecto da energia dos electrões e vamos ver que há também um suporte experimental e certas evidências experimentais que nos permitem concluir acerca da energia que não são mais nem menos do que técnicas de espectroscopia, ou seja, vamos ver qualquer coisa relacionada com espectros que já falámos assim muito pela rama, muito brevemente e hoje vamos tentar particularizar mais e ver com mais cuidado. Técnicas de espectroscopia. Ora bem, queria que vocês tivessem em consideração um conceito que vocês já têm presente de anos anteriores é que uma modificação da energia associada ao átomo e concretamente associada aos electrões que constituem o átomo vai-nos induzir uma alteração da disposição espacial dos próprios electrões e como nós sabemos agora que podemos representar essa distribuição espacial através de nuvens electrónicas será lógico concluir que uma alteração da energia vá provocar uma alteração das nuvens electrónicas, ou seja, das tais posições relativas onde nós podemos encontrar electrões.

Mas agora surge-nos uma pergunta que é o seguinte, isso vocês sabem responder. É como nós podemos alterar a energia dos electrões dentro dos átomos?

**A1 - Fornecendo-lhes energia, por exemplo?**

**Dando-lhes um raio de uma radiação?**

P2 - Por exemplo, fazendo incidir uma radiação. Tudo bem. Que tipo de radiação?

**A2 - Ultravioleta, por exemplo.**

P3 - Por exemplo, ou Infravermelha? Se for visível?

**A3 - Electromagnética.**

P4 - Electromagnética, de uma maneira geral. O que é que pode acontecer? Nós sabemos que as radiações electromagnéticas, se nós tentarmos reduzir isso assim ao mais simples possível e de acordo com a teoria dos Quantas de Planck, nós sabemos que as radiações electromagnéticas são constituídas por ...

**A4 - Fotões.**

P5 - Fotões. Então consegue-se que haja uma certa alteração da energia dos electrões, porquê? Porque vai haver choques entre os átomos e os fotões da radiação incidente. Mas não é a única maneira de nós podermos alterar a energia. Como é que podemos fazer? Outra maneira?

**A5 - Fornecendo energia através do calor.**

P6 - Por exemplo, alterando a temperatura. Pode ser, sim senhora. O que é que acontece quando eu aumento a temperatura? O que é que acontece às partículas constituintes de determinada amostra quando eu altero a temperatura?

**A6 - Porque o nível de energia ...**

P7 - Vamos, vamos imaginar que fornecemos determinada energia mas que não vai ser suficiente para logo para romper electrões nem nada disso. O que é que vai provocar às partículas?

**A7 - Vai aumentar a velocidade.**

P8 - Vai aumentar a agitação das partículas, é ou não? E aumentando a sua energia cinética. O que é que isso vai provocar?

**A8 - Choques.**

P9 - Choques maiores entre as partículas. É isso mesmo. Então outra maneira de fazer alterar a energia, como? Fornecendo energia térmica, que vai provocar um aumento do número de choques entre os electrões do átomo. E mais? Ainda se lembram de mais alguma maneira?

**A9 - Aumentando a velocidade? Não, isso não.**

P10 - Diz Cristina.

**A10 - Uma substância elementar se se ligar com outra pode formar iões. Depois varia a energia cinética pois há formação de iões.**

P11 - O que é que isso tem a ver com a energia dos electrões ou com a energia dos átomos?

**A11 - Pode dar um electrão.**

**Professora. Alterando a velocidade.**

P12 - A velocidade de quê?

**A12 - Por exemplo, nós temos a fórmula  $E = mc^2$ . Se nós alterarmos a velocidade, a energia vai aumentar.**

P13 - Qual velocidade é que podemos aumentar? A velocidade da luz?

**A13 - Não. Não há maior. Nada.**

P14 - Pode acontecer qualquer coisa como uma ionização. Nós já vamos lá chegar. Já vamos ver o que é que é isso de energia de ionização. Pode acontecer uma outra situação. Nós quando estamos a fornecer de alguma maneira energia o que é que vai acontecer? Os nossos electrões absorvem determinadas quantidades de energia que os fazem transitar para níveis de energia superiores. E quando isso acontece nós dizemos que deixamos de ter os átomos no estado fundamental e passamos a ter os átomos no estado excitado. Recordam-se de ter falado nisto no 9º ano, salvo erro?

**A14 - Sim.**

P15 - Átomos no estado fundamental, átomos no estado excitado Então o que é que vocês se recordam de anos anteriores do que era o átomo no estado fundamental e o que é que era o átomo no estado excitado?

**A16 - No estado excitado era quando ele era ...**

P16 - Oh João! Vamos agora deixar outro falar. Eduardo, diz lá. O que é que é isso do átomo no estado fundamental?

**A16 - O átomo no estado fundamental era tem tantos protões como electrões.**

P17 - Então quer dizer que o átomo no estado excitado o número de electrões difere no número de protões?

**A17 - Ou ganham ou perdem electrões.**

P18 - Então já não podia falar em átomo. Já não tenho nenhum átomo nessa ocasião. Passo a ter o quê?

**A18 - Ião.**

P19 - Ião. Mas eu estou a falar em átomo no estado excitado.

**A19 - O átomo passa a estar com outra energia.**

P20 - Ele pode emitir ou absorver. É isso mesmo, não é? Quando há electrões, absorvem uma determinada quantidade de energia, passam para níveis superiores de energia. Então nós dizemos que o átomo está no estado excitado. Vocês têm noção, esse estado excitado é um estado estável ou instável?

**A20 - Instável.**

P21 - Instável. O que é que acontece quando ao fim de algum tempo ...

**A21 - Ele volta, por exemplo, o electrão que saltou no estado excitado como perde energia, volta ao nível anterior.**

P22 - Porque é que ele tende a perder energia e a voltar outra vez ao ...

**A22 - Porque gasta-se energia cinética.**

P23 - Só? Que tipo de forças é que existe, que ligam as partículas dentro do átomo?

**A23 - Forças de atracção.**

P24 - Forças de atracção entre ...

**A24 - Entre o núcleo e os electrões.**

P25 - Pronto. Então o electrão ao absorver energia passa para um nível superior, de maior energia, mais afastado do núcleo, no entanto essa posição é instável e rapidamente ele volta à sua posição inicial devido à existência de forças electrostáticas e vai emitir uma quantidade de energia bem definida que corresponde à diferença de energia, ao valor correspondente entre os dois níveis de energia onde se fez a transição.

**A25 - Stora. Tenho uma dúvida.**

P26 - Sim?

**A26 - Enquanto o electrão excitado passa para o outro nível de energia, o tempo, que ele lá está nesse nível de energia mais elevado é o tempo correspondente à duração da energia cinética?**

P27 - O que é que é a duração da energia cinética?

**A27 - Quando o fóton incide sobre o átomo, o electrão fica com energia cinética, se houver diferença entre energia de ionização e energia cinética.**

P28 - Estás a ir para o efeito fotoeléctrico, não é?

**A28 - Sim.**

P29 - Pronto. Então no efeito fotoeléctrico o que é que acontece? Há uma energia incidente, há um raio incidente com determinada energia, com determinada frequência. Se a energia for suficiente para arrancar o electrão eu tenho o átomo no estado excitado?

**A29 - Pois é isso que eu estou a confundir.**

P30 - Não.

**A30 - Não?**

P31 - Não. A energia tem de ser de tal maneira suficiente que se possa arrancar esse electrão do átomo e que o electrão fica animado de uma certa velocidade, sim senhora, que nós traduzimos pela sua energia cinética. Mas aqui nós não estamos a ver, quando falamos aqui em átomo no estado fundamental e átomo no estado excitado não estamos a ver a situação limite que é a ionização. Estamos a ver unicamente a passagem de electrões para níveis de maior energia e depois passagem novamente aos níveis de menor energia e o electrão aqui não chega a sair do átomo, ou seja, não chega a haver correntes eléctricas.

**A31 - Está bem.**

P32 - Então, têm essa noção clara, não é? Aqui (a professora discute diagrama de energia no quadro) corresponde a uma situação de menor energia, aqui corresponde a uma situação de maior energia. Esta situação corresponde a uma situação de instabilidade que rapidamente volta àquela situação. Daqui para aqui, esta passagem se dá com absorção de energia, a passagem do estado excitado para o estado fundamental se dá com emissão de energia. Essa emissão de energia e essa absorção de energia não é qualquer, ou seja, vai

ter valores bem definidos que correspondem à diferença entre os valores associados aos níveis de energia respectivos entre os quais se faz a transição. Quando o átomo, por exemplo, ao passar, nós fazemos incidir uma radiação qualquer, ele passa ao estado excitado e depois ao passar novamente ao estado fundamental ele emite uma determinada quantidade de energia. Essa energia pode ser quantificada e pode ser visualizada naquilo que ... está na página 48 do vosso livro. Ora bem, um espectroscópio consiste no seguinte; nós aqui temos a imagem de um espectro que se obtém, ou seja, de um esquema de um espectroscópio que consiste no seguinte: eu quero alterar a energia dos electrões no átomo. Eu sei que eu posso fazer estas duas coisas que aqui estão. Mas posso fazer ainda uma terceira que é a seguinte. Sujeitar uma amostra gasosa de determinada substância a uma descarga eléctrica elevadíssima. Nessa ocasião os meus átomos da amostra em questão, vão colidir com os electrões dessa descarga eléctrica. O que vai acontecer? Os choques vão originar com que haja também uma alteração de energia dos electrões em questão da amostra gasosa, ou seja, eu posso ainda aqui então acrescentar para os electrões que posso fazer ou fazendo descargas eléctricas às substâncias no estado gasoso. Pronto. Pode ser desta maneira ou pode ser doutra. Mas o espectroscópio o que é que pode fazer? Vai aproveitar a capacidade que nós temos de alterar a energia através de descargas eléctricas, vai-se basear neste princípio e vai excitar os átomos das amostras em questão, neste caso nós temos aqui o hidrogénio ao absorver energia, alguns dos seus electrões vão passar a níveis de energia, só um, não é? Então o que é que vai provocar estas descargas eléctricas? O electrão absorve energia, passa a níveis superiores de energia. Como é uma situação instável imediatamente regressa ao estado, aos níveis de menor energia, ou seja, ao estado fundamental, emitindo então uma determinada quantidade de energia. Essa energia emitida sob a forma de feixe luminoso, vai ser colmatada numa fenda e vai ser, e vai incidir num prisma que vai decompor essa luz em determinadas frequências, que vimos que era o que acontecia quando estávamos no outro capítulo. Recordam-se disso? Quando a luz é refractada, passa de um meio para outro, o que faz é decompor aquela radiação em várias frequências. E o que é que nós observamos? Ao contrário do que seria de esperar, ou não sei se é ao contrário do que seria de esperar, isto é, não sei se vocês têm esta noção ainda implícita na vossa cabeça, o que é que vamos observar? Um espectro, vocês já conhecem o espectro electromagnético, ou seja, toda aquela zona que varia, em que se faz um varrimento de todas as frequências possíveis, mas agora aqui, o espectro que nós iríamos obter não seria um espectro parecido com aquele que nós conhecemos que é o espectro electromagnético em que existe uma banda contínua de cores na zona do visível e depois bandas contínuas de frequência mas aqui este espectro é descontínuo, ou seja, é um espectro onde só aparecem marcadas determinadas frequências bem precisas ao contrário do outro espectro que nós conhecemos que é o espectro electromagnético. Então temos que à partida tentar diferenciar. Vai haver aqui várias coisas que nós vamos ter que diferenciar. Primeiro, espectros. Nós vamos então estudar a energia dos electrões através de técnicas baseadas na produção de espectros. Como é que esses espectros se produzem? Através de alteração da energia dos electrões. Como? Por exemplo, havendo descargas eléctricas em amostras que contém esses átomos. Só que à partida para nós conseguirmos destrinçar isto tudo, vamos ter que saber destrinçar duas coisas fundamentais que é, em primeiro lugar realmente o que é que é isto de espectros e que tipo de espectros é que nós podemos ter. Porque surgem vários conceitos que são espectros de emissão, de absorção, contínuos e descontínuos. Então vamos ter que saber muito bem como é que se caracterizam toda estas espécies de espectros e quais deles é que vão servir realmente para nos dar esta informação. Quero saber

destes espectros todos quais é que nos vão servir para nos dar essa informação sobre a energia dos electrões. Ora bem, só que, pronto, isto o que é que nós pretendemos fazer aqui? São uma série de conceitos interligados, entrelaçados e temos que tentar ver em cada passo que coisas novas nos surgem e de que é que nós dependemos para trás e aonde é que nós queremos chegar. Só que quando estivemos aqui a falar de absorção de energia, de electrões passarem do estado fundamental para o estado excitado e vice-versa, de produção de espectros, falou-se na situação extrema que é a situação em que há ionização. E para haver ionização, também vocês têm presente, para conseguir arrancar um electrão ao átomo é preciso fornecer uma dada quantidade de energia. Essa energia que se chama energia de ionização. E como é que nós definimos o que é energia de ionização? Agora vocês têm obrigação de saber isso.

**A32 - É a energia necessária que um átomo, por exemplo, um átomo que está isolado no estado fundamental foi-lhe tirado um electrão da camada de valência.**

P33 - Pronto. É isso. Elas estão a fazer o trabalho sobre propriedades periódicas por isso têm obrigação de saber bem o que é que é isto. Tá? Portanto, a situação extrema, a energia pode ser definida como a energia necessária para arrancar uma mole de electrões a uma mole de átomos de determinado elemento no estado gasoso, não é? É no estado gasoso.

**A33 - Nós no nosso trabalho não falámos nisso.**

P34 - Não? No estado fundamental, ou seja, no estado de menor energia. É? Não falam no estado gasoso, mas falam ...

**A34 - Nós só falamos de energia de ionização molar.**

**Falamos em moles.**

**A energia de ionização pode ser num estado que é só para um electrão?**

P35 - Sim, sim. Também pode ser. Pronto. Esta é a situação extrema em que realmente é fornecida energia e em que o electrão é arrancado do átomo. Mas pode acontecer que a energia fornecida não seja suficiente para arrancar o electrão do átomo mas unicamente para o fazer saltar para níveis superiores de energia. Ora bem! Ao fornecer energia o átomo absorve essa energia. O que nós vamos obter através das técnicas de espectroscopia são espectros que correspondem agora não a emissão, não é? As substâncias não estão a emitir energia. Mas quando as estamos a fazer passar do estado fundamental para o estado excitado, as substâncias absorvem energia e não absorvem qualquer gama de energia. Absorvem energia muito peculiar, correspondente unicamente à diferença de energias dadas para a transição de um nível para outro. Ou seja, o que nós então aqui neste caso estamos a tratar ou os espectros que se obtêm, são espectros de absorção, ou seja, correspondem a situações onde há absorção de energia e esses espectros são descontínuos, ou seja, correspondem unicamente a determinadas frequências bem precisas, por isso, os átomos absorvem só na gama de tal frequência, bem precisas, que correspondem à transição do electrão para níveis superiores. Está bem? Antes daquela situação extrema, antes, ora bem, unicamente para uma dada frequência. O que se obtém nesta situação são espectros de absorção descontínuos, ou seja, vamos cá mostrar agora o que é que se vai obter. Eu tenho aqui uma série, não sei se conseguem todos ver, mas pelo menos mais ou menos. Eu tenho aqui uma série de espectros. Eu tenho aqui o espectro solar. Este vocês conhecem, não é? É um espectro. Achrom que é um espectro contínuo ou descontínuo?

**A35 - Descontínuo.**

P36 - é que é descontínuo? Será um espectro que se vê em todas as frequências? Não, pois não? Um espectro descontínuo que dizer que só se visualizava em determinadas frequências bem precisas. Este só se visualiza em determinadas frequências bem precisas? Não. Este visualiza-se nesta gama toda de frequências. A gente consegue visualizar. Ao contrário deste aqui. Este aqui o fundo é preto e nós só conseguimos observar determinadas riscas, que correspondem a quê? A uma emissão de energia unicamente, bem precisa, com aquela determinada frequência. Mas agora o que é que nós temos aqui não são, ou o que nós falámos antes não é um, não são espectros de emissão, mas sim espectros de absorção, ou seja, só vão absorver determinada energia bem precisa e aqui está um exemplo de um espectro de absorção em que nesta gama toda de energias vão-se sobrepor aqui umas riscas pretas, essas sim correspondentes à zona do espectro electromagnético, ou seja, correspondente à frequência onde se vai dar a tal absorção de energia. Nós sabemos que energia e frequência estão relacionadas através da relação de Planck-Einstein. Está bem? Pronto. No espectro as zonas pretas correspondem a absorção de energia. Este espectro de absorção corresponde a isto, aos átomos absorverem energia e os electrões passam para o estado então excitado. Tá? Mas não há só espectros de absorção, mas também sim espectros de emissão. E os espectros de emissão funcionam como se fosse o negativo, não é? O negativo dos espectros de absorção, ou seja, se o electrão precisa, vamos imaginar, de 50 J, nós começamos 50 J de energia para passar para o nível superior. Assim que pode vai emitir uma determinada quantidade de energia, vamos passar para o nível de energia inferior e que quantidade de energia é que ele vai emitir?

#### **A36 - 50 J.**

P37 - Os 50 J que tinha absorvido antes. Ou seja, agora observando um espectro de emissão, o que é que eu vou observar? Na banda preta, a luz emitida, vai corresponder unicamente a determinadas frequências bem definidas que correspondem à transição dos electrões do estado excitado para o estado fundamental e que se visualizam no espectro através de bandas coloridas. Tá? Não sei se conseguem ver o espectro. Ora bem. Então antes da ionização acontece isto. Acontece uma coisa semelhante que é os átomos emitem unicamente determinada energia correspondente a determinada frequência e surgem aqui então aquilo que nós designamos por espectros de emissão descontínuos. Os espectros contínuos quer de emissão quer de absorção obtêm-se, nomeadamente em relação ao hidrogénio, em que antes da ionização nós tínhamos lá determinado electrão, há medida em que, a partir do momento em que nós arrancamos o electrão, aí o átomo absorve e emite qualquer quantidade de energia obtendo-se aquilo que nós chamamos de espectros de emissão e de absorção contínuos.

---

### ***TOQUE***

---

#### **4.3.4 – Descritivo da aula nº 3**

Tal como nas aulas anteriores, nesta aula podem-se distinguir três momentos particularmente relevantes:

1º momento de aula – 3P1 a 3P10: visão estrutural dos aspectos da distribuição espacial e alteração da energia dos electrões.

2º momento de aula – 3P11 a 3P33: aprofundamento do conceito de estado excitado para explicar a alteração da energia dos electrões.

3º momento de aula – 3P33 a 3P37: discussão de diferentes tipos de espectros e sua utilização como instrumentos para a identificação de transições electrónicas.

A professora inicia a aula com a síntese das ideias anteriores sobre a distribuição espacial. Afirmar que o tema a desenvolver não está relacionado com o estudo sobre as posições que os electrões ocupam à volta do núcleo mas sim sobre a sua energia e faz a interligação entre a distribuição espacial e a energia uma vez que a alteração de uma das grandezas irá provocar alteração na outra. Questiona os alunos sobre como modificar o estado de energia dos electrões ao que estes respondem através de uma radiação, calor ou por aumento do número de choques. A professora tenta em seguida aprofundar o conceito de estado excitado. Este é um dos momentos mais interactivos da aula pois surgem várias dúvidas dos alunos sobre a excitação de um electrão (tema leccionado no 10º ano embora tal não tivesse sido verificado pela professora). Depreende-se das intervenções dos alunos que estes parecem confundir excitação com ionização. Esta confusão é posteriormente esclarecida pela professora.

Na terceira parte da aula nota-se um maior controlo por parte da professora que explora, quase em sentido único as questões da quantização da energia. Segue-se uma discussão (algo ambígua) sobre os diferentes tipos de espectros e utiliza estes últimos para desenvolver e explorar as questões sobre as transições electrónicas.

#### **4.3.5 – Análise da categoria de conteúdo Quantização da Energia**

Os EMR desta categoria de conteúdo estão centrados nas aulas nº2 e nº3

A intenção da professora ao referir as linhas de campo só é esclarecida na segunda aula, no desenvolvimento da noção de isoprobabilidade precisamente através de um raciocínio analógico: “...Linhas *equipotenciais*. Linhas que tinham o mesmo potencial eléctrico. Ora bem, nós agora não estamos a falar em termos de *potencial*, estamos a falar em termos de probabilidade de encontrar electrões perto do núcleo” (2P2), o que lhe permite dizer que “...por isso nós chamamos a essa superfície, superfície de isoprobabilidade” (2P2). A analogia com o domínio (supostamente) familiar da electricidade foi assim empregue para

qualificar aspectos cujo critério é terem (nos dois casos) uma mesma propriedade (de notar que não foi esclarecido se o domínio familiar era ou não conhecido dos alunos).

Confrontada com a necessidade de trabalhar com superfícies equipotenciais, explora a analogia (já referida na primeira aula) do átomo como esfera para poder levar os alunos a imaginar um corte transversal que mostraria as linhas de isoprobabilidade: “...um *corte* transversal no átomo de maneira a que eu conseguisse também *passar pelo centro* do núcleo, *cortá-lo* e *vê-lo* de frente (...) o que eu visualizava agora não eram superfícies de isoprobabilidade mas sim *linhas*...” (2P2). Esta explicação não parece ser suficientemente convincente para um aluno (2A2) que tenta estruturar a sua aprendizagem avançando ele mesmo com uma analogia original: “...então as superfícies são *esferas ocas*, como os *ovos de chocolate*?” (2A3). É possível que o facto da professora utilizar linguagem metaforicamente rica neste episódio tenha levado a que os próprios alunos recorressem a uma linguagem do tipo exploratório. O aluno tentou, utilizando a imaginação e a criatividade, relacionar o seu conhecimento com experiências passadas, tentando assim estruturar a nova informação. A professora proporcionou aos alunos um tipo de reflexão diferente, possibilitando aos mesmos o levantamento de questões. Para extrapolar a pergunta do aluno, a professora elabora a analogia utilizada, pois não fala de qualquer ovo de chocolate, mas leva os alunos a pensarem num “Kinder Surpresa”: “... Sim, se tu cortares um ovo de chocolate ao meio, um Kinder surpresa, tem aquela castanha e depois aquela branquinha por dentro...” (2P4). (Nota: este tipo de guloseima tem a particularidade de ter chocolate branco por dentro e chocolate preto por fora).

De um modo geral são raros os exemplos como este de discussão interactiva das analogias e metáforas em que o agente iniciador é o aluno. A discussão que se segue sobre a variação da probabilidade de presença de um electrão em função da distância ao núcleo do átomo, leva a professora ao conceito de “...zonas onde há maior/menor *densidade* electrónica...” (2P15), e no caso limite de ser  $r = 0$  apoia a ideia com a expressão metafórica “estou caída no núcleo” (2P7). Refere ainda no caso do Argon (tratado no manual escolar) que os *picos* que aí se observam para a *densidade* electrónica, “... vão coincidir nem mais nem menos do que as *camadas* de energia que Bohr definiu...” (2P15). No manual escolar é feita a referência às camadas K, L e M (pág. 42). É de referir a utilização de terminologia como “*camada*” que só tem sentido no quadro de um determinado paradigma.

Refira-se finalmente o uso de metáforas pela professora tendo em vista justificar decisões relativas à organização do processo ensino/aprendizagem. Por exemplo, a professora conclui a discussão em curso dizendo que não vai desenvolver mais este assunto, dado que é “... um assunto um pouco *árido* ...” (2P15) e propõe aos alunos a resolução de exercícios sobre a relação existente entre probabilidade por ponto e probabilidade por superfície utilizando igualmente expressões metafóricas como por exemplo “... conseguem desenvencilhar-se sozinhos?...” ou ainda “... não vale ver as soluções meninos. É como ir ver os últimos capítulos da telenovela ...” (final de 2P15).

No início da terceira aula, durante a exploração sobre formas possíveis de alterar a energia dos electrões, os alunos propõem alternativas do tipo “*dando-lhes um raio* de uma radiação” (3A1) ao que a professora responde com linguagem mais técnica, “fazendo incidir uma radiação” (3P2) o que irá “aumentar a *agitação* das partículas” (3P8).

Depois de se ter analisado diferentes formas de alterar a energia de um electrão, a professora relembra que após a absorção de determinadas quantidades de energia o electrão encontra-se num “*estado excitado*” (3P14). A professora lança a pergunta à turma: “Então o que é que vocês se recordam (...) do que era o átomo no estado *excitado*?” (3P15). Segue-se um período de discussão em que os alunos tentam relembrar noções adquiridas em anos anteriores. Algumas das ideias surgidas são:

“O átomo no estado *fundamental* era tem tantos protões como electrões” (3A16); “Ou *ganham* ou *perdem* electrões” (3A17).

A professora começa então a aperceber-se de que os alunos estão a confundir excitação com ionização e tenta esclarecer a situação: “Então no efeito fotoeléctrico o que é que acontece?” (3P30). Houve um aluno que é mais explícito e propõe a seguinte teoria: “Ele volta, por exemplo, o electrão que *saltou* no *estado excitado* como perde energia, volta ao *nível anterior*” (3A21); “Porque *gasta-se* energia cinética” (3A22); “Enquanto o electrão *excitado* passa para outro nível de energia, o tempo que ele lá está nesse nível de energia mais elevado é o tempo correspondente à duração da energia cinética?” (3A26).

Para este aluno, o seu raciocínio parece ser: ao incidir a radiação sobre o electrão no átomo, o electrão absorvê-la-ia e, em consequência, transitaria para um “nível de energia mais elevado”, que seria o estado excitado. No entanto, nesse novo nível de energia o electrão ficaria a “*mexer*”, em movimento (com energia cinética) e quando pára cairia

(voltando assim ao nível inicial). E vai mais longe com a sua explicação referindo que o tempo que o electrão demoraria a parar corresponderia ao tempo que demoraria a “gastar” a energia cinética (o aluno refere a “duração” da energia cinética).

É importante seguir todo este desenvolvimento do raciocínio analógico do aluno. No fundo, o que o aluno faz é uma aplicação grosseira da mecânica clássica (do movimento de partículas), ou seja explorando uma analogia cinética. Nesta discussão poderia ter havido um maior cuidado da professora em esclarecer melhor o assunto.

A professora fala em “estado *instável*” (3P20) mas não aprofunda mais esta questão o que provavelmente faz com que mais tarde um aluno falasse do tempo que o electrão se encontra nesse nível e que esse “tempo” corresponde a “gastar-se a energia cinética (3A22) A questão da instabilidade surge também na linguagem da professora noutros momentos de aula: “Esta situação corresponde a uma situação de *instabilidade* que rapidamente volta àquela situação” (3P32). “Como é que uma situação *instável* imediatamente regressa aos níveis de menor energia?” (3P32).

A discussão feita sobre espectros de absorção e emissão (3P36) traz uma nova metáfora, a de “conceitos *entrelaçados*” (3P32). Em si mesmo, a discussão é algo confusa, sobretudo no caso dos últimos (emissão) ao falar destes serem como que os “*negativos*” (sem se elaborar porquê) dos espectros de absorção (nota: melhor seria ter dado um exemplo simples de espectro de emissão contínuo, p. ex. a partir da radiação solar ou através de uma barra de ferro levada ao rubro, parte visível e infra – vermelho do espectro facilmente reconhecíveis pelos alunos pelos seus efeitos macroscópicos; no caso de espectros de emissão de riscas através de descarga eléctrica em fase gasosa e decomposição da radiação emergente por um prisma).

#### **4.4 – Categoria de Conteúdo Espectro do Átomo de Hidrogénio (aulas nº 4 e nº5)**

##### **4.4.1 - Protocolo da aula nº 4**

P1 - ... Sobre o espectro do Hidrogénio, nomeadamente visualizando espectros na zona do visível e chegando à expressão que, ou apresentando a expressão, vamos unicamente apresentar a expressão do cálculo da frequência para as riscas nessa zona do visível e essa frequência, por isso, a expressão para o cálculo das frequências das riscas da zona do visível, essa frequência que era dada por  $(1/4 - 1/n^2) \times 3,29 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$ , em que este  $n$  teria que ter um valor superior a três e corresponderia à transição do electrão do hidrogénio de um nível igual a três ou maior que três para um nível igual a dois. Eu chamo a atenção para no livro nos aparece em vez deste  $n$  o  $w$ ,  $w^2$  e o livro refere que o  $w$  tem de ser maior ou igual a três, mas ainda se chama  $w$  a esta letra  $w$  que ali aparece ou que aparece no vosso livro. Para o cálculo desta frequência é uma letra arbitrária

que foi posta ali naquela expressão como poderia ter sido  $k$  ou como poderia ter sido uma outra coisa qualquer, porque aparecer antes daquilo que nós mais tarde ou antes da contribuição de Bohr, a ajuda de Bohr para o cálculo das energias e das frequências dos electrões; por isso, antes de ter surgido a noção de número quântico principal. Nós actualmente sabemos que aquele  $w$ , na realidade, corresponde ao número quântico principal, ou seja, ao nível onde se encontra o electrão do átomo de hidrogénio, por isso vamos já pô-lo lá só para uma pessoa não fazer confusão com mais letras, para agora nos aparecer o  $w$  e daqui a umas aulas aparecer o  $n$  naquelas expressões para o cálculo das frequências e para o cálculo das energias das riscas respectivas. Ora bem, isto, quem chegou a esta expressão foi o senhor Balmer em mil oitocentos e não sei quê. Depois em mil novecentos e seis um senhor chamado Lyman debruçou-se também sobre o estudo do espectro de hidrogénio mas aí não especificamente sobre a zona do visível mas numa zona que corresponde à zona do ultravioleta e então teve que arranjar uma expressão mais genérica para calcular as frequências das riscas que aí apareciam e essa frequência seria dada por  $(1/n_1^2 - 1/n_2^2) \times 3,29 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$  em que apareceria a expressão para o cálculo das frequências do espectro de hidrogénio e em que, em que este  $n_1$  e o  $n_2$  se relacionam da seguinte maneira: o  $n_2$  é maior do que o  $n_1$ , ou seja, corresponde à transição do nível  $n_2$  superior para o nível  $n_1$  inferior correspondendo a essa transição a emissão de um fóton com determinada energia e cujo cálculo da frequência é dada por esta expressão.

**A1 - Essa expressão é para calcular a frequência na zona do ultravioleta?**

P2 - Esta é para calcular a frequência numa zona qualquer. Esta é a expressão genérica que me dá

**A2 - Em que  $n_2$  é maior do que  $n_1$  ?**

P3 -  $n_2$  é maior do que  $n_1$ .

**A3 - Não há uma expressão com o contrário em que  $n_1$  é maior do que  $n_2$ ?**

P4 - Não. É  $n_2$  é maior do que  $n_1$ . Isto corresponde a uma transição de um  $n_2$  para um  $n_1$  ou de um  $n_1$  para um  $n_2$  mas genericamente de um nível maior para um nível inferior e é essa transição que me vai dar uma emissão de determinada energia correspondente a determinada frequência correspondente a uma determinada risca do espectro, ou seja, esta expressão aqui não é mais nem menos do que um caso particular desta expressão em que o  $n_1$  corresponde a dois, ou seja, corresponde a transições do electrão do hidrogénio para um nível superior, para um nível  $n$  igual a dois. Então começa aqui a surgir, ou começam aqui a surgir várias coisas que vamos ter que saber destrinçar. Primeiro pode haver transições de electrões de níveis de energia superiores para o nível  $n = 1$ . Pode haver transições para o nível  $n = 2$ . Pode haver transições para o nível  $n = 3$ . E quando isso acontece isso vai obrigar a que a energia libertada vai ser diferente e logo a frequência das riscas que nós vamos obter vai ser diferente também. O que é que isso implica? É que vamos obter riscas no espectro de hidrogénio em zonas diferentes. Umhas riscas na zona do ultravioleta e outras riscas na zona do visível, são aquelas ali correspondentes aquela frequência, e outras riscas na zona do infravermelho. Para nós vermos isto concretamente como é que acontece, eu queria que vocês vissem na página 50 do vosso livro. Logo em cima vocês têm um esquema. Estes níveis que aqui aparecem para o hidrogénio já estão quantificados, ou seja, já aparece ao lado o valor da energia respectiva em  $\text{kiloJoule mol}^{-1}$  mas eu não vou ainda pôr isso, nós vamos aprender como é que se calculam esses valores. Eu vou só genericamente pôr desta maneira. E o que é que eu observo? Quando acontecem transições de um nível qualquer superior para o nível  $n = 1$ , é emitida energia correspondente a determinada frequência e vamos visualizar essas riscas na zona do

ultravioleta e essas riscas na zona do ultravioleta correspondem a uma série de riscas estudadas pelo senhor Lyman e à custa do qual foi explicitada estas que são para o cálculo das frequências e por isso mesmo, nesta zona do ultravioleta nós obtemos uma série de riscas que se chamam genericamente série de Lyman.

Para a zona do visível correspondem transições de energia ou transições entre níveis de energia superior, para o nível  $n = 2$ . São emitidas radiações correspondentes a frequências na zona do visível e o cálculo dessa frequência que foi pela primeira vez estudado pelo senhor Balmer. Em honra dele fica-se a dever, ou a essas riscas, chamam-se às riscas que correspondem, série de Balmer, e cujas frequências são dadas por aquela expressão anterior.

Pode acontecer ainda haverem transições de níveis superiores para o nível  $n = 3$  correspondente agora a transições na zona do infravermelho e na zona do infravermelho estas riscas correspondem a uma série estudadas por um senhor chamado Paschen. Eu não sei pronunciar muito bem o nome. Bem só que estamos até agora a ver quais são as frequências para calcular genericamente as transições entre os vários níveis. Mas agora interessa quantificar ao máximo qual a energia de um electrão ou qual a energia de mole de electrões quando se encontram em determinado nível dentro do átomo de hidrogénio. Então é o que nós vamos tentar fazer agora. Vamos tentar chegar a uma expressão que nos dá o valor da energia do electrão dentro do átomo de hidrogénio. Como? A partir justamente desta expressão genérica e a partir de uma coisa que nós já sabemos do capítulo anterior que quando um electrão transita de um nível de maior energia para um nível de menor energia é emitida uma determinada quantidade de energia correspondente a um fóton com energia igual a  $h\nu$  em que  $\nu$  não vai ser nem mais nem menos do que a frequência determinada desta maneira. Pronto. Então eu vou tentar fazer agora o cálculo da energia de um electrão de um átomo de hidrogénio. Pronto. Quando nós temos um electrão num estado superior, num estado de maior energia, ele regressa ao estado fundamental, ao estado de menor energia. Vai haver emissão de energia correspondente a um  $\Delta E$  em que este  $\Delta E$  não é mais nem menos do que a energia de um fóton associado, calculado a partir desta fórmula  $h\nu$ . Então vamos pegar aqui nesta expressão e vamos tentar substituir o valor da frequência e tentar ver que simplificações é que podemos fazer até chegar a um valor genérico para a energia de um electrão. Então fica  $h$  vezes  $1$  sobre  $n_1$  ao quadrado menos  $1$  sobre  $n_2$  ao quadrado vezes  $3,29 \times 10^{15}$  e isto é igual a, simplificando isto fica  $h$  vezes  $1$  sobre  $n_1$  ao quadrado vezes  $3,29 \times 10^{15}$  menos  $h$  vezes  $1$  sobre  $n_2$  ao quadrado vezes  $3,29 \times 10^{15}$ . Vai dar genericamente o quê? Este é o valor de uma frequência. Este é o valor de outra frequência correspondente a uma energia noutro estado diferente. O que eu aqui vou ter vai ser a diferença de energias. Então eu posso admitir como boa aproximação.

Isto não é uma dedução, vá lá, muito matemática mas é mais pela lógica e de acordo com os conhecimentos que vocês já têm neste momento. Então eu posso admitir que a estes dois valores aqui corresponde uma determinada energia e aqui uma determinada energia  $E'$  de tal maneira que a diferença de energia  $E$  e  $E'$  me vão dar este  $\Delta E$  correspondente à emissão daquele fóton. Então eu posso concluir que genericamente, que a expressão que me dá a energia, então eu vou agora utilizar um subterfúgio que espero não escandalize muito as pessoas que é o seguinte: nós sabemos que a energia de um electrão no átomo tem sempre um valor negativo, isto porque se convencionou que para uma distância situada infinitamente do núcleo essa energia vai diminuindo até a um valor negativo, inferior a zero, logicamente.

Então o que é que eu posso genericamente concluir? De uma maneira assim ... vamos dar um pulo: eu posso concluir que o valor dessa energia é igual a  $-h \times 1/n^2 \times 3,29 \times 10^{15}$  J por electrão. Pronto. Um valor negativo para a energia que corresponde justamente a nós considerarmos agora aqui um  $n$  genérico, ou seja, se o electrão estiver no nível  $n = 1$  eu para calcular o valor da energia do electrão nesse nível, eu substituo o  $n$  por 1. Se eu quiser calcular o valor da energia do electrão quando ele está no nível  $n = 2$ , eu substituo o  $n$  por 2 e assim sucessivamente. O valor da diferença de energia corresponde a eu fazer o cálculo dessa expressão em que a um  $n_1$  corresponde uma situação final e a um  $n_2$  corresponde uma situação inicial da qual parte o meu electrão quando volta ao estado fundamental. O vosso livro está um bocado mais pormenorizado nisto. Eu acho que não vale a pena nós irmos pormenorizar porque ele a certa altura atribui a este  $n_2$  o valor de energia  $E_A$ . A este  $n_1$  o valor de energia  $E_B$ . Ele diz que este valor de energia  $E_A$  é superior ao valor de energia  $E_B$  e por isso à diferença de energias de A para B ele atribui logo que é igual a  $E_A - E_B$ , e então nós chegamos à conclusão que fazendo na mesma esta substituição isto será igual ao valor de  $E_A$  para a energia ou seja, a energia no estado inicial, maior energia, e este igual a uma energia  $E_B$ , ou seja, o valor de energia para o estado final, depois de o electrão regressar ao estado fundamental. Bem, não nos é muito prático, não nos é muito prático trabalhar com estes valores assim, andar ali com a constante, trabalhar geralmente, às vezes é mais fácil trabalhar-se em kJ e em vez de Joule, simplificando o valor e também às vezes é nos vantajoso calcular a energia não por electrão mas sim por mole de electrões. Então o que nós vamos fazer agora vai ser várias simplificações naquela expressão, ou seja, primeiro substituindo o valor de  $h$  que é uma constante nesta expressão e ver que a energia vai depender unicamente do  $n$  e depois ver o que se passa não para um electrão mas para uma mole de electrões para aquele valor de energia associada. Pronto. Então, simplificando esta expressão vem, isto é igual, o  $h$  é igual a  $6,6 \times 10^{-34} \times 1/n^2 \times 3,29 \times 10^{15}$  o que vai dar para o calculo da energia qualquer coisa como, isto não considerando as aproximações vai dar  $-2,17 \times 10^{-18}$  J sobre  $n^2$ , ou seja, a energia para um electrão em que  $n$  é um número quântico pode tomar valores inteiros e por isso pode ser maior ou igual a 1, pode-se pôr genericamente desta maneira.

***A4 - Oh Stora, quer dizer que nós já podemos trabalhar com esta fórmula?***

***É exactamente a mesma coisa?***

P5 - É a mesma coisa. Nós escusamos de andar aqui com isto. Sabendo este valor fazemos ... nós já vamos ... Eu trago alguns exercícios já preparados para vocês tentarem ver como é que nós aplicamos, porque isto à partida pode parecer que é muita coisa, agora o que nos vai interessar vão ser coisas muito pequeninas e os exercícios vão ser resolvidos todos da mesma maneira. Bem, mas isto é a energia para um electrão. Então e para uma mole de electrões? O que é que eu faço?

***A5 - Multiplica-se pelo número de Avogadro.***

P6 - Então a energia para uma mole de electrões corresponde a eu multiplicar este valor vezes o número de Avogadro e isto vai dar um valor de  $-1312 \text{ kJ mol}^{-1}$  e este valor sobre  $n^2$ , logicamente, estamos sempre a trabalhar em função do nível onde se encontra o electrão ou neste caso a mole de electrões. Então a expressão genérica fica  $-1312 / n^2 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Se vocês repararem na página 50 agora mais uma vez no vosso livro em que lá tinha as transições correspondentes, à esquerda aparecia o  $n$  igual a 1, igual a 2, igual a 3, igual a 4 e à direita corresponde o  $-1312$ , o  $-328$ , que resulta de eu chegar àquela expressão, substituindo o  $n$  por 1, ou por 2, em que aquele é a energia em kJ, o que nos aparece em cima do gráfico à direita.

**A6 - Oh Stora, mas nós agora podemos usar esta fórmula?**

P7 - Para?

**A7 - Para calcular a energia correspondente a uma transição ...**

P8 - Sim, genérica. Esta é a fórmula genérica.

**A8 - Sim, mas convém usar a fórmula de Balmer?**

P9 - Não, podemos utilizar a fórmula genérica em que fazemos  $n_1 = 2$  e  $n_2$  igual ao nível onde está o electrão. Ora bem. O que é que nos interessa agora ver? O que é que isto se relaciona com a contribuição de Bohr, ou com a teoria de Bohr que vai surgir anos mais tarde em relação a este cálculo destas energias que vai surgir em 1913. Pronto. Bohr vai assumir uma coisa e em que vai dizer que realmente ele chega à conclusão de que através de postulados, porque matematicamente ele não vai ser capaz de demonstrar, mas ele postula que, e um postulado é uma informação, que não se comprova na altura se é verdadeiro ou falso. Ele postula que a energia do electrão no átomo de hidrogénio vai estar quantificada e só pode ter então determinados valores e define então uma coisa que vocês já falaram, falaram nisso quando falaram nos trabalhos, ou quando os realizaram, ele vai falar então na existência de estados estacionários, ou seja, estados em que o electrão assume determinadas quantidades de energia bem quantificada e esta energia quantificada não pode ter um valor qualquer mas tem que ser múltipla ou tem que corresponder valores que sejam múltiplos de uma determinada quantidade  $n$  que ele chama de número quântico e por isso é que todas as expressões que eu fiz para trás fomos utilizar sempre o  $n$  e não uma outra letra qualquer. No entanto ficam muitas coisas para resolver com o senhor Bohr, que são o seguinte. Pronto. Ele baseia-se que, ou ele chega à conclusão disto, para já observando os espectros do átomo de hidrogénio ele consegue explicar os espectros do átomo de hidrogénio mas, deficiências na teoria de Bohr, o que é que ele não consegue explicar? Ele não consegue explicar o que é que se passa nos espectros dos outros átomos com mais do que um electrão. Não consegue explicar espectros de átomos polieletrónicos. E depois para ele chegar a esta conclusão ele diz que vamos admitir, ele faz um corte radical com a Mecânica Clássica. Ele diz que vamos admitir que o electrão ao circular à volta do núcleo, pode ser atribuído para esse movimento o momento angular para o electrão e esse momento angular não é mais nem menos do que ele multiplicar o meu  $mv$  que é a minha quantidade de movimento do electrão, pelo raio da órbita que ele descreve. Ele diz que esse momento angular só pode ser múltiplo desta quantidade em que lá surge o tal  $n$ , número quântico, ou seja, pode ser múltiplo, em que o  $h$  é a constante de Planck, o  $2\pi$  toda a gente sabe o que é, o  $\pi$  é o 3,14. Pronto. E então este momento angular só pode ter valores múltiplos deste  $h / 2\pi$  só que continua, e aí reside também uma das deficiências deste modelo de Bohr, é que continua por explicar o seguinte.

Pronto. Toda a gente conhece o que se passa quando nós temos uma pedra atada a um fio e imprimimos ao fio um determinado movimento, não é? Ele tenta comparar um pouco aquilo que se passa com a pedra na ponta do fio, com o electrão a rodar em torno do núcleo. Só que se nós pensarmos na pedra presa ao fio nós podemos ver uma coisa. É que o momento angular dessa pedra pode ter um valor qualquer. Porque a essa pedra pode ser imprimida uma velocidade qualquer e o raio da órbita que essa pedra descreve pode ser um raio também qualquer dependendo do comprimento do fio que eu estou a dar para descrever esse movimento. Por isso ele continua neste momento a dizer que há mas isso passa-se para uma pedra a rodar com um fio preso mas no electrão isso deixa de ser verdade e passa a ser verdade que esse momento angular não vai

depende da velocidade nem do raio, mas vai ter valores fixos sempre múltiplos daquela quantidade ali. Mas ele não consegue avançar mais do que isso nem consegue explicar matematicamente porque é que isso acontece. Aí outra falha daqui da teoria de Bohr e por isso é que vai surgir anos mais tarde uma teoria quântica, uma teoria matemática que vai descrever o que se passa com os electrões dentro dos átomos e que nós vamos tentar explicar algumas coisas muito simples relativamente a esta teoria na próxima aula. Bem, mas apesar de ter estas deficiências, este modelo de Bohr consegue ainda outra coisa, é que apesar de não explicar o que se passa para espectros de átomos polieletrónicos, consegue com grande segurança explicar aquilo que se passa para átomos polieletrónicos, ou melhor, entre aspas quando eu falo em átomos polieletrónicos, entre aspas. Consegue explicar o que se passa para o hidrogénio e para outras entidades que tenham também um electrão ou seja, entidades como o ião hélio. Ele consegue explicar o que se passa para o ião lítio e para o ião berílio, ou seja, tudo partículas monoelectrónicas que o vosso livro apelida, em algumas ocasiões de átomos monoelectrónicos mas com as devidas ressalvas. Ele põe átomos entre aspas porque isto não são átomos no verdadeiro significado da palavra. Não são entidades neutras. Só que aqui vai ter que ser preciso ser introduzido uma alteração na expressão que nós tínhamos ali, que nos dava para o cálculo da energia de um electrão porque agora nós temos uma coisa. É que enquanto que para o hidrogénio nós sabíamos que tinha um electrão, e que tinha unicamente um protão, ou seja, o número atómico do hidrogénio era igual a um, o que nós sabemos agora para estas partículas é que apesar de continuarem a ter um electrão elas têm um número de protões diferente, logo, o tipo de interacção que vai haver vai ser ligeiramente diferente também. Então introduz-se uma pequenina alteração no cálculo da energia e essa energia vai ter de depender também não só do  $n$  que é do número quântico ou seja do nível onde está o electrão, mas vai ter de depender também do  $Z$ , ou seja, do número atómico da partícula em questão, o que será lógico que isto aconteça. Então para calcular a energia para um átomo monoelectrónico, o valor dessa energia continua a ser  $-1312 n^2$ , só que agora se multiplica este valor por um  $Z$  ao quadrado e continua a ser a unidade expressa em  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  por isso agora a única alteração é aquele  $Z$  já que as partículas, o  $Z$  vai variar, apesar do número de electrões ser o mesmo. Pronto. Para que é que isto nos vai servir? Vamos agora tentar aplicar todo este conjunto de coisas que nós falámos, vamos tentar aplicar em dados concretos, e eu queria começar por sugerir que vocês, no vosso livro na página 83, tentassem fazer o exercício 2.2 e 2.4. O 2.2 e o 2.4 e depois eu vou aqui descrever três problemas que eu gostaria que fizessem também. Concerteza não vão acabar agora. Outros três exercícios que dizem: “Calcular o comprimento de onda de um fotão capaz de levar um átomo de hidrogénio do primeiro estado excitado ao estado de configuração electrónica  $4s^1$ .” “Calcular a energia de uma mole de electrões de Berílio no quarto estado excitado.” E o terceiro problema, que é: “Qual a energia necessária para ionizar 0,3 mol de iões Berílio no segundo estado excitado.” Pronto, por isso são estes cinco problemas que eu gostaria que resolvessem.

**A9 - Stora! No quarto estado excitado?**

P10 - Sim. No quarto estado excitado, sim. O que é que é isso no quarto estado excitado? O que é o primeiro estado excitado do hidrogénio?

**A10 - É o nível dois.**

P11 - É quando o electrão está no nível dois. Então o segundo estado excitado é quando o electrão está no ...

**A11 - No nível três.**

P12 - No quarto estado excitado, é quando está ...

*A12 - No nível cinco.*

P13 - Comecem pelos do livro. Tem aquela primeira parte do cálculo de frequências de riscas que foi a primeira parte que falámos e depois estes aqui que já têm esta última parte. O que é que pedem aqui? É a frequência. E depois? Com o comprimento de onda como é que se faz? Sabem passar o comprimento de onda para frequência. Devem através da energia relacionar o comprimento de onda com a frequência.

---

**TOQUE**

---

Tentem fazer os problemas para amanhã, está bem?

#### **4.4.2 – Descritivo da aula nº 4**

Nesta aula são distinguíveis dois momentos relevantes:

1º momento de aula – 4P1 a 4P9: Quantização da energia do electrão no átomo de hidrogénio e iões monoelectrónicos (modelo de Bohr). Exploração, a nível de transições electrónicas da expressão de Balmer e Lyman e consequente obtenção das séries espectrais.

2º momento de aula – 4P9 (em parte) a 4P13: Esclarecimentos de dúvidas e resolução de exercícios.

A aula foi de índole essencialmente transmissiva. Teve início com a apresentação pela professora da expressão de Balmer a qual foi utilizada para o cálculo da frequência e para o cálculo das energias relativas às riscas identificadas para o espectro do átomo de hidrogénio. Referência à série de Lyman. É explicado o significado das letras que aparecem na expressão,  $n_1$  e  $n_2$  em termos do nível onde se encontra o electrão no átomo de hidrogénio. A professora explora o facto de estar implícito nesta expressão a transição de um electrão de um nível superior para um nível inferior de energia a qual irá corresponder à emissão de um fóton com determinada energia. Aborda o facto de serem permitidas no átomo vários tipos de transições as quais originam as diferentes séries de riscas.

A professora refere a importância da quantização da energia de um electrão e deduz matematicamente a expressão da energia de um electrão para o átomo de hidrogénio, de acordo com o modelo de Bohr. Neste momento de aula torna-se relevante o interesse dado pelos alunos na procura de fórmulas para resolverem os exercícios propostos. A professora explica que existem deficiências na teoria de Bohr uma das quais consiste no facto de não ter conseguido explicar o comportamento dos electrões em átomos polielectrónicos. Compara (analogicamente) o movimento do electrão em redor do núcleo com uma pedra atada num fio e posta a rodar.

Na parte final da aula, a professora propõe três exercícios de aplicação retirados do manual escolar.

#### **4.4.3 – Protocolo da aula nº 5**

P1 - Na última aula ficámos a resolver, exercício 2,2. Agostinho fizeste?

*A1 - 2.2?*

P2 - O do livro, fizeste?

*A2 - Fiz.*

P3 - Então vá, rapidamente. Ora bem, pedia, o problema 2.2 pedia para, fazendo o  $\omega$  igual a infinito, verificar que aquela risca seria na zona do visível. Primeira coisa aqui, o que é que tu me estás aí a calcular?

*A3 - Eu vou calcular a frequência quando  $w$  tende para infinito.*

P4 - Sim. Então vais ver a unidade em que isso vem expresso. Sem ires ver aos teus calhamaços. A frequência vem em Hertz ou em segundo menos um. Okey. Agora só mais uma coisa. Eu olhando para lá não consigo ver assim imediatamente se aquela zona, se aquela banda de frequências cai na banda ou na zona do visível ou não.

*A4 - Pega-se no espectro e vê-se.*

P5 - Ou pegas no espectro e vê-se ou então passamos para comprimento de onda. Sabemos o comprimento de onda da zona do visível e vamos ver se o comprimento de onda está dentro dessa zona ou não. Pronto.

*A5 - Deu  $0,36 \times 10^{-6}$*

P6 - Tá! Substitui então. Isso em que unidades?

*A6 - Em metro menos um.*

P7 - A frequência é esse valor. Vai dar ...

*A7 -  $3,6 \times 10^{-7}$  m.*

P8 - Passando isso para nanómetros é; qual a relação entre o metro e o nanómetro? Um metro é igual a quantos nanómetros?

*A8 - A dez elevado a menos nove.*

P9 - Um nanómetro é igual a dez elevado a menos nove metros. Como é que se reduz isso aí?

*A9 - Trezentos e sessenta nanómetros.*

P10 Quem não arredondou dá um valor mais exacto não é? Trezentos e sessenta e cinco nanómetros, não é? Mas como ele fez logo aquele arredondamento está bem. Isto está dentro da zona do visível, sim senhora. Aquele comprimento de onda eu consigo identificar. As frequências tinham que ver porque não sei a gama de cor. O exercício 2.4, Elisabete, não? Carla, sim? Então vamos lá. Ora bem, o exercício 2.4, calcular o comprimento de onda da primeira transição, ou seja, está certo. E aqui é kJ por mole, está bem? Não sei se dão estes valores porque eu fiz logo a redução. Foste calcular a energia por mole e ao substituir na expressão da energia para calcular a frequência fizeste o n igual àquele valor ali. Vem a frequência em segundo menos um. O comprimento de onda é determinado a partir da relação da velocidade da luz que dá cento e vinte e um, é?

*A10 - Cento e vinte e um nanómetros.*

P11 - Eu vi em casa, pelas vossas caras, que se calhar é melhor eu fazer a dedução mesmo e não falar assim genericamente como eu tentei falar na outra aula. O que é que aconteceu aqui? Houve uma transição entre dois níveis, entre o nível  $n$  igual a um e o nível  $n$  igual a dois. Nós sabemos que este nível é mais energético do que este nível pelo facto do electrão ter descido para o nível mais próximo do núcleo que é o menos energético, há uma quantidade de energia que se liberta. Essa quantidade de energia a que corresponde uma determinada frequência é o que ela vai calcular aqui. O que é que ela faz? Vai ao livro, aliás o problema remetia para essa imagem, para essa imagem nessa página do livro, vai ver quais é que são as energias associadas a cada um destes níveis. Faz a diferença entre estas energias, pronto. Vê qual é que é a energia libertada em kJ por mole. Ela quer saber qual é que é a frequência associada a essa energia e vai tentar simplificar ao máximo, como? Pegando na expressão que nos dá a energia, como ela aqui, o valor da energia é em mole, ela vai considerar aqui este  $n$  como sendo uma mole, o número de electrões de uma mole, porque ela, interessa-lhe calcular a energia associada não a uma mole de electrões mas sim a um electrão. Então substitui o valor da energia correspondente ao salto que se dá, substitui o  $n$  pelo número de Avogadro que é uma mole de electrões, o  $h$  é a constante de Planck e vai calcular a frequência associada a essa transição. Só que no problema não nos pedem a frequência, pedem-nos o comprimento de onda. Então o que é que ela faz? Foi aquilo que tu fizeste a partir daí. Pega na frequência e vê qual é o comprimento de onda associado, unicamente. O primeiro problema que eu pedi para fazerem? João José fizeste?

**A11 - Não.**

P12 - Donzília tu fizeste?

**A12 - Sim.**

P13 - Vamos lá ao quadro. Apaga apenas a parte de cima que ele ainda está a fazer. Pedia, este problema, para calcular o comprimento de onda de um fóton capaz de levar um átomo de hidrogénio do primeiro estado excitado, ou seja, do estado  $n$  igual a dois para a configuração electrónica  $4s^1$ . O que é que isto quer dizer?

**A13 - É a configuração electrónica.**

P14 - É a configuração electrónica sim senhor. O que é que quer dizer este quatro?

**A14 - O nível de energia.**

P15 - O número quântico principal é o  $n$ , é o nível de energia onde vai encontrar o electrão. E o  $s$ ?

**A15 - É o tipo de orbital.**

P16 - É o tipo de orbital que nós estamos a considerar. Bem, nós vamos fazer revisão a isto daqui nas aulas. E o que é que simboliza aquele um ali em cima?

**A16 - É um electrão.**

P17 - É o electrão. Nós sabemos, além disso, depois vamos rever isso, que para a orbital  $s$ , há um número máximo de electrões que lá cabem. Já agora quantos são?

**A17 - Dois.**

P18 - São dois. O que é isso? Ah! Estás a reduzir ao mesmo denominador. Okey.

**A18 - Eles não pedem o comprimento de onda?**

P19 - Não. Sim. Calcular o comprimento de onda do fóton. Mas só tenho uma coisa aqui a fazer. Aqui está no  $n_2$  ou no  $n_4$ ? Esta é a expressão geral para o cálculo da frequência, então nós vamos considerar sempre aqui um  $n_1$  e aqui um  $n_2$ . Sabemos é que o  $n_1$  vai ser igual a dois e o  $n_2$  vai ser igual a quatro.

**A19 - Apago?**

P20 - Apaga e põe. É unicamente aí que vais ter que apagar. Pronto. Calculando a frequência associada à transição. Fizeram todos desta maneira?

**A20 - Não.**

P21 - Não. É que eu também não fiz desta maneira, mas dá exactamente a mesma coisa. O que é que eu fiz? Fui calcular a energia do fóton através de quê? Da diferença de energia entre o nível quatro e o nível dois, mas é exactamente a mesma maneira, já agora. Podes-te sentar. Pronto. Eu vou pôr aqui. A energia do fóton vai ter que ser correspondente às diferenças de energia, ou seja, substituindo esta energia que eu vou considerar aqui, vem da expressão, Joule por electrão. Como eu estou a trabalhar no caso do hidrogénio esta é a expressão que me dá o valor da energia em cada nível. Então o que é que eu vou fazer? Quando o electrão está no nível  $n$  igual a quatro, chego aqui e substituo aquilo por quatro, menos, faço exactamente a mesma coisa quando o electrão desce para o nível  $n$  igual a dois. Substituo na expressão, sobre dois ao quadrado o que dá  $4,09 \times 10^{-19}$  Joule, a energia associada ao fóton.

Para calcular o comprimento de onda associado ao fóton eu sei que a energia é igual a  $h \nu$ , ou seja, é igual a  $h c / \lambda$ , o comprimento de onda é igual a  $h c$  sobre  $E$ , e o  $E$  é esta energia, o  $h$  é uma constante, o  $c$  é uma constante. Substituo e vou determinar qual é que é o comprimento de onda. Pronto. Dá exactamente a mesma coisa e podem fazer pelos dois caminhos. Problema número dois, calcular a energia de uma mole de electrões para o Berílio no quarto estado excitado. Mário? Gonçalo? Eu hoje só recebo, eu não posso dizer porque está ali o ... Gonçalo vais fazer?

**A21 - Posso ir.**

P22 - Então vai. A energia de uma mole de electrões. Começamos agora a ter aqui um caso em que a energia de uma partícula em que o número atómico não é um, ou seja, uma partícula que tem um electrão mas que tem mais do que um próton no núcleo a exercer uma certa influência sobre esse electrão, por isso o cálculo desta energia é dado pela expressão, isso,  $-2,17 \times 10^{-18} / n^2$  continua a ser só que agora vou multiplicar por  $Z^2$  em que  $Z$  é o número atómico da partícula em questão e essa energia vem em Joule por electrão. Pedem-nos qual é a energia de uma mole de electrões e não de um electrão para o ião Berílio no quarto estado excitado, ou seja, para  $n$  igual a?

**A22 - Quatro.**

**Dezasseis.**

P23 - Ah! O quarto estado excitado é o  $n$  igual a cinco. O primeiro estado excitado é o  $n$  igual a dois.

**A23 - O número atómico é quatro?**

P24 - O número atómico do Berílio é quatro.

**A24 - Faz aí a conta João Paulo.**

**Menos  $1,31 \times 10^{-18}$  Joule.**

P25 - Joule por electrão. Agora qual é que é não a energia de um electrão mas a energia de uma mole de electrões, Gonçalo?

**A25 - A energia  $E$  igual a  $n h$  vezes a frequência.**

P26 - Será que é preciso ir por aí?

**A26 - Não.**

P27 - Basta multiplicar pelo número de Avogadro. Essa é a energia de um electrão. A energia de uma mole é a energia de  $6,02 \times 10^{23}$  electrões. Então a energia é igual a esse número de vezes, isso, o que vai dar?

**A27 - Vai dar quanto?**

**Menos  $18,3 \times 10^5$**

P28 - Joule por ...

**A28 - Mole.**

P29 - Terceiro problema. Ouçam uma coisa. Oh Elisa, antes de apagares. Outra maneira alternativa de fazer isto, isto era a expressão que me dava a energia em Joule por electrão. A expressão que me dá a energia em Joule por mole de electrão é  $E = -1312 Z^2 / n^2$  J/mol. Por isso bastava chegar aqui e substituir o Z, chegar ali e substituir o n e já me vinha a energia em Joule por mole. É exactamente a mesma maneira. Pronto. Podes apagar. Apaga deste lado, está bem? Elisa, explica aos outros o que estás a fazer. Elisa porque é que estás aí a pôr, pronto. Essa primeira expressão. O que é que isso quer dizer?

**A29 - É a energia que o electrão adquire no infinito menos ...**

P30 - Tu estás a ler o que aí está. Pronto. Mas o que eu quero é que tu expliques o que isso quer dizer. Qual é que é a noção de energia de ionização que tu tens? Pronto, sem olhar para lá o que é que é energia de ionização?

**A30 - É a energia necessária para arrancar o electrão.**

P31 - Um electrão. Só que aqui dizem-nos que esse electrão não está no nível de menor energia. Está no nível? Em que nível é que ele está?

**A31 - Não sei.**

P32 - Está no terceiro nível. Corresponde ao segundo estado excitado. Ele está no terceiro nível. Ora bem. Então a energia necessária para o arrancar, não é, pode culminar, como todos os casos, a energia necessária para o fazer passar de um nível para o seguinte é igual à diferença entre as energias desses dois níveis. Então agora a energia necessária para o levar de um determinado nível para a situação limite é também igual à diferença entre essas duas energias. Nós sabemos que nessa situação limite a energia é igual a? Quando o electrão está infinitamente afastado do núcleo, essa energia quanto é?

**A32 - Infinita.**

P33 - É zero. Por isso é que ela põe lá este valor zero menos o valor da energia que ele tem nesse tal nível n que não é o nível de menor energia, mas corresponde ao segundo estado excitado, ou seja, ao nível n igual a três. Pronto.

**A33 - Oh Stora, não é a energia de ionização que é sempre positiva?**

P34 - E então, não vai dar?

**A34 - Sim, sim. Mas não podíamos deduzir por aí também?**

P35 - E depois? Surgia-te que valor? Calculavas a energia de ionização igual a isto e depois, somavas em valor absoluto, era?

**A35 - Era.**

P36 - E como é que tu explicavas esse valor?

**A36 - Que a energia de ionização é sempre positiva.**

P37 - Só?

**A37 - Não é?**

P38 - Isso é verdade. Mas como é que explicavas em termos de cálculos? Porque é que pegavas naquela expressão?

**A38 - Não se podia ir através da energia incidente igual à energia de ionização mais energia cinética?**

P39 - Sim então, e depois?

**A39 - Parti do princípio que a energia de ionização era sempre positiva, por isso é que tirei o sinal menos.**

P40 - Isso tá correcto. Mas nós aqui não temos ... a partícula nem sequer vai animada com velocidade.

**A40 - Pois é a energia mínima de ionização.**

P41 - Pronto, mas aqui, e que relação tem isso com a energia incidente? Aqui não nos fala em termos de energia incidente. Não nos dão valores nenhuns. Nós não sabemos o que está lá a incidir. Que tipo de radiação é? Que frequência é que tem? Que energia tem? Só sabemos a partir da expressão que nos dá o valor da energia em cada nível, saber qual vai ser a energia necessária para conseguir arrancar esse electrão. É a única, não nos dão dado mais nenhum, por isso vamos ter mesmo que ir através daquele cálculo.

**A41 - Por mole?**

P42 - Isto não é por mole.

**A42 - Pois não.**

P43 - Isto não é por mole, este valor de energia. Então isto aqui é que é por electrão, depois por mole é que nos dá este valor. Mas aqui ainda não nos pedem de uma mole Pedem-nos a energia de quantas moles?

**A43 - 0,3 mole.**

P44 - Então qual é a energia de 0,3 mol?

**A44 - É isto vezes 0,3.**

P45 - É isso vezes 0,3, unicamente. Então vá lá. Podias já ter utilizado a expressão da energia por mole. Ora bem, eu queria só pegar naquela expressão da última aula. Eu vou fazer a dedução dela. Não é assim tão difícil, quer vocês gostem ou não. É melhor do que ela cair assim do céu aos trambolhões, se calhar. Olhem, lembrem-se do ano passado quando fizemos a dedução, em Física, uma dedução da expressão que nos relacionava o trabalho realizado pela força eléctrica? Pronto. Só temos que fazer aqui uma pequena mudança de sinais, unicamente. Nada mais complicado do que isto. Nós já vamos ver. Eu vou considerar a situação de um electrão que está a passar de um nível de energia  $E_A$  para um nível de energia  $E_B$  em que a energia de A é maior do que a energia de B e estou a considerar também que isto corresponde a um nível  $n$  igual a um e isto a um nível  $n$  igual a dois genericamente, independentemente de saber se o  $n_1$  que nível é e o  $n_2$  que nível é. Sei unicamente que o  $n_2$  é maior do que o  $n_1$ . Que esta é a condição da expressão de cálculo das frequências que nós vimos na última aula? Nós tínhamos partido de quê? Nós estávamos a pretender dar ou relacionar o valor da energia para um determinado nível sabendo que a frequência é dada pela expressão genérica, em que o  $n_2$  é maior do que o  $n_1$ . Eu sei que, quando isto acontece, quando o electrão passa daqui para aqui, como esta energia é maior do que esta energia vai haver emissão de energia sob a forma de um fóton. Esta emissão de energia que corresponde no fundo à diferença de energias dos dois níveis, ou seja, corresponde ao  $E_A$  menos o  $E_B$ , aqui não, não independentemente de considerar uma situação inicial ou uma situação final mas considerando que corresponde à diferença do valor maior de energia e um valor menor de energia. Se eu for

tentar simplificar esta expressão eu sei também simultaneamente que esta energia corresponde à emissão de um fóton que é dado então por esta expressão  $E = hv$ .

Então o que é que eu vou fazer? Vou isolar isto. Vou tentar substituir a frequência e depois vou ver que arranjos é que eu posso fazer em termos matemáticos para simplificar e chegar à tal expressão que nós chegamos. É igual a  $h$  vezes, equivalente a, vou desenvolver isto aqui, vou tirar o parêntesis e fica vezes  $3,29 \times 10^{15}$  menos  $1 / n^2 \times h \times 3,29 \times 10^{29}$  e agora vou fazer aqui uma pequena batota entre aspas, que não é batota nenhuma, e que é perfeitamente lógico que é o seguinte. Vou passar esta parte, esta, como é que isto se chama em matemática quando eu tenho uma diferença? Esta parcela para primeiro lugar ...

---

### **TOQUE**

---

Aguentem só um minuto que eu acabo isto, está bem?

**A45 - Sim.**

P46 - Passar isto para primeiro lugar e passar isto para segundo lugar, ou seja, eu ter aqui um sinal mais equivale a eu ter menos, menos, ou seja, vai ficar uma diferença entre duas parcelas negativas, ou seja, esta diferença é igual a, vou pôr então isto em primeiro lugar, menos um sobre  $n_2$  ao quadrado vezes  $h$  vezes  $3,29 \times 10^{15}$  menos abrir parêntesis, aquela ali menos  $1/n_1^2 \times h \times 3,29 \times 10^{15}$ . Pronto, unicamente modifiquei ali em termos de forma. Em termos de conteúdo não modifiquei nada. O que é que eu aqui veja. É que isto é uma diferença entre duas parcelas negativas, a  $E_A$  que corresponde ao nível  $n_2$ , cá está, posso chamar a isto uma energia  $E_A$ , que é o que me aparece em primeiro lugar menos uma segunda energia,  $E_B$ , em que o  $n_1$  corresponde justamente a essa energia, ou seja, é perfeitamente então lícito considerar que o valor da energia em determinado nível é igual a menos, por isso, um valor negativo,  $1 / n_2 \times h \times 3,29 \times 10^{15}$ , ou seja, depois de simplificar, de multiplicar o  $h$  pelo valor, chegar à expressão que nós chegamos ontem de  $E = -2,17 \times 10^{-19} / n_2$  Joule por electrão. Tá? Dinis, percebeste agora de onde vem aquele sinal menos?

**A46 - Sim, Stora.**

#### **4.4.4 – Descritivo da aula nº 5**

Esta aula foi essencialmente focada na resolução de exercícios e pode ser dividida em dois momentos pertinentes para a análise, o primeiro claramente mais rico do que o segundo em interacções professor/aluno.

1º momento de aula – 5P1 a 5P45: resolução de exercícios sobre o cálculo de frequências, energias e comprimentos de onda correspondentes a transições electrónicas.

2º momento de aula – 5P45 a 5P46 – revisão da expressão da energia para o átomo de hidrogénio.

A maior parte da aula incide na resolução e correcção dos exercícios que ficaram por fazer na aula anterior. Os alunos são chamados pela professora para irem ao quadro resolverem os exercícios e algumas vezes é pedida a justificação da sua resolução. Noutras é a própria professora que explica fazendo uma leitura da correcção elaborada no quadro.

A aula prossegue com a discussão da expressão da energia para o átomo de hidrogénio já discutida pela professora na aula anterior mas não compreendida pelos alunos como a próprio considera: “Eu vi em casa, pelas vossas caras, é melhor eu fazer a dedução mesmo” (5P11).

#### **4.4.5 – Análise da categoria de conteúdo Espectro do Átomo de Hidrogénio**

Os EMR referentes a esta categoria de conteúdo distribuem-se pelas aulas nº4 e em menor grau na aula nº5 de resolução de problemas (várias redundâncias de ordem metafórica não são aqui apresentadas para simplificar o texto).

A abordagem das transições correspondentes às séries de Balmer, Lyman também é rica em linguagem metafórica. Por exemplo: “...cálculo das energias das *riscas* respectivas. Ora bem quem chegou a esta expressão foi o senhor Balmer (4P1); ou ainda, “...uma série de *riscas* estudadas pelo senhor Lyman” (4P4). É também frequente o uso da metáfora *espectro* (4P1 ou 4P4).

Também os momentos de aula relativos aos desenvolvimentos matemáticos (4P4) são ricos em linguagem metafórica. Por exemplo, “subterfúgio que espero não *escandalize* muito as pessoas” (4P4); ou ainda “...vamos dar um *pulo*; eu posso concluir...” (4P4).

Também ao discorrer sobre os trabalhos de Bohr sobre o momento angular do electrão, a professora compara (analogia) o movimento do electrão em redor do núcleo com o movimento circular de uma pedra atada a ponta de um fio (4P9). Ainda neste mesmo momento de aula, a professor usa a expressão muito coloquial “quando eu falo em átomos polielectrónicos, *entre aspas* ”(4P9), na verdade pretendendo referir-se a iões monoeléctrónicos (como mais tarde especifica); ao fazê-lo acrescenta (e bem) “que não são entidades *neutras*” (4P9).

A resolução de exercícios na aula nº 5 permite pôr em evidência quer aspectos da linguagem metafórica já usadas quer novos exemplos: “...não sei se a *gama* de cor...” (5P10); ou antecipando dificuldades dos alunos na resolução do exercício “...eu vi pelas vossas caras” (5P11) neste último caso é toda a expressão que deve ser considerada.

Finalmente, como que para legitimar aos olhos dos alunos a dificuldade da dedução da expressão da energia para o átomo de hidrogénio, a professora acrescenta que “É melhor do que ela cair assim dos céus aos trambolhões” (5P45). E na simplificação matemática da

mesma expressão, "...vou fazer uma pequena batota entre aspas" (5P45). Também aqui são ambas as expressões que devem ser entendidas, no seu todo, como metafóricas.

## **4.5 – Categoria de conteúdo Números Quânticos e Orbitais (aula nº6)**

### **4.5.1– Protocolo da aula nº 6**

P1 - Estávamos a tentar ver de uma maneira mais simplificada possível, o que é que acontecia quando eu tentava descrever um electrão do átomo de hidrogénio, e ainda antes de eu descrever esse electrão do átomo de hidrogénio tentei ver como é que eu conseguia descrever um electrão no exemplo mais simples: considerá-lo unicamente a uma dimensão e sem forças exteriores a actuarem sobre o electrão. Eu sei que isso não acontece nos átomos, não é? Isso nós estamos a considerar nos átomos, para já nos hidrogenóides onde nós temos que considerar também a atracção do núcleo e depois mais tarde quando formos dar os átomos polieletrónicos em que nós além da atracção do electrão ao núcleo temos que considerar a repulsão existente entre os diversos electrões dentro do átomo. Chega-se à conclusão de que se pode estabelecer uma equação diferencial chamada equação de onda ou equação de Schrodinger em que nesta equação há duas incógnitas que são a energia e a função  $\psi$  que é a função de onda cujo quadrado dá, o  $\psi$  ao quadrado é proporcional à probabilidade de encontrar o electrão num determinado ponto  $x, y, z$ , ou seja, num determinado ponto com determinadas coordenadas. O valor da energia depende de um número inteiro que nós chamamos número quântico principal e que corresponde nem mais nem menos do que ao  $n$  que aparece nas expressões da energia para o átomo de Bohr. Aquele  $n$  que aparece em denominador. Então a energia vai depender de  $n$  em que  $n$  é o número quântico principal. Pronto. Extrapolando agora para os nossos átomos que têm unicamente um electrão, ou seja, para os átomos monoeletrónicos, ou também ditos de átomos hidrogenóides por se assemelharem ao hidrogénio no que respeita ao número de electrões, têm unicamente um electrão, e o que acontece também em relação ao próprio átomo de hidrogénio que por sua vez ainda é um exemplo mais simples do que o que se passa aqui. Este é o exemplo a seguir e só depois é que passamos para o outro. O que se passa no átomo de hidrogénio é que nós vamos ter de considerar a minha equação não a uma dimensão mas sim a três dimensões e daí resulta que a minha função de onda vai ter que ter em conta, não unicamente, ou seja, a minha função de onda que é solução daquela equação vai ter que ter em conta não um número quântico mas mais dois números quânticos correspondentes às três dimensões com que eu estou a trabalhar. No entanto, o valor da energia para o átomo de hidrogénio continua a depender unicamente de um único número quântico que é o  $n$  apesar de nós estarmos a trabalhar a três dimensões. Por isso, o  $\psi$  vai ser função de três números quânticos, por isso, devido ao facto de estarmos a trabalhar a três dimensões, a minha energia vai depender tão só do número quântico  $n$ . Mas então aqui se me falam em três números quânticos, eu tenho em primeiro lugar, isso é matéria que vocês já deram no 10º ano, por isso vamos recordar quais são esses números quânticos, o que é que eles querem dizer, como é que nós vamos trabalhar com eles, como é que nós trabalhávamos com eles agora qual vai ser a diferença em trabalharmos com eles agora. Nós falamos além do  $n$ , falaram no  $l$  que era o número quântico,

***A1 - Secundário.***

P2 - Secundário. E falaram também no  $m_l$ , não foi assim que o representaram?

**A2 - Nós púnhamos só m.**

P3 - Em m só? Pronto. A notação correcta é m índice l que é o número quântico magnético e este era o número quântico principal. Este toma unicamente valores inteiros, n igual a um, dois, três. O número quântico secundário o que é que ele me dá?

**A3 - Dá o nível.**

P4 - O nível é dado por este.

**A4 - Sim.**

P5 - Ou outra pergunta, como é que este vai variar?

**A5 - Entre zero**

P6 - Entre zero e

**A6 - E l menos um.**

P7 - E l menos um. Então vamos pôr isso, E o que é que dá este número quântico secundário? Dá-me o tipo de orbitais dentro de cada nível. E por isso é que nós falamos, por exemplo, quando o l e eu agora abro aqui uma chaveta, quando o l é igual a zero, que tipo de orbital é que eu tenho?

**A7 - s**

P8 - Recordam-se disso? Quando l igual a um temos uma orbital

**A8 - p**

P9 - p. Quando l igual a dois temos uma orbital

**A9 - d**

P10 - d. Quando l igual a três temos uma orbital

**A10 - f**

P11 - f. É claro. O número quântico magnético primeiro varia como, recordam-se?

**A11 - De -l a +l.**

P12 - Sempre variando com valores inteiros, varia de -l, depois é -l+1, -l+2, até zero e depois é zero, 0+1, 0+2, até ao +l. Portanto varia de -l a +l sempre com valores inteiros e o que é que me dá este número quântico?

**A12 - Dá o número de**

P13 - Dá-me a orientação de cada orbital. Se nós sabemos que há orbitais, ou por outra, nós vamos rever isso, que não carecem ou que não têm um tipo de orientação preferencial, vai haver orbitais como as orbitais p, que nós sabemos que há orbitais  $p_x$ ,  $p_y$  e  $p_z$  consoante a orientação das orbitais p nos eixos dos xx, dos yy e dos zz, então este número quântico dá-me a orientação das orbitais. Nesta nova notação com que nós começamos a trabalhar, ou seja, associando cada solução da equação de onda a uma função  $\psi$  como é que nós vamos referir estes três números quânticos nesta notação? Vamos associar a orbital assim discriminada da seguinte maneira, uma orbital  $\psi$  com os três números quânticos n, l e  $m_l$ , ou seja, cada orbital é descrita completamente por três números quânticos que se referem em índice daquela maneira. Isto vai de acordo com aquilo que vocês trabalharam no 10º ano só unicamente vocês não utilizavam isto mas nós já vamos ver como é que vocês utilizavam ou, vamos recordar e para isso vamos ver, para o primeiro nível de energia, primeiro, por exemplo, para o átomo de hidrogénio, o primeiro nível de energia que corresponde a esta energia, ou seja, esta será a energia  $E_1$ , a energia menor para o átomo de hidrogénio, eu quero caracterizar

completamente as orbitais deste nível, e para este nível como é que eu faço essa caracterização? Eu sei que o  $n$  é igual a quanto?

**A13 - A um.**

P14 - É igual a um. O  $l$  que varia entre zero e  $l$  menos um vai ter aqui unicamente um único valor que vai ser,

**A14 - Zero.**

P15 - Zero, ou seja, isto corresponde à orbital  $s$ . O  $m_l$  aqui vai variar de menos  $l$  e mais  $l$ , vai ter unicamente o valor zero também, não é? Então a orbital que corresponde a este valor de energia não é mais nem menos do que a orbital  $\psi_{1,0,0}$ . Vamos tentar caracterizar o que se passa para o átomo de hidrogénio. Caracterizar as orbitais para o átomo de hidrogénio, para o nível  $n$  igual a dois. Quero que me caracterizem, quantas há e como é que se representam. Isto vocês sabem fazer, não é? Eu naquela folhinha que vos dei no início do ano disse que vocês deviam saber os números quânticos. Não vem lá como pré - requisitos do 10º ano? Tem não tem?

É isto. Então, quantas são?

**A15 - São quatro.**

P16 - Quantas são? Então já não se lembram? Quando  $n$  igual a dois, o  $l$  pode ser zero e pode ser um e agora têm de ver o que é que acontece quando  $l$  é zero e quando é um. Vamos preencher isto sob a forma deste quadro.  $n$  igual a dois. E o  $l$ ? Eduardo, diz lá, o  $l$  varia entre quanto? Quanto é  $n$  menos um? É um. Então só pode ser zero ou um. Quando  $l$  é zero, o  $m_l$  varia entre que valores e que valores?

**A16 - De menos  $l$  a mais  $l$ .**

P17 - Então quando  $l$  é zero, quanto é o  $m_l$ ?

**A17 - É zero.**

P18 - É zero também. Quando  $l$  é igual a um, o  $m_l$  quanto é que pode ser?

**Menos um, zero e mais um.**

A18 - P19 - Ou seja, quantas orbitais?

**A19 - Quatro.**

P20 - Três para aqui, mais uma, quatro orbitais. Eu vou pôr aqui no final. Vamos caracterizar cada uma delas.

**A20 -  $\psi_2$  é zero.**

P21 - Esta é a  $\psi_{2,0,0}$  e agora falta a dois e a três. Ana Sofia, sim, a primeira.

**A21 -  $\psi_{2,+1,-1}$**

P22 - A segunda,

**A22 -  $\psi_{2,+1,0}$**

P23 - A terceira,

**A23 -  $\psi_{2,+1,-1}$**

**Oh Stora, é preciso pôr esse mais aí ao pé desse...**

P24 - Convém sim, geralmente utiliza-se sempre o menos e o mais. Estas orbitais têm nomes, esta aqui, que tipo de orbital é?

**A24 - É  $2s$ .**

P25 - É uma orbital do tipo  $s$ , não é? Mas, vamos pôr aqui. E estas aqui?

#### ***A25 - Estas são $p_x$ , $p_y$ e $p_z$***

P26 - Isso mesmo, estas vão ser as orbitais do tipo p em que o primeiro vai ser  $p_x$ ,  $p_y$  e  $p_z$ . Eu disse a primeira mas é perfeitamente arbitrário, não é? Eu queria que para o nível n igual a quatro, me dissessem quantas orbitais há e que me caracterizassem. Olhem, só para vos dar uma pista que vos possibilita saber quantas orbitais há de acordo com o nível, como nós estamos a trabalhar. Quando nós estamos no nível um, nós temos uma orbital. Quando nós estamos no nível dois, nós temos quatro orbitais. Se vocês repararem, uma orbital não é mais nem menos do que n ao quadrado, ou seja, para cada nível nós temos n ao quadrado orbitais. Então, eu agora se perguntasse unicamente quantas orbitais havia para n igual a quatro?

#### ***A26 - Dezasseis.***

P27 - Há dezasseis orbitais. Então agora vá, força, rapidamente. Algumas orbitais como vêem, têm em comum o l, isto é, são orbitais do mesmo tipo, só a orientação espacial é que vai ser diferente e nós vamos ver qual é que vai ser essa orientação. Quantas são ao todo? Quantas orbitais estão aí ao todo? Vamos lá ver se estão aí as dezasseis. Sim senhora, estão as orbitais todas. Podes ir ao quadro. Esta é uma orbital s, estas são p, estas são d e estas são f. Ora bem, só que me interessa ver, estamos aqui a falar em orientação das orbitais, vamos realmente ver qual é a forma de cada uma delas e não só das orbitais p e das d mas também das orbitais s. Vamos ver qual é a forma das orbitais e vamos começar com as s e eu queria que vocês abrissem o livro na pág. 60 para visualizarmos essas orbitais. Bem, como vocês vêem o que aí está representado, vai ser uma probabilidade e não, eu quero que vocês tenham presente uma coisa e que aquele  $\psi$  é um conceito matemático e nós, por uma questão de conveniência muitas vezes associamo-lo a uma orbital. Atenção! Aquilo é um conceito matemático. Prende-se com a tentativa de descrever o que se passa com um determinado electrão. Nós o que pretendemos visualizar, e concretamente na pág. 60 do vosso livro e depois na pág. 61 também, nós fazemos estas representações. Estamos a representar a probabilidade de encontrar o electrão a determinada distância do núcleo e como tal, essa probabilidade é dada pelo quadrado da função de onda e não pela função de onda unicamente. As orbitais s por isso, tanto as s como as 2s dependem unicamente do raio da orbital, ou seja, da distância do electrão ao núcleo, como tal, dizemos que essas superfícies têm, desculpem, que essas orbitais são esféricas, têm uma forma esférica. Por isso, as orbitais s, a forma depende unicamente de r em que r é a distância do electrão ao núcleo, como tal, as orbitais s têm forma esférica. Está na pág. 60 o que se passa na orbital 1s, na pág. 61 temos aquilo que se passa com a orbital 2s. Em relação à orbital 2s temos que considerar duas coisas, é que essa orbital vai ter um tamanho maior do que a orbital 1s e depois nessa orbital 2s existe aquilo que nós chamamos uma superfície nodal, que está aqui representada e que corresponde a uma zona onde a probabilidade de lá encontrar o electrão é nula ou praticamente nula. Essa superfície naquele esquema está visualizada, por isso vocês têm a representação, um desenho, na pág. 61. A seguir têm a representação com um desenho das superfícies de isoprobabilidade, que já sabem o que é que isso significa e depois têm a representação com um esquema onde fazemos variar a distância ao núcleo, por isso, segundo o eixo dos xx e segundo o eixo dos yy. A probabilidade de encontrar o electrão varia consoante a distância ao núcleo. Por isso a superfície 2s é maior do que a superfície 1s e possui uma superfície nodal, ou seja, onde é nula a probabilidade de encontrar electrões. Na página seguinte, na pág. 62, estão representadas as orbitais p. Temos concretamente, aqui logo no início a orbital  $p_x$  representada e que a forma da orbital é lobular, ou seja, há dois lóbulos, cada um para seu lado do centro em relação à

origem do eixo. Um lóbulo do lado esquerdo outro lóbulo do lado direito segundo o eixo dos  $xx$ . É lógico que as orbitais  $p_y$  e as  $p_z$ , possuam também dois lóbulos orientados segundo o eixo dos  $yy$  e segundo o eixo dos  $zz$ . O conjunto das três orbitais  $p$  possuem simetria esférica como as orbitais  $s$ . No entanto, cada uma delas se encontra orientada segundo um dos eixos e agora é interessante verificar que também para as orbitais  $p$ , por exemplo, para as  $p_x$ , também se pode definir um plano nodal assim como para as orbitais  $p_y$  e para as orbitais  $p_z$  em que agora esse plano coincide com essa zona central aqui entre os dois lóbulos estendidos ao longo dos dois eixos que definem a orbital, por isso, para as orbitais  $p$  temos três orbitais distribuídas em lóbulos pelos três eixos. Para cada uma destas orbitais define-se um plano nodal que é o plano que passa pelo centro dos tais lóbulos. E o que é importante saber é que o conjunto das três orbitais  $p$  possui simetria esférica assim como as orbitais  $s$  e que é visualizado na pág. 62 pelo desenho mais à direita. O que é que se passa, isto no átomo de hidrogénio. O que é que se passa nos outros átomos que continuam a ter unicamente um electrão mas têm uma carga nuclear maior? Aqui passa-se algo semelhante ao que se passa no hidrogénio só que agora eu sei que a energia dos electrões depende não só do nível em que se encontram esses electrões mas também do  $Z$  que é o número atómico, que vai coincidir com a carga nuclear. O que é que acontece? À medida que o valor da carga nuclear aumenta, há uma contracção das nuvens, da nuvem correspondente, da nuvem electrónica correspondente. Porquê? Porque vai haver uma atracção maior sobre o único electrão, por isso, para os átomos hidrogenóides a forma das orbitais vai ser semelhante ao que é para aqui para o átomo de hidrogénio. A forma das orbitais  $s$  é semelhante só que vai haver uma contracção dessas orbitais em termos de tamanho devido a quê? Devido ao aumento da carga nuclear. E cá temos nós também, na pág. 64 e 65, na pág. 64 temos a orbital  $1s$  para o átomo de hidrogénio e para o ião lítio e cá está a mesma forma mas uma contracção da orbital. Há uma diminuição do tamanho. Para o átomo de hidrogénio e para o ião lítio, para as orbitais  $2s$  e para as orbitais  $2p$  também se verifica uma contracção dessas mesmas orbitais mas a forma mantém-se semelhante. Tá?

---

### *TOQUE*

---

#### **4.5.2 – Descritivo da aula nº 6**

Nesta aula de índole essencialmente transmissiva são distinguíveis três momentos:

1º momento de aula – 6P1 (em parte): apresentação pela professora da forma abreviada da equação de Schrödinger; identificação da simbologia.

2º momento de aula – 6P1(em parte) a 6P26: números quânticos (revisão de 10º ano de escolaridade).

3º momento de aula – 6P27 – visualização da forma das orbitais atómicas ( $s$ ,  $p$ ,  $d$ ,  $f$ ), em particular das duas primeiras, e respectivas simetrias.

A aula tem início com uma breve referência à equação (restrita) de Schrödinger com identificação das duas incógnitas, energia e função de onda. É dito aos alunos que o

quadrado da função de onda é proporcional à probabilidade de encontrar o electrão num determinado ponto (não é feita qualquer menção ao princípio da incerteza de Heisenberg).

A aula prossegue com a caracterização das orbitais para o átomo de hidrogénio através dos números quânticos utilizando como estratégia a revisão dos conceitos introduzidos no 10º ano de escolaridade.

A aula termina com a visualização da forma das orbitais s, p, d, e f, utilizando como apoio didáctico o manual escolar. É feita referência à forma das orbitais s como sendo esféricas, à forma lobular das orbitais p, e para o facto de tanto a orbital s como o conjunto das orbitais p apresentarem simetria esférica. A referência às orbitais d e f é sucinta.

A professora faz ainda a comparação da forma das orbitais para os iões monoelectrónicos, explicando a razão de para estes haver uma contracção das orbitais em função de Z.

#### **4.5.3 – Análise da categoria de conteúdo Números Quânticos e Orbitais**

Durante o primeiro momento de aula, a professora apresenta a equação de Schrödinger como uma “equação de *onda*” (6P1) e ao recordar os números quânticos envolvidos na discussão recorda que tais conceitos foram “*matéria*” dada anteriormente (6P1).

O recurso à linguagem metafórica prossegue quando da discussão do átomo de hidrogénio ao considerar que o número quântico l “dá-me a *orientação* de cada orbital (6P13) ou ainda ao explorar o “primeiro *nível* de energia para o átomo de hidrogénio (6P13). Ao abordar a relação entre nível de energia e número de orbitais refere que “para vos dar uma *pista*” (6P26).

A professora prossegue abordando em (6P27) a forma das orbitais e fala de “superfície *nodal*” bem como de “plano *nodal*” e “diferentes *lóbulos* de orbitais” (idem). Esclarece ainda ao estudar o efeito da “*carga nuclear*” (6P27) sobre a “*nuvem electrónica*” (6P27) que o aumento de Z provoca uma “*contracção*” daquela (6P27) pois “vai haver uma maior “*atração*” (6P27).

Finalmente cabe aqui referir expressões metafóricas de índole mais coloquial empregues tendo em vista incentivar os alunos “então agora vá, *força*, rapidamente” (6P27) e no caso dos alunos de sentido confirmatório “ “Oh Stora é preciso pôr esse mais ao pé desse” (6A23).

Seria possível acrescentar outros exemplos de linguagem metafórica para esta categoria de conteúdo embora vários deles sejam redundantes com o já referido na análise de aulas

anteriores. Pelo carácter abstracto do assunto tratado, trata-se de uma aula particularmente exigente quer para a professora quer para os alunos.

## Capítulo 5

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos resultados obtidos levada a cabo no capítulo anterior já permitiu identificar aspectos pertinentes dizendo respeito às diferentes categorias de conteúdo. Neste capítulo, pretende-se agora ir mais longe centrando a nossa reflexão crítica à luz dos objectivos e das questões de investigação do estudo (ver capítulo 3).

#### 5.1 - Da ocorrência de analogias e metáforas

Porventura o aspecto mais importante a assinalar é verificarmos a profusão e variedade da linguagem metafórica usada pela professora e, em menor grau, pelos alunos, uma constatação em linha com a primeira questão de investigação. No caso dos alunos, ignoramos se houve ou não uso de raciocínios analógicos em actividades ligadas ao estudo deste tema (discussão entre alunos, trabalhos de casa...). O estudo de tais aspectos está para além dos limites deste trabalho.

De um modo geral, os exemplos de linguagem metafórica usados pela professora são relevantes (isto é adequados ao fim pretendido) o que não quer dizer que tenha havido necessariamente aprendizagem (como mais à frente deste estudo se elabora).

Nalguns casos de metáforas usadas, p. ex. “orbital é *lobular*” (6P27) ou “superfície *nodal* (6P27), fica a dúvida se os exemplos usados serão transparentes (isto é compreensíveis) para todos os alunos devido às exigências de competência linguística que envolvem (a fonte é algo sofisticada e não necessariamente familiar). Mas o mais provável é que a professora as tenha usado não só de forma verbal mas apoiando-se em diagrama ilustrativo o que, por certo, teria facilitado a sua compreensão.

Uma questão relevante que se levanta e que é por vezes abordada na literatura, é a da articulação entre o domínio literal e figurativo (neste caso metafórico) da linguagem ou, melhor dizendo, da literalização (com o tempo e experiências linguísticas/culturais) da linguagem metafórica. Ou seja, de acordo com SUTTON (1993), muitos termos científicos usados hoje em dia perderam até certo ponto o seu conteúdo metafórico (pelo menos para peritos) de tal forma que já não dizemos *como se fosse* mas sim que *é*. O exemplo dos gases nobres é ilustrativo já que *nobre*, independentemente da sua origem e razões de sua escolha, tem agora um sentido químico preciso, pelo menos para a comunidade científica. O autor refere que para dar sentido a tal situação é frequente estabelecer uma distinção

entre metáforas vivas ou activas (por exemplo, *vírus* de computador) e metáforas mortas ou adormecidas (por exemplo, *testar*) em que a progressão por vezes das metáforas vivas para metáforas mortas tem a ver com a evolução da linguagem e do modo como novos significados são aceites como uso comum. Na metáfora do vírus informático, “we recognize that a world from biology has been applied in the new context of a computer disc, and whatever someone is trying to say, it is not meant quite literally. No one is saying that a piece of nucleic acid and protein has gone onto the disc. Instead, the expression teases our thought. What features of a biological virus are to use in understanding the ailment of the disc? Infection? Self - replication? Smallness? Danger? Live here means provocative. In the case of *to test*, however, most people do not feel the provocation because they are unaware of an earlier context of use (p. 1221).

No caso deste estudo são frequentes possíveis exemplos de literalização da linguagem metafórica, tais como “*nuvem electrónica*” (1P15) ou “*estado excitado*” (3A21), entre outros. Só que, tal literalização pode ser linear para a comunidade científica mas não necessariamente para os alunos. O facto de vários aspectos conceptuais já terem sido introduzidos em anos anteriores, em particular no 10º ano, e nem por isso ser evidente que a sua compreensão deixou de ser um obstáculo para os alunos, reforça o nosso argumento. Em si mesmo esta questão poderia ser matéria para um eventual aprofundamento futuro.

## **5.2 - Das características das analogias e metáforas usadas**

Um segundo aspecto que importa discutir nos resultados obtidos diz respeito à caracterização da linguagem metafórica usada, um aspecto central para a segunda questão de investigação.

Embora não tenha aqui sentido apresentar valores estatísticos, de um modo geral, é notória a preponderância das metáforas em relação a analogias.

Quanto ao *campo disciplinar* da fonte usada, nalguns casos, a fonte veio do próprio campo científico (Física, Matemática, Astronomia ou Biologia), por exemplo, “*densidade electrónica*” (2P15), linhas *concêntricas* (2P1) ou “*órbita*” (1P1), ou ainda “*dissecar essas substâncias*” (1P6), respectivamente.

Apesar de uma das propriedades da linguagem ser desenvolver estruturas específicas a um dado domínio científico, o que nos conduz à linguagem da Física, da Biologia, da Química, da Matemática...com as suas características distintivas e vocabulário técnico específico, os

resultados indiciam como que uma fertilização entre estes diferentes domínios disciplinares. Sob o ponto de vista dos alunos, este tipo de situações pode acarretar problemas de interpretação da linguagem metafórica usada pela eventual não familiaridade da fonte. Este é um aspecto por vezes inevitável mas que deve merecer, por isso mesmo, precauções acrescidas por parte do professor.

No que respeita ao *grau de elaboração* dos exemplos usados, e tendo por base os critérios definidos por CURTIS and REIGELUTH (1984) e ORGILL and BODNER (2006), no caso das analogias, as identificadas são quase sempre do tipo “simples” ou seja, a analogia não inclui qualquer indicação sobre a estrutura de relações entre a fonte e o alvo. Analogias do tipo “elaborado” em que tais interrelações são explicitamente elaboradas são praticamente inexistentes; o exemplo do chocolate Kinder na aula nº 2 quando da discussão das superfícies equipotenciais é o que mais se aproxima.

Quanto ao *nível de abstracção*, nos exemplos usados pela professora são raros os casos em que a fonte é concreta, ou seja, incorpora elementos que os alunos podem ver, cheirar, tocar ou sentir no seu dia a dia. São disso exemplos a analogia com as ondas de água (aula nº1), do chocolate Kinder já referido ou ainda na discussão do momento angular (aula nº4) a analogia mecânica da rotação de uma pedra atada na ponta de um fio. Não é fácil encontrar alternativas em termos de modelos facilmente compreensíveis para os alunos e versando estes conteúdos. Previsivelmente, maiores problemas de compreensão dizem respeito ao último caso por envolverem a noção de quantização. Neste último caso, as evidências do estudo sugerem que a professora estava consciente e foi sensível a tal dificuldade (4P9) estabelecendo os limites da analogia. De registar ainda iguais cuidados no caso da discussão da deformação do campo eléctrico causado pelo núcleo (1P22) ainda que já depois do toque e, por isso mesmo, com previsível pouco impacto nos alunos.

### **5.3 - Do modo como analogias e metáforas foram usadas**

No essencial, o processo de ensino/aprendizagem foi centrado na professora (ver terceira questão de investigação). De acordo com o exposto no capítulo 2.2, predominou pois uma estratégia de ensino assistido por analogias centrado na professora e não no aluno. Tendo em conta a natureza claramente complexa e abstracta dos conteúdos, a opção seguida é compreensível embora a exploração interactiva das analogias e metáforas pudesse ter sido mais consistentemente valorizada.

Um dos poucos exemplos de interactividade aparece na sucessão de entradas 2A3 / 2P4 a propósito da discussão das linhas e superfícies equipotenciais, com a particular relevância de que, neste caso, a iniciativa da fonte (chocolate Kinder) foi do aluno e não da professora. Mas é caso raro de geração espontânea de linguagem metafórica por parte dos alunos. Este exemplo serve aliás de algum suporte empírico de modelos de ensino mistos já referidos (ver 2.2.3) já que, numa mesma aula, podem usar-se estratégias diferenciadas de ensino da linguagem metafórica (centradas no professor ou no aluno) (CACHAPUZ, 1989). Neste caso as diferentes etapas seriam: a apresentação do domínio de estudo (2P2; 2P3); introdução da fonte/domínio familiar (2A3); exploração interactiva (2A3, 2P4); limites da analogia (2P4).

Dependendo da natureza do conteúdo leccionado, assim o discurso da professora é mais ou menos proeminente. Por exemplo, na aula nº 3 há uma maior interacção professor/aluno do que nas aulas 1 e 2, talvez devido ao seu conteúdo se reportar em boa parte ao 10º ano de escolaridade facilitando a mobilização de conhecimentos dos alunos. No entanto, a terceira parte dessa aula já mostra grande preponderância por parte do professor com uma exploração do tema quase em sentido único (ver extensão considerável das entradas da professora). A aula nº5 (resolução de exercícios) é a menos rica em situações pertinentes para este estudo, o que até certo ponto era expectável. Também não se encontraram evidências de cuidados específicos da professora na exploração das limitações de várias analogias e metáforas usadas, excepção feita a casos já acima referidos (5.2).

No essencial, a linguagem usada pela professora não valorizou como seria desejável o carácter tentativo e exploratório que se deve reconhecer na linguagem no ensino das ciências. Fica no entanto a convicção de que, para os alunos, existe mais do que uma maneira de expressar as suas ideias. Uma das maneiras possíveis de melhorar a interacção com os alunos e flexibilizar o discurso teria sido perguntar aos alunos, o que é que os cientistas pretendiam dizer quando usavam uma dada palavra. A vantagem de usar uma tal estratégia de trabalho não é só de poder favorecer a aprendizagem de conceitos mas também para dar uma imagem mais real de como se processa a construção do conhecimento científico, ou seja de explorar a dimensão epistemológica do ensino das ciências.

A análise das analogias e metáforas usadas sugere ainda que nem todas desempenharam as mesmas *funções* no quadro do processo de ensino/aprendizagem sendo possível destacar

dois grandes grupos de funções. O primeiro, o mais importante e aqui proeminente, tem a ver com os conteúdos (ciência escolar) no contexto do processo de ensino/aprendizagem, isto é cujo objecto epistémico são os próprios conteúdos da Química Quântica em estudo (ver exemplos acima referidos). O segundo grupo não diz respeito directamente ao conteúdo da informação (exploração conceptual) mas simplesmente ao processo de organização do próprio processo de ensino/aprendizagem. No geral, trata-se de analogias/metáforas com a função de qualificar, antecipar, por vezes mesmo legitimar, decisões relativas ao próprio processo de ensino/aprendizagem, nalguns casos expressões de índole coloquial, e de que são exemplos: " ... tivemos a dar um bocadinho forçado ..." (1P1); " ... é sobre isto que nós vamos debruçar o nosso estudo agora ..." (1P11); "... É como ir ver os capítulos da telenovela..." (2P15) ou ainda "...cair assim do céu aos trambolhões..." (5P45). Para LAKOFF e JOHNSON (1980), alguns destes exemplos caberiam no que eles designam por metáforas convencionais, dado a expressão figurativa ser fortemente ancorada em contextos culturais (em particular os dois últimos). O mesmo é dizer que, em maior ou menor grau, a nossa compreensão é feita em termos de vastos domínios da nossa experiência cultural e não de conceitos isolados, um argumento que encontra uma boa sustentação na teoria da "Experiential Gestalt" defendida por aqueles autores.

#### **5.4 - Das dificuldades de aprendizagem dos alunos**

Este estudo não tinha como objectivo específico identificar dificuldades de aprendizagem dos alunos sobre o tema em estudo. Para tal o seu desenho teria de ter sido outro, em particular adoptar um desenho longitudinal complementado com técnicas de investigação mais intrusivas como entrevistas individuais aos alunos.

No entanto, dada a relevância da questão da aprendizagem no quadro de uma perspectiva construtivista, os resultados do capítulo 4 permitem (ainda que com limitações) fundamentadas inferências sobre três importantes casos relativos a dificuldades de conceptualização dos alunos que importa aprofundar.

(i) O primeiro caso tem a ver com a não diferenciação entre excitação e ionização a nível atómico (alguns apontamentos já foram referidos no capítulo anterior). Para melhor situar a questão reproduz-se aqui uma parte desse protocolo (aula nº 3; ver 3P14 a 3P20 e também

3P28 a 3P31). Parte desse protocolo é também útil para a discussão dos dois casos discutidos nos pontos (ii) e (iii).

“P14 - Pode acontecer qualquer coisa como uma ionização. Nós já vamos lá chegar. Já vamos ver o que é que é isso de energia de ionização. Pode acontecer uma outra situação. Nós quando estamos a fornecer de alguma maneira energia o que é que vai acontecer? Os nossos electrões absorvem determinadas quantidades de energia que os fazem transitar para níveis de energia superiores. E quando isso acontece nós dizemos que deixamos de ter os átomos no estado fundamental e passamos a ter os átomos no estado excitado. Recordam-se de ter falado nisto no 9º ano, salvo erro?

**A14 - Sim.**

P15 - Átomos no estado fundamental, átomos no estado excitado Então o que é que vocês se recordam de anos anteriores do que era o átomo no estado fundamental e o que é que era o átomo no estado excitado?

**A16 - No estado excitado era quando ele era ...**

P16 - Oh João! Vamos agora deixar outro falar. Eduardo, diz lá. O que é que é isso do átomo no estado fundamental?

**A16 - O átomo no estado fundamental era tem tantos protões como electrões.**

P17 - Então quer dizer que o átomo no estado excitado o número de electrões difere no número de protões?

**A17 - Ou ganham ou perdem electrões.**

P18 - Então já não podia falar em átomo. Já não tenho nenhum átomo nessa ocasião. Passo a ter o quê?

**A18 - Ião.**

P19 - Ião. Mas eu estou a falar em átomo no estado excitado.

**A19 - O átomo passa a estar com outra energia.**

P20 - Ele pode emitir ou absorver. É isso mesmo, não é? Quando há electrões, absorvem uma determinada quantidade de energia, passam para níveis superiores de energia. Então nós dizemos que o átomo está no estado excitado. Vocês têm noção, esse estado excitado é um estado estável ou instável?

**A20 - Instável.**

P21 - Instável. O que é que acontece quando ao fim de algum tempo ...

**A21 - Ele volta, por exemplo, o electrão que saltou no estado excitado como perde energia, volta ao nível anterior.**

P22 - Porque é que ele tende a perder energia e a voltar outra vez ao ...

**A22 - Porque gasta-se energia cinética.**

P23 - Só? Que tipo de forças é que existe, que ligam as partículas dentro do átomo?

**A23 - Forças de atracção.**

P24 - Forças de atracção entre ...

**A24 - Entre o núcleo e os electrões.**

P25 - Pronto. Então o electrão ao absorver energia passa para um nível superior, de maior energia, mais afastado do núcleo, no entanto essa posição é instável e rapidamente ele volta à sua posição inicial devido à

existência de forças electrostáticas e vai emitir uma quantidade de energia bem definida que corresponde à diferença de energia, ao valor correspondente entre os dois níveis de energia onde se fez a transição.

**A25 - Stora. Tenho uma dúvida.**

P26 - Sim?

**A26 - Enquanto o electrão excitado passa para o outro nível de energia, o tempo, que ele lá está nesse nível de energia mais elevado é o tempo correspondente à duração da energia cinética?**

P27 - O que é que é a duração da energia cinética?

**A27 - Quando o fóton incide sobre o átomo, o electrão fica com energia cinética, se houver diferença entre energia de ionização e energia cinética.**

P28 - Estás a ir para o efeito fotoeléctrico, não é?

**A28 - Sim.**

P29 - Pronto. Então no efeito fotoeléctrico o que é que acontece? Há uma energia incidente, há um raio incidente com determinada energia, com determinada frequência. Se a energia for suficiente para arrancar o electrão eu tenho o átomo no estado excitado?

**A29 - Pois é isso que eu estou a confundir.**

P30 - Não.

**A30 - Não?**

P31 - Não. A energia tem de ser de tal maneira suficiente que se possa arrancar esse electrão do átomo e que o electrão fica animado de uma certa velocidade, sim senhora, que nós traduzimos pela sua energia cinética. Mas aqui nós não estamos a ver, quando falamos aqui em átomo no estado fundamental e átomo no estado excitado não estamos a ver a situação limite que é a ionização. Estamos a ver unicamente a passagem de electrões para níveis de maior energia e depois passagem novamente aos níveis de menor energia e o electrão aqui não chega a sair do átomo, ou seja, não chega a haver correntes eléctricas.”

Parte da dificuldade em diferenciar ionização de excitação vem do aluno não diferenciar entre ião (como átomo no estado fundamental que ganhou/perdeu um ou mais electrões) e átomo; tal dificuldade é acrescida por ter estruturado a aprendizagem em termos do efeito fotoeléctrico (ionização), fenómeno já conhecido (3A27 e 3P28). Este aliás um exemplo de transferência analógica (inadequada) dentro de um mesmo campo disciplinar.

Ao aperceber-se disso, a professora pergunta: “Então no efeito fotoeléctrico o que é que acontece?” (3P29), colocando (bem) a si mesma a pergunta de forma a esclarecer os dois conceitos. Só que dá a resposta, não aguardando pela resposta do aluno. E pelos vistos (3A30), o retorno interrogativo/exclamativo do aluno não sugere que a professora tenha resolvido satisfatoriamente o problema.

(ii) O segundo caso de dificuldades de conceptualização tem a ver com uma visão mecanicista das transições electrónicas, neste caso entre um nível excitado e o estado fundamental (ver protocolo acima).

Na verdade, um dos alunos explicita a sua ideia sobre tal processo de transição nos seguintes termos: “Ele volta, por exemplo, o electrão que saltou no estado excitado como perde energia, volta ao nível anterior” (3A21); “Porque gasta-se energia cinética” (3A22); “Enquanto o electrão excitado passa para outro nível de energia, o tempo que ele lá está nesse nível de energia mais elevado é o tempo correspondente à duração da energia cinética?” (3A26). Para este aluno, o seu raciocínio parece ser: ao incidir a radiação sobre o electrão no átomo no estado fundamental, o electrão absorvê-la-ia e, em consequência, transitaria para um “nível de energia mais elevado”, que seria o estado excitado. Nesse novo nível de energia o electrão ficaria a “*mexer*”, em movimento (com energia cinética) e quando pára cairia (voltando assim ao nível inicial). E vai mais longe com a sua explicação referindo que o tempo que o electrão demora (ria) a parar corresponderia ao tempo que demoraria a “*gastar*” a energia cinética (o aluno refere a “*duração*” da energia cinética).

No fundo, o que o aluno faz é uma aplicação linear da mecânica clássica (envolvendo porventura a noção de atrito), ou seja explorando uma analogia cinética. Não fica claro se este aluno era o único com tal entendimento e se a professora conseguiu resolver o problema.

(iii) - O terceiro caso de dificuldade de aprendizagem tem a ver com a quantização da energia (em termos do Bohr).

Em boa verdade é esta dificuldade que subjaz à dificuldade referida em (ii). A dificuldade da noção (ainda que qualitativa) de orbital envolvendo o corte epistemológico com a noção de órbita (1A12) vai no mesmo sentido apesar da aparente desenvoltura dos alunos na utilização da fórmula matemática (ver toda a aula nº5) em que se calculam as energias associadas às diferentes orbitais (modelo de Bohr).

Este parece ser um bom exemplo da instrumentalização dos conceitos da Química Quântica em que se corre o risco da ilusão de se considerarem como adquiridos conceitos pelo simples facto de se resolverem exercícios do tipo rotineiro.

A dificuldade de conceptualização da quantização da energia não é surpresa, mesmo para alunos em cursos universitários introdutórios. Na literatura recente ele é reconhecido como uma verdadeira barreira (“threshold concept”) por PARK and LIGHT (2009). Ou seja, tal

como já assinalado em 2.3, esse conceito distingue quem pode compreender e quem não pode compreender a estrutura atómica, sendo assim considerado como uma porta de entrada conceptual.

Tal como referido no capítulo 2.3, um outro “threshold concept” é o conceito de probabilidade, aqui pertinente na discussão do conceito de orbital versus probabilidade de presença electrónica (modelo de nuvem electrónica). Embora como foi referido no capítulo 3 não se tenha aprofundado aqui a análise desta questão, é patente a dificuldade da professora na aula 6 em tentar ajudar os alunos a formarem uma representação coerente de tal conceito (ver por exemplo o longo extracto 6P27).

### **5.5 – Implicações para o ensino e formação de professores**

Sem prejuízo de uma reflexão crítica mais genérica sobre as implicações do presente estudo para o ensino e para a formação de professores a apresentar no último capítulo, discutem-se de seguida aspectos revelados na prática da professora e que merecem uma atenção particular (ver quarta questão de investigação).

Um exemplo notório da importância de melhorar a formação didáctica dos professores advém do facto de, no discurso da professora, aparecer frequentemente o termo “passagem” quando do estudo das transições electrónicas: “ Estamos a ver unicamente a passagem de electrões para níveis de maior energia e depois passagem novamente aos níveis de menor energia e o electrão aqui não chega a sair do átomo ” (3P32); ou ainda, “Daqui para aqui, esta passagem se dá com absorção de energia, a passagem do estado excitado para o estado fundamental se dá com emissão de energia (3P32). Nenhum aluno perguntou como é que o electrão “passa” de um nível de energia para outro e a professora também não abordou essa questão. É um aluno que numa das suas intervenções utiliza o termo “saltou” (3A21) para o electrão: “Ele volta, por exemplo, o electrão que *saltou* no estado excitado como perde energia, volta ao nível anterior” (esta metáfora não é explorada pela professora). Numa intervenção posterior (3P35), a própria professora também utiliza o mesmo termo: “Mas pode acontecer que a energia fornecida não seja suficiente para arrancar o electrão do átomo mas unicamente para o fazer *saltar* para níveis superiores de energia”. Ficaram então sem resposta questões como:

- como é que o electrão *salta* de um nível de energia para outro?

- em que tipo de *salto* o aluno está a pensar quando utiliza este termo?
- será que está a estabelecer uma analogia com um salto clássico do tipo mecanicista?

A questão envolve naturalmente o conceito de quantização. É uma questão sensível já que a noção de salto quântico é reconhecidamente de difícil concepção pela abstracção subjacente da trajectória ausente. Tal dificuldade é eventualmente reforçada por não ser infrequente em manuais escolares usarem-se ilustrações analógicas em que uma bola descreve uma trajectória assinalada por uma flecha (ascendente ou descendente) entre degraus de uma escada como ilustração de um salto quântico sem se ter o cuidado de esclarecer que, em termos quânticos, não existe trajectória, só posição inicial e final. Exemplos pela positiva são manuais que explicitamente referem a não existência de trajectória (p. ex., PAIVA et al., 2005, p.76) ou ainda DANTAS e RAMALHO (2007, p.96), embora, neste último caso, a analogia seja ilustrada por uma figura algo ambígua (presume-se que o professor dela fará uma exploração mais elaborada).

Tendo em conta a pertinência desta analogia, a investigadora explorou-a recentemente no quadro do seu próprio ensino levando a cabo um estudo piloto (desenho quasi - experimental) numa turma do 12º ano em que se administrou um ficha de trabalho ilustrando saltos de uma bola numa escada, com e sem trajectória, sentido ascendente e descendente, e solicitando qual das situações se assemelhava a um salto quântico (Anexo 1). De referir que, embora os 26 alunos fossem oriundos de diferentes variantes (a Química do 12ºano é uma disciplina optativa), todos os alunos já tinham frequentado com êxito o 10º ano de escolaridade onde o tema da quantização da energia já havia sido tratado.

Antes da instrução (Dezembro de 2010), só 9 alunos (34,6%) indicaram as respostas C, D, ou CD; 12 alunos (46,2%) indicaram as respostas, A, B ou AB (5 alunos com respostas indefinidas). No entanto, no pós – teste (Janeiro de 2011), houve uma evolução positiva: 19 alunos (73,1%) indicaram respostas correctas e só 4 (15,4 %) respostas incorrectas (3 alunos com respostas indefinidas). Ou seja, antes da instrução, um elevado número de alunos conceptualizaram um salto quântico em termos meramente mecanicistas. Exemplos de justificação de escolha de respostas incorrectas dos alunos: “porque têm representado a trajectória”; “as posições C e D não são explícitas pois não têm indicado o sentido da migração do electrão”; ou ainda, “porque têm representado o movimento do electrão”. Durante a instrução, a professora explicitamente abordou interactivamente a analogia

apresentada e, em particular, as suas limitações, comparando o salto clássico como se fosse visto por uma máquina de filmar (permitindo portanto seguir a trajetória) e o salto quântico como se fosse visto por uma máquina fotográfica (só posições iniciais e finais). Ou seja, explorou uma analogia múltipla (analogia dentro de outra analogia) e tendo como fonte um domínio (previsivelmente) familiar. Após a instrução, houve uma clara evolução no sentido desejado; por exemplo, “nos saltos quânticos não existe uma posição intermédia entre os níveis”. Os resultados obtidos devem no entanto ser acolhidos com precaução. Por esclarecer ficou até que ponto a evolução positiva observada correspondeu (em parte ou até no todo) realmente a uma mudança de conceptualização por parte dos alunos ou se foi contaminada pela eventual memorização da explicação fornecida quando da correcção das respostas na fase formativa (cerca de um mês antes).

Ainda sobre este mesmo assunto, de referir que a analogia mecânica do alto quântico continua a ser frequentemente usada por manuais escolares como acima referido e também por professores; por vezes a bola é substituída por pessoas. Por exemplo, num mini - inquérito (ver Anexo 2) feito em Dezembro de 2010 a dez professores portugueses do ensino secundário leccionando em três escolas diferentes e com vasta experiência profissional (27 anos de média de tempo de serviço), foi claro que todos, excepto um, usam tal analogia com maior ou menor sofisticação (por exemplo vários degraus com diferente espaçamento entre eles simulando diferentes níveis de energia). O caso restante usa simulação informática sem esclarecer qual. No entanto, todos os inquiridos fazem questão de precisar que a bola/pessoa não pode permanecer entre os degraus. Por exemplo, na questão número três:

“ Pergunta – No *seu* ensino da Química Quântica *usa/usou* alguma analogia e/ou metáfora para ilustrar um “salto quântico”? Se sim refira brevemente como a usou (se quiser faça um diagrama).

“Resposta - Sim. Quando uma pessoa sobe uma escada, a sua energia potencial gravítica aumenta; quando desce, a sua energia potencial gravítica diminui.

Por outro lado, não é possível à pessoa permanecer entre dois degraus, mas apenas num determinado degrau; quando tal acontece a sua energia potencial gravítica mantém-se constante.

Podemos associar cada degrau a um nível de energia dos electrões num átomo e cada subida ou descida dos degraus aos “saltos” dos electrões, por absorção ou libertação de energia, com a correspondente variação de energia. Fazer notar o seguinte: enquanto numa escada os degraus estão igualmente afastados uns dos outros, no átomo os níveis de energia não estão igualmente afastados; estes vão-se aproximando à medida que o nível de energia aumenta”.

Em conclusão, sob o ponto de vista educativo, importa pois conhecer melhor que analogias e metáforas são usadas por professores e alunos em ambientes formais de ensino, como é que são usadas, por que é que o são e o que é que os professores pensam poder fazer com isso no seu ensino. Uma possível estratégia é reinvestir os resultados desta (e de outras) investigação (ões) como recursos didácticos para a formação inicial e contínua de professores (no caso presente, reflexão crítica sobre extractos de protocolos, exploração dos resultados da análise, ficha de trabalho usada pelos alunos, questionário aos professores sobre suas estratégias de ensino sobre o salto quântico...).

Sem facultar aos professores instrumentos de apoio/reflexão ao/sobre o seu ensino a mudança desejada será problemática.

## Capítulo 6

### CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES DE FUTUROS ESTUDOS

#### 6.1 - Conclusões

As evidências recolhidas sugerem dificuldades, senão mesmo a impossibilidade, de levar a cabo o ensino e a aprendizagem da estrutura atómica no ensino secundário sem o uso de linguagem metafórica. Não é certamente, longe disso, o único meio de promover a aprendizagem de conceitos abstractos mas é certamente um poderoso meio. O uso de analogias e metáforas é uma necessidade epistemológica. Por isso mesmo o seu uso é relevante quer na construção da ciência quer no seu ensino já que são o suporte de muitos, senão todos, os modelos aí usados permitindo e facilitando a passagem, nem sempre fácil, do familiar para o desconhecido. O papel de tais modelos é particularmente relevante no âmbito da Química (e da Física) devido à epistemologia específica dessas disciplinas envolver conceitos de elevado grau de abstracção.

Os resultados do estudo revelam a dificuldade (mas também o esforço notável) da professora em ensinar um tema de reconhecida dificuldade para professores e alunos, exigindo um sólido conhecimento químico e didáctico apesar de ser facilitado por um clima de aula agradável e distendido reflectindo um bom relacionamento professora/alunos.

É de salientar a diferença de terminologia utilizada pelos alunos e pela professora. A linguagem da professora (linguagem científica) é mais rica em termos técnicos e torna-se uma constante no decorrer da aula. A linguagem dos alunos é, naturalmente, bem mais tentativa e exploratória e, por isso mesmo, menos técnica.

Um aspecto relevante é a falta de interactividade entre a linguagem da professora e a linguagem dos alunos resultante de um ensino centrado na professora e valorizando mais os produtos da ciência do que os seus processos de construção. Tal aspecto pode reforçar a conhecida imagem da ciência como um corpo de conhecimentos, amontoado de termos técnicos de que se desconhece o seu significado profundo, muito menos das relações entre os conceitos que representam.

Com base nos elementos recolhidos neste estudo é possível tentar racionalizar um conjunto de dificuldades previsíveis no estudo da Química Quântica/estrutura atómica. O exercício

serve para explicar (não necessariamente justificar) muitas das dificuldades sentidas pela professora e pelos alunos e pode ser útil para estudos futuros.

Em primeiro lugar, vários conceitos centrais à Química Quântica (por exemplo orbital, salto quântico) não têm nada a ver nem com o senso comum (o que não seria de estranhar tratando-se de conhecimento científico) nem sobretudo com a mecânica clássica (o que já coloca outro tipo de problemas). Em termos Kuhnianos trata-se de uma mudança paradigmática a nível do conhecimento científico sendo portanto previsíveis dificuldades de conceptualização dos alunos dado o grau de abstracção particularmente elaborado desses conceitos. Como acima se referiu, trata-se de uma nova maneira de interpretar a realidade. A complicar mais as coisas, um mesmo aluno pode, numa dada hora do seu horário escolar ter de raciocinar em termos de mecânica clássica e, na hora seguinte, em termos de mecânica quântica. Ou seja, o que se lhe exige é também uma mudança profunda na forma de pensar. Assim, por exemplo, uma diferença fundamental relativamente à Mecânica Clássica reside no facto de, quando se trata de sistemas macroscópicos ser possível medir "sem" perturbar. Mais precisamente a perturbação efectuada ser negligenciável face à própria medida. Pelo contrário, nas experiências realizadas para estudar sistemas microscópicos, são utilizados detectores e a perturbação da medida com o sistema em estudo é sempre acompanhada de inevitável perturbação e que pode inclusivamente levar à própria "destruição" do objecto observado (por exemplo no estudo de partículas subatómicas). O papel da linguagem metafórica é pois determinante para apoiar a compreensibilidade do assunto.

Uma segunda dificuldade tem a ver com o suporte matemático necessário para apoiar e aprofundar a conceptualização. Como refere BROCK (1992, entre outros), a Química foi durante muito tempo a ciência descritiva/substancialista tornando-se cada vez mais abstracta em particular após Mendeleev (séc. XIX). Assim, em vez de ligar directamente ao electrão propriedades substantivas, vai ligar-lhe números quânticos. Deste modo o autor refere que o número torna-se um atributo, um predicado da substância. No nosso entender, reside aqui, porventura, a frequente atribuição pelos alunos de propriedades macroscópicas (por exemplo, ponto de fusão ou de ebulição) a átomos de elementos. Apesar disso, estamos em crer que é possível transmitir ideias centrais da Química Quântica a um aluno do ensino secundário se se privilegiar uma abordagem essencialmente qualitativa enquadrada numa estratégia adequada que parta dos conhecimentos dos alunos, aponte

limitações de teoria cinética molecular (já estudada) nomeadamente na explicação da estabilidade das moléculas, esclareça ideias centrais a começar pela própria noção de quanta. Como acima se indicou, a noção de probabilidade é, previsivelmente, a mais complicada.

Uma terceira dificuldade, diz respeito à falta de materiais didácticos e/ou ao modo como a temática da Química Quântica é aí apresentada incluindo o uso de analogias e metáforas. A existência mais recente de simulações informáticas pode ser um instrumento precioso para professores e alunos. Mas são necessários “modelos” de aprendizagem que, tanto quanto possível, descrevam/expliquem a quem elabora os manuais escolares quais as condições necessárias para que as novas aprendizagens tenham lugar, incluindo aqui a natureza das analogias e metáforas a serem apresentadas. Por exemplo, SHILAND (1997, p. 535 - 545) analisou oito livros de química (ensino secundário) à luz do conhecido modelo de mudança conceptual de Posner. O autor investigou a eventual existência de quatro elementos associados com o modelo de mudança conceptual de Posner, a saber, insatisfação, inteligibilidade, plausibilidade e aplicabilidade. O autor concluiu que tais elementos não se encontravam, ou não se encontravam de forma adequada, nos manuais escolares estudados de forma a promover a mudança conceptual; ou seja, de forma à mecânica quântica ser racionalmente aceite pelos alunos de forma a superar o modelo de estrutura atómica de Bohr. Por exemplo, o modelo da nuvem electrónica era apresentado em forma dispersa e sem sistematização adequada o que provoca um baixo grau de inteligibilidade ou ainda existiam poucas aplicações sobre a utilização do novo modelo quer ao longo do texto quer na resolução de problemas, o que lhe confere pouca aplicabilidade. Independentemente dos juízos que possamos fazer sobre a pertinência actual do modelo de Posner, é nosso entendimento que Shiland estava no caminho certo ao trazer para a investigação problemas de ensino e ao centrar o seu estudo nos manuais escolares, hoje como ontem, um instrumento fundamental de apoio à aprendizagem.

O quarto e último aspecto tem a ver com os professores. É necessário que seja o professor a criar as condições necessárias à compreensão de conceitos abstractos e complexos por parte do aluno, como o são as teorias da Química Quântica. Para tal, deve ser facultado ao professor de Química formação adequada, quer formação inicial quer, sobretudo, formação contínua. Tal formação não deve abranger só o nível científico. A resolução de muitos dos problemas do ensino - aprendizagem passa por um aprofundamento da articulação entre

investigação e formação em Didáctica das Ciências e, em particular, sobre o uso da linguagem metafórica. Embora sendo um estudo algo datado, é pertinente referir que só num terço dos cursos de Didáctica/ Metodologias de Ensino das Ciências nas universidades portuguesas se discutia no início dos anos 90 o uso de analogias metáforas para o ensino (CACHAPUZ and OLIVEIRA, 1990). Não temos novos dados que nos permitam confirmar/infirmar estes indicadores.

## **6.2 – Limitações do estudo**

Como já foi referido, não se pretendia com este estudo generalizações estatísticas dos resultados obtidos mas tão só a generalizações analíticas devidamente contextualizadas e fundamentadas. Em particular, a potencial riqueza heurística de um melhor conhecimento da articulação entre a linguagem metafórica e a linguagem científica num contexto formal do ensino da Química Quântica, o papel e limitações da linguagem metafórica na construção do conhecimento da ciência escolar bem como de implicações a nível da formação de professores. Mesmo com a ressalva acima referida, é nosso entendimento que o estudo sofre de algumas limitações que importa esclarecer.

Uma das limitações do estudo é não ter aprofundado os resultados obtidos sobre a prática pedagógica da professora. Teria sido vantajoso entrevistar a professora após o período de observação tendo em vista obter mais informação sobre a sua reflexão crítica sobre o seu próprio ensino, pontos fortes e fracos. Os benefícios seriam não só para a investigação propriamente dita mas também para a dimensão do desenvolvimento profissional da professora. Levando mais longe este argumento, também teria sido importante saber se o estudo teve, em ano (s) subsequente (s) algum impacto na inovação por parte da professora no uso da linguagem metafórica no ensino da estrutura atómica, ainda que com outros alunos. Esta limitação parece-nos mais importante do que ter trabalhado com vários professores. Não sendo este um estudo de índole estatística, ficaria sempre a dúvida de qual o número de professores mais adequado.

Por outro lado, sendo certo que, num estudo não controlado como este, o uso de analogias e de metáforas pelos alunos é largamente imprevisível, nem por isso a fraca participação dos alunos na génese de analogias e metáforas (função heurística) ou em interacções com a professora deve ser ignorada. Por via disso, o estudo da dimensão da aprendizagem ficou

algo prejudicado ficando a sua exploração restrita a alguns poucos exemplos assinalados. Em face disso há poucos indicadores objectivos sobre a eficácia do trabalho da professora. De acordo com a classificação feita no capítulo 2, este estudo está na interface da formação de professores e do ensino da Química. Com efeito, não visa somente o trabalho da professora mas também o seu trabalho no ensino de conteúdos curriculares predeterminados e respectivas categorias de conteúdo. Poderia não ter sido assim; poder-se-iam ter definido categorias não curriculares mas sim em função da natureza, características e modo de uso das metáforas e analogias identificadas (ver por exemplo parte da discussão feita no capítulo 5). No nosso entender, tal ênfase no formalismo da linguagem metafórica teria menos interesse educacional. Apesar da alternativa escolhida ter sido considerada a mais pertinente, a sua exploração poderia ter sido mais abrangente dado não se terem considerado alguns conteúdos curriculares relevantes como, por exemplo, o princípio de exclusão de Pauli.

Uma outra possível limitação do estudo diz respeito ao instrumento usado para a observação (diferida) das práticas de ensino. A utilização de vídeo – gravação poderia esclarecer ambiguidades surgidas na interpretação do discurso da professora e dos alunos e assinaladas nos capítulos 4 e 5, em particular estabelecendo pontes entre a linguagem e acção pedagógica. A decisão tomada teve a ver com a escolha de uma técnica menos intrusiva e que, simultaneamente, pudesse evidenciar o essencial do discurso na sala de aula, sabendo de antemão que a própria natureza do tema não iria exigir a observação de outro tipo de comportamentos, por exemplo, os relativos a trabalho de índole experimental. Fica a dúvida se esta foi a escolha mais adequada.

### **6.3 – Sugestões de futuros estudos**

As sugestões que se apresentam dirigem-se quer a aspectos de índole teórica relativos à linguagem metafórica quer ao uso desta tendo em vista melhorar o ensino e a formação de professores de ciências.

Um dos aspectos que a investigação pode ajudar a esclarecer é como identificar mais objectivamente alguns tipos de linguagem metafórica, em particular a nível dos marcadores linguísticos. Previsivelmente, tais estudos deveriam ser desenvolvidos com investigadores de outras áreas disciplinares, por exemplo sócio e psico – linguística.

Uma segunda linha de trabalho é compreender melhor a função heurística das analogias e metáforas no desenvolvimento da ciência e, em particular, da Química. Seria desejável levar a cabo estudos deste tipo com cientistas de outras áreas disciplinares, em particular da História e Filosofia das Ciências.

Uma terceira linha de estudo é como seleccionar analogias e metáforas adequadas para a educação em ciências. No essencial, trata-se de escolher qual é a fonte mais indicada, qual a estrutura de relações entre a fonte e o alvo que é desejável explorar e quais as limitações desse uso. Nesta linha, cabe naturalmente a promoção de atitudes positivas dos alunos tendo em vista o estudo da ciência. Na verdade, há um substancial corpus sobre analogias e metáforas mas falta sistematizá-lo e analisar qual o seu suporte empírico. Uma extensa revisão crítica da literatura em temas e áreas disciplinares específicas envolvendo investigadores com formações disciplinares diversas poderia ser um bom ponto de partida. Tal como nos pontos anteriores, também aqui o trabalho em rede pode ser uma condição vantajosa.

No que respeita a modelos de ensino por analogias (ver capítulo 2), uma quarta linha de estudo seria testar empiricamente tais modelos em condições reais de ensino, de forma à sua validação. Importa saber mais em que condições tais modelos podem ser usados por professores e alunos. Particular atenção deve ser dada no caso de alunos do ensino básico devido às previsíveis limitações do seu repertório linguístico (com particular incidência no repertório relativo à fonte). Tal tipo de estudos pode ajudar a complementar esforços de outras linhas de investigação envolvendo melhoria do ensino e da aprendizagem das ciências envolvendo a mediação do professor e respectivas práticas de mediação em diferentes ambientes de ensino.

Uma quinta linha de trabalho é saber mais sobre a natureza e como são usadas, por professores e alunos, as analogias e metáforas apresentadas nos manuais escolares, simulações informáticas e até em programas curriculares. Este último caso não é irrelevante dado o estatuto oficial dos mesmos (nos actuais programas de 10º e 12º anos são frequentes exemplos de linguagem metafórica: por exemplo, no 10º ano, "...as estrelas como "autênticas fábricas" nucleares").

Identificar e caracterizar outros "threshold concepts" de outras áreas curriculares da Química (e de outras ciências) além dos referidos neste estudo e qual o papel a

desempenhar pela linguagem metafórica tendo em vista facilitar a compreensão dos alunos é uma possível sexta linha de estudo.

Uma sétima linha de trabalho é, especificamente no âmbito do estudo da estrutura atômica, saber como os conceitos que a estruturam são aplicados no estudo de outros conceitos, como por exemplo a ligação química. Tal como no ponto anterior, esta linha de investigação não se deveria circunscrever ao ensino não superior já que existem fortes indícios que muitas das dificuldades identificadas na compreensão deste tema persistem no ensino superior.

Uma oitava linha de trabalho, é avaliar o que se passa actualmente nos currículos dos cursos de formação inicial de professores em Portugal quanto à formação aí existente sobre o uso de analogias e de metáforas. É importante actualizar a pouca informação existente, sobretudo após as reorganizações curriculares ocorridas em virtude do chamado processo de Bolonha. Também é importante levar a cabo estudos de avaliação sobre o impacto da formação de professores (eventualmente existente no âmbito da linguagem metafórica) no seu desenvolvimento profissional. Tais estudos podem ser de diversa ordem, por exemplo, sobre a transposição curricular feita pelos professores (nomeadamente no planeamento do seu ensino) tendo como referência o seu currículo de formação sobre o uso da linguagem metafórica; ou, ainda, investigações tendo em vista qualificar as suas estratégias inovadoras de ensino.

O campo de estudo continua pois em aberto.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADBO, Karina and TABER, Keith - Learner 's mental models of particle nature of matter – a study of 16 – year – old Swedish science students. **International Journal of Science Education**. ISSN 0950 – 0693. 31:6 (2009) 757 – 786.

ANDRADE Beatrice, ZYBERSZTAJN, Arden e FERRARI, Nadir - As analogias e metáforas no ensino de ciências à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. **Pesquisa em Ensino em Ciências**. ISBN 1806 – 1117. 2:2 (2002) 1-11.

ASSIS, Ricardo – **Analogias e metáforas como potencializadoras do desenvolvimento cognitivo no ensino das ciências: estudo de caso com alunos e 11 e 12 anos**. Dissertação de mestrado (não publicada), Belo Horizonte: CEFET, 2009.

BROCK, William - **The Fontana History of Chemistry**. London: Fontana. ISBN 0 – 00686 - 173 – 3.

BRUCKINGTON, Guilherme. - **A realidade escondida: a dualidade onda/partícula para estudantes do ensino médio**. Dissertação de mestrado (não publicada), S. Paulo: Universidade de S. Paulo/USP, 2005.

CACHAPUZ, António – Linguagem Metafórica e o Ensino das Ciências. **Revista Portuguesa de Educação**. ISSN 0871 – 9187. 2:3 (1989) 117 – 129.

CACHAPUZ, António, PRAIA, João e JORGE, Manuela – **Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciências**. Lisboa: Ministério da Educação, 2002. ISBN 972 -783 – 083 – 8.

CACHAPUZ, António and OLIVEIRA, Teresa – Metaphorical language, science teaching and the initial teacher training in Portugal. What's is missing? In Proceedings of the Conference **Teacher Education in Europe: the challenges ahead**, Glasgow, UK, 1990, 298 – 304.

CAFFAGNI, Carla - **O estudo das analogias utilizadas como recurso por monitores em um centro de ciência e tecnologia de S. Paulo, SP**. Dissertação de mestrado (não publicada), S. Paulo: Universidade de S. Paulo/USP, 2010.

CHANG, Raymond – **Chemistry**. NY: McGraw – Hill, 2001. ISBN 0 – 07 – 100765 – 2.

CHIU, Mei - Hung and LIN, Jing – Wen - Promoting 4<sup>th</sup> grades conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies. **Journal of Research in Science Teaching**. ISSN 002 – 4308. 42:4 (2005) 429 – 464.

CONDÉ, Mauro – **Wittgenstein, a linguagem e o mundo**. São Paulo: AnnaBlume, 1998. ISBN 85 -85596 – 93 – 7.

COOL, Richard and TREAGUST, David - Learners' mental models of metallic bonding: a cross – age study. **Science Education**. ISSN 0036 – 8326. 87:5 (2003) 685 – 707.

CURTIS, Ruth and REIGELUTH, Charles - The use of analogies in written text. **Instructional Science**. ISSN 0020 – 4277. 13 (1984) 99 – 117.

DANTAS, M. Conceição e RAMALHO, M. Dantas – **Jogo de Partículas, Química 12º ano**. Lisboa: Texto Editores, 2005. ISBN 972 – 47 – 2788 – 2 -1.

DANTAS, M. Conceição e RAMALHO, M. Dantas – **Jogo de Partículas, Física e Química A, 10º /11º ano**. Lisboa: Texto Editores, 2007. ISBN 978 – 972 – 47 – 3369 -2 – 1.

FABIÃO, Luis e DUARTE, Conceição - Dificuldades de produção e exploração de analogias: um estudo no tema equilíbrio químico com alunos/futuros professores de ciências. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciências** (Em linha) 4:1 (2005) 1 – 11. (Consult. 12 Dez. 2010) disponível em WWW: < URL: <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volume4/numero3/pdf> >. ISSN 1579 1513.

FONSECA, Maria - Entrevista ao jornal **Público** (18 de Dezembro de 2010), p. 8.

HARRISON, Allan and ONNO de Jong - Exploring the use of multiple analogical models when teaching and learning chemical equilibrium. **Journal of Research in Science Teaching**. ISSN 002 – 4308. 42:10 (2005) 1135 – 1159.

JÚNIOR, Wilmo - Analogias em livros de Química: um estudo das obras aprovadas pelo Plano Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio/2007. **Ciência e Cognição**. ISSN 1806 – 5821. 14:1 (2009) 121 – 143.

HERTZOG, Lars – Language Games and Private Language. In **Wittgenstein, key concepts**. Durham (UK): Kelly Dean Jolley, 2010. ISBN 978 – 1 – 84465 – 188 – 7. p. 41 – 50.

HORVITZ, Alan – **EUREKA. Scientific breakthroughs that changed the world.** New York: John Wiley and Sons. ISBN 0 – 471 – 402 76 – 1.

KEMP, Martin - Entrevista ao jornal **Público** (26 de Novembro de 2010), p. 4 – 5.

KNIGHT, David - **Ideas in Chemistry.** London: The Athlone Press, 1992. ISBN 0 – 485 – 11390 – 2

KOESTLER, Arthur – **The Act of Creation.** London: Pinguin, 1964. ISBN 0 – 14 – 019191 – 7.

LAWSON, Anton – A prelude to the special issue. **Journal of Research in Science Teaching.** ISSN 002 – 4308. 30: 10 (1993) 1213 – 1214.

LAKOFF, George and JOHNSON, Mark – **Metaphors we live by.** Chicago: The University of Chicago Press, 1980. ISBN 0 – 226 – 46800 – 3.

LEVIN, Tamar and WAGNER, Tili - In their own words: understanding students' conceptions of writing through their spontaneous metaphors in the science classroom. **Instructional Science.** ISSN 0020 – 4277. 34 (2006) 227 – 278.

LIU, Xiufeng and LESNIAK, Kathleen - Progression in children' s understanding of the matter concept from elementary to high school. **Journal of Research in Science Teaching,** ISSN 002 – 4308.43: 3 (2006) 320 – 347.

ME, Ministério da Educação, **Programa de Física e Química A, 10º e 11º anos,** Curso Científico - Humanístico de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2001.

ME, Ministério da Educação. **Programa de Química 12º ano,** Lisboa, 2004.

NAGEM, Luiz, FIGUEIROA, Ana, SILVA, Chintia e CARVALHO, Ewaldo - **Analogias e metáforas no cotidiano do professor.** Belo Horizonte: CEFET, 2003.

NASCIMENTO, Ana Cláudia – **Linguagem e Construção do Conhecimento Didáctico: Analogias e Metáforas no Ensino do Tema Equilíbrio Químico, 10º ano de escolaridade.** Dissertação de Mestrado (não publicada), Aveiro: Universidade de Aveiro, 2000.

OLIVEIRA, Teresa - **A Metáfora, a Analogia e a Construção do Conhecimento Científico no Ensino e na Aprendizagem. Uma abordagem didáctica.** Tese de Doutoramento (não publicada) Lisboa: Universidade de Lisboa, 1997.

PAIVA, João, FERREIRA, A. José, VENTURA, Graça, FIOLEAIS, Manuel e FIOLEAIS, Carlos – **Física e Química A, 10º ano**. Lisboa: Texto Editores, 2005. ISBN 972 – 47 – 2339 – 9.

ORGILL, MaryKay and BODNER, George - An analysis of the effectiveness of analogy use in college – level Biochemistry. **Journal of Research in Science Teaching**. ISSN 002 – 4308. 43:10 (2006) 1040 – 1060.

PAATZ, Roland, RYDER, James and SCOTT, Philip - A case study analysing the process of analog - based learning in a teaching unit about simple electric circuit. **International Journal of Science Education**. ISSN 0950 – 0693. 26:9 (2004) 1065 – 1081.

PALMA, Héctor – El desarrollo de las ciencias a través de las metáforas. Um programa de investigación en estudios sobre la ciência. **Revista IberoAmericana de Ciencia Tecnologia y Sociedad**. ISSN 1668 – 0030. 2:6, (2005) 45-65.

PAIK, Seoung - Hey and GO, Young – Mi - Korean 4 to 11 year old student conceptions of heat and temperature. **Journal of Research in Science Teaching**. ISSN 002 – 4308. 44:2 (2007) 284 – 302.

PARK, Eun, and LIGHT, Gregory - Identifying atomic structure as a threshold concept: student mental models and troublesomeness. **International Journal of Science Education**. ISSN 0950 – 0693. 31:2 (2009) 233 – 258.

PETRI, Juergen and NIEDERER, Hans - A learning pathway in high – school level quantum atomic physics. **International Journal of Science Education**. ISSN 0950 – 0693. 20:9 (1998) 1075 – 1088.

RAVIOLO André e GARRITZ, Andoni - Analogias no ensino do equilíbrio químico. **Química Nova na Escola**. ISSN 0104 – 8899. 27 (Fev., 2008) 13 – 25.

ROBSON, Colin. **Real World Research** - Oxford: Blackwell, 1994. ISBN: 0 – 631 – 17688 – 8.

SHILAND, Thomas – Quantum Mechanics and conceptual change in high school chemistry textbooks. **Journal of Research in Science Teaching**. ISSN 0022 – 4308. 34:3 535 – 545.

SMITH, Paul and RAZ, Ariana - Linking phenomena with competing underlying models: a software tool for introducing students to the particulate model. **Science Education**. ISSN 0036 – 8326. 87 (2003) 794 – 830.

SUTTON, Clive – Figuring out a Scientific Understanding. **Journal of Research in Science Teaching**. ISSN 002 – 4308. 30:10 (1993) 1215 – 1227.

SUTTON, Clive – **Metaphorically speaking. The role of metaphor in teaching and learning science**. Occasional document, science education series (não publicado), Leicester: University of Leicester, (1978).

TABER, Keith - Mediating metal models of metals: acknowledging the priority of the learner' s prior learning. **Science Education**. ISSN 0036 – 8326. 87 (2003) 732 – 758.

THIELE, Rodney and TREAGUST, David - The nature and extend of analogies in secondary chemists textbooks. **Instructional Science**. ISSN 0020 – 4277. 22:1 (1994) 61 – 74.

ZEMBYLAS, Michalinos - Emotion metaphors and emotional labour in science teaching. **Science Education**. ISSN 036 – 8326. 88:3 (2004) 301 – 324.

YIN, Robert. **Case study research**. London: Sage, 1984. ISBN 0 – 8039 – 2057 – 1.

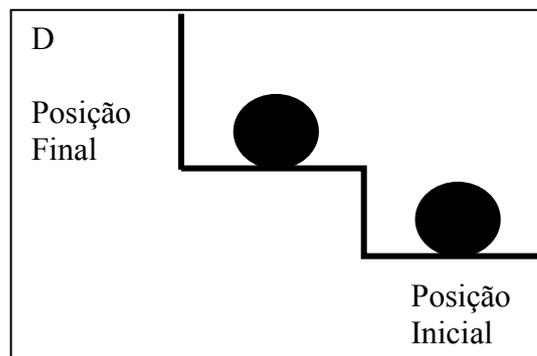
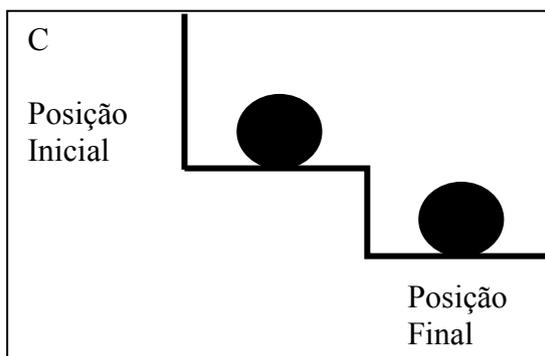
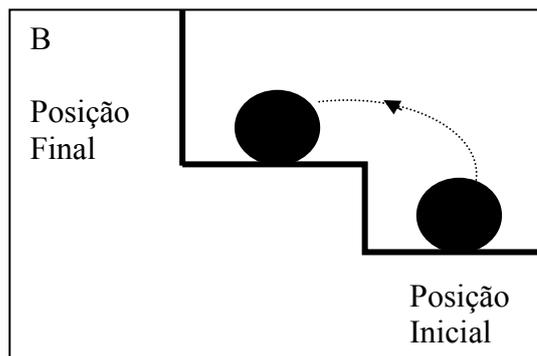
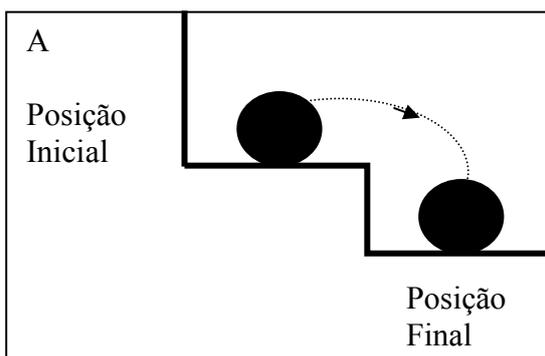


# **ANEXOS**

## **Anexo 1 – Ficha Diagnóstico**



Tem em atenção as quatro situações que se seguem, apresentando posições diferentes de uma bola ao saltar de um degrau de uma escada para outro degrau.



Imagina um electrão a saltar de um nível de energia para outro (salto quântico). Qual ou quais das situações, de A a D, traduz melhor um salto quântico? Justifica, detalhadamente, a tua resposta.

Anexo 2 – Questionário aos Professores

**ESCOLA:.....**  
**Novembro de 2010**

**Cara(o) colega**

Este breve questionário pretende ajudar uma colega do ensino secundário em seu trabalho de mestrado (Universidade de Aveiro) a conhecer melhor o “estado da arte” no que respeita ao uso de *analogias e metáforas* no ensino secundário da Química. Sabendo da sua experiência profissional nesse nível de ensino, ficaria muito agradecida pela sua gentileza em responder às questões que a seguir se apresentam.

O questionário é anónimo.

1 – Considera que é importante o uso de analogias e/ou metáforas no ensino da Química Quântica? (assinale sim ou não).

.....  
2 – Recorda-se de alguns exemplos de analogias e/ou metáforas que *usa/usou* no *seu* ensino da Química Quântica? Dê exemplos:

3 – No *seu* ensino da Química Quântica *usa/usou* alguma analogia e/ou metáfora para ilustrar um “salto quântico”? Se sim refira brevemente como a usou (se quiser faça um diagrama).

4 – Teve alguma formação específica formal (inicial ou contínua) para o uso de analogias e/ou metáforas no ensino das Ciências?

5 – Qualquer comentário que considere pertinente sobre o assunto deste questionário

Muito obrigado pela sua participação  
Paula Cristina Ornelas  
Escola Secundária Soares Basto, Oliveira de Azeméis

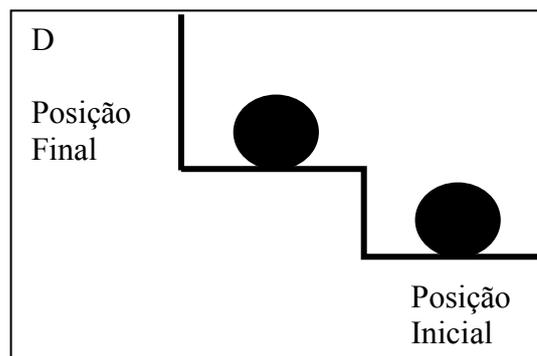
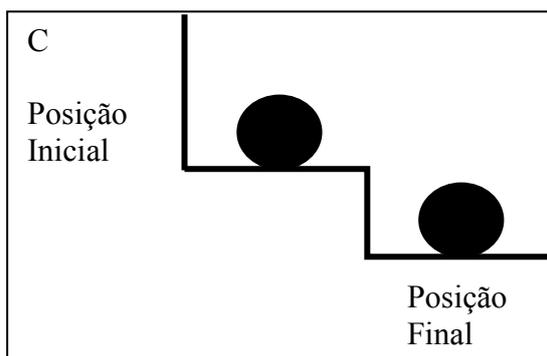
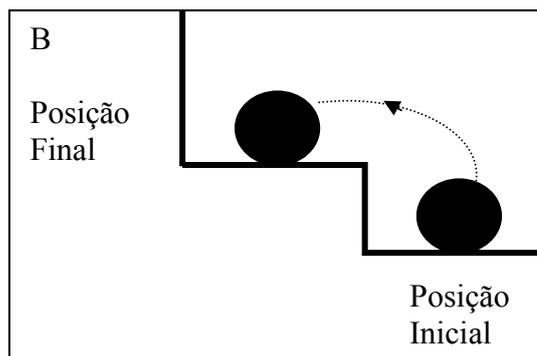
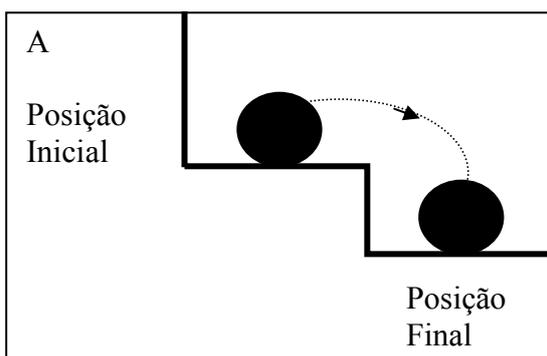


# **ANEXOS**

## **Anexo 1 – Ficha Diagnóstico**



Tem em atenção as quatro situações que se seguem, apresentando posições diferentes de uma bola ao saltar de um degrau de uma escada para outro degrau.



Imagina um electrão a saltar de um nível de energia para outro (salto quântico). Qual ou quais das situações, de A a D, traduz melhor um salto quântico? Justifica, detalhadamente, a tua resposta.

## Anexo 2 – Questionário aos Professores

**ESCOLA:.....**  
**Novembro de 2010**

**Cara(o) colega**

Este breve questionário pretende ajudar uma colega do ensino secundário em seu trabalho de mestrado (Universidade de Aveiro) a conhecer melhor o “estado da arte” no que respeita ao uso de *analogias e metáforas* no ensino secundário da Química. Sabendo da sua experiência profissional nesse nível de ensino, ficaria muito agradecida pela sua gentileza em responder às questões que a seguir se apresentam.

O questionário é anónimo.

1 – Considera que é importante o uso de analogias e/ou metáforas no ensino da Química Quântica? (assinale sim ou não).

.....  
2 – Recorda-se de alguns exemplos de analogias e/ou metáforas que *usa/usou* no *seu* ensino da Química Quântica? Dê exemplos:

3 – No *seu* ensino da Química Quântica *usa/usou* alguma analogia e/ou metáfora para ilustrar um “salto quântico”? Se sim refira brevemente como a usou (se quiser faça um diagrama).

4 – Teve alguma formação específica formal (inicial ou contínua) para o uso de analogias e/ou metáforas no ensino das Ciências?

5 – Qualquer comentário que considere pertinente sobre o assunto deste questionário

Muito obrigado pela sua participação

Paula Cristina Ornelas

Escola Secundária Soares Basto, Oliveira de Azeméis